

การศึกษาการเคลือบผิวเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1050 ด้วยกระบวนการบอไรดิงที่อุณหภูมิต่ำ

The Study of Boride Coating on a Plain Carbon Steel AISI 1050 at Low Temperature

น.ส. จุฑาทิพย์ คงเทพ

อ. ดร. ปฏิภาณ จุ้ยเจิม

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2942-8555 ต่อ 2102-4 โทรสาร 0-2955-1811 E-mail: fengppj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยศึกษาการเกิดชั้นเคลือบเหล็กบอไรด์บนเหล็กกล้า AISI 1050 ด้วยกระบวนการบอไรดิงที่อุณหภูมิต่ำ โดยทำการลดอุณหภูมิการทำบอไรดิงลงมาที่ 700 องศาเซลเซียส โดยการเติมโซเดียมคลอไรด์ 15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อลดอุณหภูมิหลอมเหลวของเกลือบอแรกซ์ หลังจากทำการวิเคราะห์ชั้นเคลือบที่เกิดขึ้นบนเหล็ก AISI 1050 พบการเกิดชั้นเคลือบบอไรด์ FeB และ Fe₂B มีความหนาชั้นเคลือบ 50 - 60 ไมโครเมตร การทดลองต่อมาคือ ทำการลดอุณหภูมิการทำบอไรดิงลงมาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส โดยการเติมโซเดียมซัลไฟท์ 30 เปอร์เซ็นต์ เพื่อลดอุณหภูมิหลอมเหลวของเกลือบอแรกซ์ในการทดลองครั้งแรก และเติมกรดบอริก หรือบอโรน ไตรออกไซด์ ในการทดลองครั้งที่สอง ซึ่งผลการทดลองทั้งสองครั้งยังไม่ประสบผลสำเร็จในการทำบอไรดิงที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : บอไรดิง / อ่างเกลือ / เหล็กกล้า AISI 1050 / เหล็กบอไรด์

Abstract

The study of boride layers on AISI 1050 steel by boriding process at low temperature. We started to reduce process temperature to 700 degree celcius by added 15% Sodium Chloride. And we hope it would decrease the melting temperature of Borax. After we characterized boride layer, we found FeB and Fe₂B layers coating on AISI 1050 steel with 50 -60 micrometers thickness. Next experiment we reduced the process temperature to 650 degree celcius by added 30% Sodium sulphite for decreasing Borax's melt temperature at the first time. And we added Boric acid or Borontrioxide at the second time. The results of all experiments are unsuccessful.

Keyword: Boriding / Salt Bath / AISI 1050 Steel / Surface Coating

1. คำนำ

ในงานอุตสาหกรรมและงานโครงสร้างในปัจจุบัน โลหะถือเป็นวัสดุหลักที่ถูกนำมาใช้งาน โดยเฉพาะโลหะในกลุ่มเหล็ก ทั้งเหล็กกล้าคาร์บอน หรือเหล็กในกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิม รวมถึงเหล็กกล้า

คาร์บอนปานกลาง AISI 1050 ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในการในการทำวัสดุโครงสร้าง และอุปกรณ์, ชิ้นส่วนในเครื่องจักร ซึ่งก่อนการนำไปใช้งานเหล็กเหล่านี้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการเพื่อปรับปรุงโครงสร้างทางจุลภาค เพื่อเพิ่มและลดสมบัติบางประการ การอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงถือเป็นกระบวนการหนึ่งที่ได้รับค่านิยมในการปรับปรุงความแข็งแรงของเหล็ก ทำให้สามารถใช้ในงานที่ทนต่อการขัดสี หรือรับแรงกระแทกได้ดีขึ้น แต่การทำอบชุบมีข้อจำกัดคือปริมาณคาร์บอนในเหล็กต้องมีปริมาณที่สูงมากพอ และเมื่อทำการอบชุบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งชิ้นส่วน ซึ่งการที่เหล็กมีสมบัติของความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น ย่อมลดสมบัติของความเหนียว และความแกร่งลงเช่นกัน ย่อมเป็นสาเหตุของการขยายตัวอย่างรวดเร็วของรอยแตก เมื่อเกิดรอยแตกร้าวขึ้นในชิ้นงาน

บอไรดิง (Boriding) หรือ บอโรนไนซิง (Boronizing) เป็นกรรมวิธีหนึ่งที่ได้รับค่านิยมในอุตสาหกรรมสำหรับการปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงพื้นผิวของเหล็ก โดยยังคงสมบัติความแกร่งและความเหนียวของเหล็กเอาไว้ได้ โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องชนิดของโลหะ ในปัจจุบันการทำบอไรดิงจะทำที่อุณหภูมิประมาณ 800°C - 1000°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิยูเทคตอยด์ (Eutectoid Temperature) เนื่องจากให้เฟสที่เป็นเฟสเดี่ยว (Single Phase) คือ เฟสออสเทนไนท์ (Austenite) ทำให้การแพร่ที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และที่อุณหภูมิสูงยังให้ค่าอัตราการแพร่ที่สูง ทำให้ใช้เวลาในการทำบอไรดิงที่ระยะเวลาสั้น แต่ในขณะเดียวกันก็มีกระบวนการในการอย่างอื่นที่ต้องเพิ่มขึ้น อย่างเช่น การเพิ่มขึ้นก่อนของการอบก่อนเข้ากระบวนการ (Preheating) ที่อุณหภูมิ 600 - 700 °C เพื่อลดการแตกร้าว หรือบิดงอ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Thermal Shock) การเกิดความเค้นตกค้างในชิ้นงานเนื่องจากการเย็นตัว ซึ่งทำให้ต้องเพิ่มกระบวนการการอบเพื่อคลายความเค้น ซึ่งทำให้เวลาในกระบวนการ และต้นทุนของกระบวนการเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษานำร่องการทำบอไรดิงที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้กระบวนการบอไรดิงสามารถทำได้ง่ายขึ้น มีกระบวนการประกอบที่ตามมาเนื่องจากการทำบอไรดิงที่ลดลง มีความเค้นตกค้างที่เป็นสาเหตุของการแตกหัก หรือบิดร้าวของชิ้นงานที่ลดลง และทำให้ต้นทุนในการทำบอไรดิงลดลง เนื่องจากการลดขั้นตอนในกระบวนการลง

2. การดำเนินโครงการงาน

2.1 เจ็อนใจในการทดลอง

2.1.1 เพื่อศึกษาอุณหภูมิและองค์ประกอบที่เหมาะสมในการทำบอโรดิงที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำบอโรดิง โดยทั่วไป) ในการทดลองจะเริ่มอุณหภูมิที่ทำการศึกษาที่ 700 องศาเซลเซียส

2.1.2 ทำการแปรผันอุณหภูมิและสารประกอบบอรอน เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในคงสถานะของเหลวของสารประกอบบอรอนที่อุณหภูมิที่ต่ำที่สุด

2.1.3 ประยุกต์ใช้หลักการ TD/TRD

2.2 ขั้นตอนการเคลือบผิว

2.2.1 ตามเงื่อนไขที่ 1

ในการทดลองเพื่อลดอุณหภูมิการทำบอโรดิงลงมาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส โดยการเติมกรดบอริก หรือบอรอน ไตรออกไซด์ (H_3BO_3) ซึ่งมีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 171 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิหลอมเหลวน้อยกว่าเคลือบอบแรกซึ่งถึงเกือบ 4 เท่า โดยทำการแปรผันสัดส่วนของเคลือบอบแรกและกรดบอริกตั้งแต่ 50% - 50% ไปจนถึง 30% - 70% และดูความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของความหนืดของสารในเตาอ่างเกลือ โดยการทดลองเป็นไปตามภาพที่ 2.4.1

2.2.2 ตามเงื่อนไขที่ 2

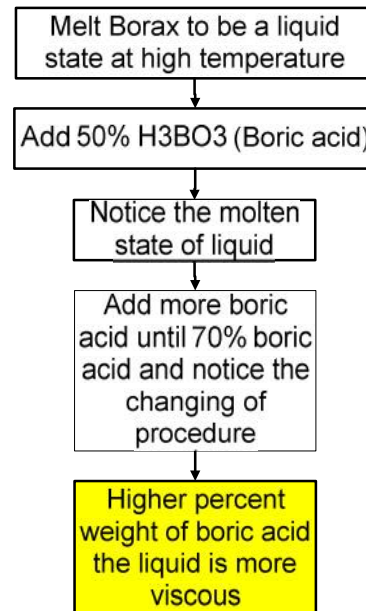
หลังจากที่ทำการทดลองตามเงื่อนไขที่ 1 ไม่ประสบความสำเร็จ จึงทำการลดอุณหภูมิต่ำกว่า 650 องศาเซลเซียส โดยใช้ 30% Na_2SO_3 อ้างอิงจากงานวิจัยที่ตีพิมพ์มาแล้ว [1.] และใช้ 15% Fe-Si และ 55% $Na_2B_4O_7$ หลังจากนั้นเติมชิ้นงานเหล็ก AISI 1050 ลงไปในเตาอ่างเกลือ แล้วทิ้งชิ้นงานไว้ในเตาอ่างเกลือ 48 ชั่วโมง เมื่อครบ 48 ชั่วโมงจะนำชิ้นงานออกจากเตาอ่างเกลือ แล้วนำชิ้นงานมาทำความสะอาดด้วยน้ำร้อน เพื่อกำจัดคราบเคลือบอบไรต์ และเตรียมชิ้นงานเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางโครงสร้างด้วย OM และ XRD ผลจากการทำงานวิจัยการทำบอโรดิงที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ไม่ประสบความสำเร็จ ดังนั้นจึงทำการทดลองด้วยวิธีการเดียวกัน แต่เปลี่ยนสารเป็น 15% $NaCl$, 15% Fe-Si และ 70% $Na_2B_4O_7$ โดยสามารถดูวิธีการทดลองได้ในภาพที่ 2.4.2

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

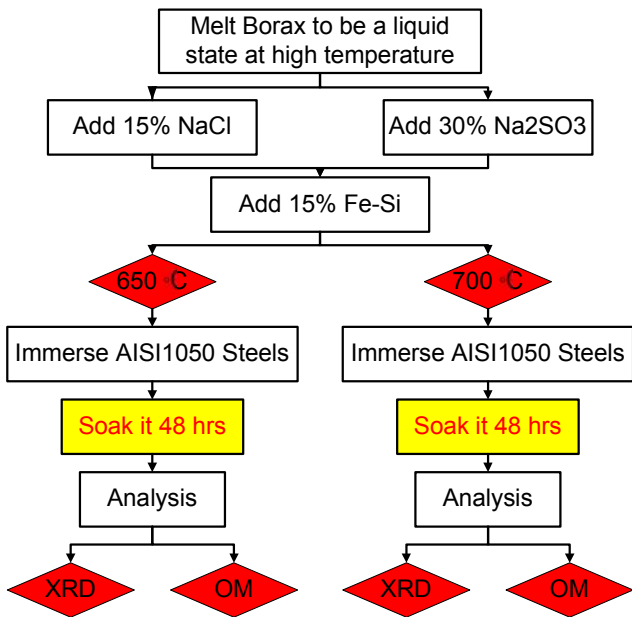
1. วิเคราะห์ความหนาของชั้นเคลือบด้วยเครื่อง XRD (X-Ray Diffraction meter)
2. นำชิ้นงานมาตัดตามขวางด้วยเครื่องตัดแบบ High Speed และ Low Speed
3. อัดชิ้นงานด้วยวิธี Cold Mount
4. ชัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย 120 – 1200 และขัดด้วยผงอะลูมินา
5. เปิดผิวชิ้นงานด้วยกรดไนตริก (HNO_3) 4%
6. ถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope)
7. วัดความหนาของชั้นเคลือบด้วยโปรแกรม Image Analyzer

2.4 ขั้นตอนการทำงานวิจัย

2.4.1 ตามเงื่อนไขที่ 1



2.4.2 ตามเงื่อนไขที่ 2



3. สรุป

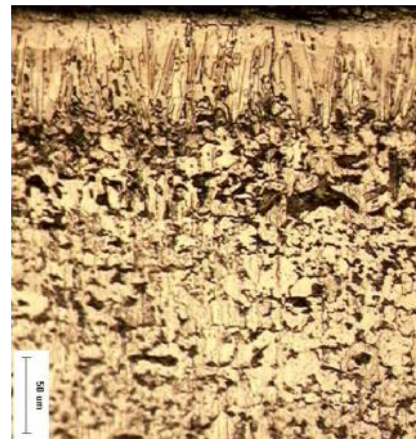
- จากการทดลองพบว่าการทำบอโรดิงที่อุณหภูมิต่ำ โดยทำการลด 700 องศาเซลเซียสด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ ประสบผลสำเร็จ สามารถตรวจพบชั้นเคลือบบอโรดิงที่มีความหนาของชั้นเคลือบที่ชัดเจน และมีความหนาของชั้นเคลือบที่ค่อนข้างหนา และชนิดของชั้นเคลือบที่เกิดขึ้นชนิดของชั้นเคลือบที่เป็นชนิดเดียวกับที่พบที่อุณหภูมิสูง แต่ในขณะที่เดียวกัน 650 ด้วยการเติมเกลือโซเดียมซัลไฟท์ยังไม่ประสบผลสำเร็จ เนื่องจากยังไม่สามารถหาองค์ประกอบและส่วนผสมที่เหมาะสมของสารที่ทำให้สารประกอบบอโรนสามารถหลอมเหลว และคงสถานะของไหลไว้ได้ที่ 650
- จากการทดลองพบว่าสารประกอบพวกเกลือโซเดียมที่ชนิดและปริมาณที่เหมาะสม มีผลทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวของเกลือบอโรดิงลดลง โดยที่ชนิดและปริมาณของเกลือโซเดียมที่ใช้มีผลต่อระดับอุณหภูมิหลอมเหลวของเกลือบอโรดิงที่ไม่เหมือนกัน โดยที่ให้ผลที่ดีว่าการใช้สารประกอบบอโรนชนิดอื่นที่สามารถเกิดโครงสร้างบอโรนออกไซด์ได้ เนื่องจากจะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของบอโรนออกไซด์ในระบบ ทำให้ผลคือความหนืดในเตาเพิ่มขึ้น ทดลองพบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ 15% ให้ผลที่ประสบความสำเร็จใน 700
- จากการทดลองลดอุณหภูมิหลอมเหลวของเกลือบอโรดิงโดยการเติมเกลือโซเดียม พบว่าอัตราส่วนของเกลือโซเดียมที่ใช้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 15% - 30% ขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือโซเดียม และอุณหภูมิหลอมเหลว

ของบอโรดิงที่ต้องการลดอุณหภูมิหลอมเหลวลงมา ซึ่งหากลดลงมาใน คีกรีที่สูง เฟอร์เซ็นต์การเติมเกลือโซเดียมจะสูงตามไปด้วย และชนิดของเกลือโซเดียมที่ใช้จะเป็นคนละชนิดกับกรณีที่ลดอุณหภูมิลงมาไม่สูงมากนัก ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มอัตราส่วนของสารประกอบบอโรน เช่น บอโรนไดออกไซด์ ไม่มีผลต่อการลดอุณหภูมิหลอมเหลวของเกลือบอโรดิง และทำให้เกลือบอโรดิงมีแนวโน้มจะเพิ่มอุณหภูมิหลอมเหลวที่สูงขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนบอโรนไดออกไซด์ โดยจากการทดลองพบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ 15% ให้ผลที่ประสบความสำเร็จในการลด 700

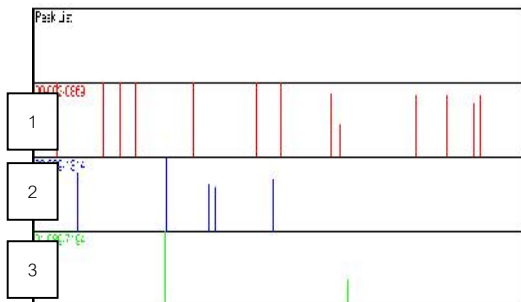
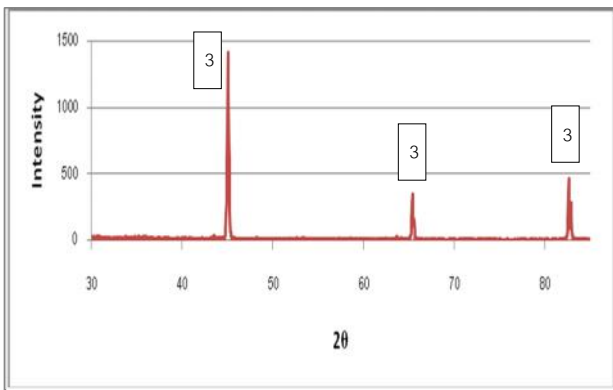
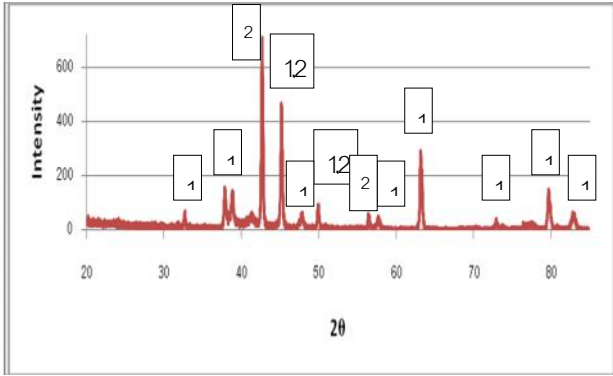
4. ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าการทำบอโรดิงที่อุณหภูมิต่ำ คือ ที่อุณหภูมิ 700 15% โซเดียมคลอไรด์ แม้จะให้ผลที่ดีทั้งในด้านความหนาและชนิดของชั้นเคลือบ คือ FeB Fe₂B ซึ่งเป็นชั้น

แต่พบว่ากลับใช้เวลาในการทำบอโรดิงที่ยาวนานถึง 48 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในทางอุตสาหกรรม ซึ่งหากสามารถมีการทำงานวิจัยต่อเนื่องเพื่อหากรรมวิธีอื่นที่เข้ามาช่วย เพื่อลดระยะเวลาในการทำบอโรดิงที่อุณหภูมิต่ำลงได้ งานวิจัยนี้จะสามารถนำไปต่อยอดในทางจริงได้เป็นอย่างดี



แสดง โครงสร้างจุลภาคของชั้นเคลือบบอโรดิงบนโลหะ AISI 1050 700



แสดงภาพสเปกตรัมที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง XRD
 บอไรด์บนโลหะ AISI 1050 700 ()
 650 (ภาพล่าง) 1
 Fe_2B 2 FeB 3

4. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ .ปฏิภาณ จุ้ยเจิม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ทั้งความรู้ ประสบการณ์ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น คำปรึกษา

ดำเนินชีวิตดีๆที่เป็นประโยชน์ รวมไปถึงการดูแลจนกระทั่งงานวิจัยดำเนินมาจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์และคุณครูทุกท่านที่ผ่านมามีชีวิต ที่ได้ให้ความรู้และอบรมสั่งสอนมาจนกระทั่งปัจจุบันนี้ ซึ่งความรู้ที่ได้รับมาดิฉันสามารถนำมาแก้ไขปัญหาระหว่างการดำเนินงานวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพยูร เสนทองแก้ว และ คุณสาคร จันทร์ ขอนแก่น สำหรับความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย และการวิเคราะห์

อนุเคราะห์ในการทำงานวิจัย

ขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับ อุปกรณ์ เครื่องมือในการทำงานวิจัย และการวิเคราะห์ผลการดำเนิน

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

ท้ายที่สุดขอขอบคุณ คุณพ่อ - คุณแม่, สำหรับกำลังใจ ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะดีๆ และความช่วยเหลือ

5. การอ้างอิงและเอกสารอ้างอิง

- [1.] Lyakhovich, L. S., L. N. Kosachevskii, et al. (1974). "Low-temperature boriding." *Metal Science and Heat Treatment* 16(2): 158-159.
- [2.] Ozdemir, O., M. A. Omar, et al. (2008). "An investigation on boriding kinetics of AISI 316 stainless steel." *Vacuum* 83(1): 175-179.
- [3.] Petrova, R., N. Suwattananont, et al. (2008). "The Effect of Boronizing on Metallic Alloys for Automotive Applications." *Journal of Materials Engineering and Performance* 17(3): 340-345.
- [4.] Sen, S., U. Sen, et al. (2005). "The growth kinetics of borides formed on boronized AISI 4140 steel." *Vacuum* 77(2): 195-202.
- [5.] Taktak, S. (2007). "Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels." *Materials & Design* 28(6): 1836-1843.
- [6.] Aghaie-Khafri, M. and F. Fazlalipour (2008). "Vanadium carbide coatings on die steel deposited by the thermo-reactive diffusion technique." *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 69(10): 2465-2470.