

การศึกษาการทำบอโรดิ้งแบบแพคบนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

A study of packed boriding process on stainless steel AISI 304

นาย สมบูรณ์ ทวีกิจอุดม 49553449

อ.ดร.ปริญญา จัยเจิม

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: fengntk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการนำเหล็กกล้าไร้สนิมมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีสมบัติต้านทานการกัดกร่อนได้ดี อย่างไรก็ตามลักษณะการใช้งานส่งผลต่อสมบัติเชิงกลต่อเหล็กกล้าไร้สนิม มีการใช้งานที่ซับซ้อน และยังคงต้องรับภาระทางกล แต่ยังคงประสบปัญหาการใช้งานบ่อยครั้ง ซึ่งเกิดมาจากการสึกหรอของชิ้นงาน โดยเฉพาะงานที่ได้รับการเสียดสี เช่น งานขึ้นรูปลึก และ แม่พิมพ์ เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการปรับปรุงผิวเหล็กกล้า AISI304 ด้วยการเคลือบชั้นเหล็กบอไรด์โดยกระบวนการบอโรดิ้งแบบแพค โดยการเคลือบผิวเหล็กที่ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง โดยใช้ผง Ekabor I จากนั้นทำการวัดและวิเคราะห์ชั้นเคลือบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Image Analyzer), ทดสอบความแข็งของชั้นเคลือบโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Vickers Hardness Test) และ การวิเคราะห์ชั้นบอไรด์บนผิวเหล็กด้วยเครื่องมือ X-ray diffraction

คำสำคัญ : ชั้นเคลือบบอไรด์, กล้องจุลทรรศน์แบบแสง, งานขึ้นรูปลึก

Abstract

Recently, stainless steels are used mainly for corrosion resistant applications However, wear resistance is much more required due to complicated and load applications but it still find problem in using frequently which occur from wearing out of work piece. Especially, workpiece that has been friction such as deep forming and die .

Therefore, in this research aimed at studying of packed boriding process on stainless steel AISI 304 have been investigated using a packed boriding process at temperature 850, 900 and 950 °C for about 2, 4 and 6 h by Ekabor-I Powder. thicknesses of boride layer were measured using the optical microscopy (OM) with Image Analyzer program. The microhardness of boride layer was measured by a Micro

Vickers Hardness Test. The presence of borides by X-ray diffraction (XRD) analysis technique.

Form the research was found that the effect of boride layer was increased the surface hardness on stainless steel increase and the thickness of the boride layer increased as the boronizing time increased. The thickness of boride layer increased according to the boriding time and grown up linearly in the function of the thickness square and boriding time.

The thickness of boride layer on stainless steel AISI304 at temperature 850 °C for about 2, 4 and 6 h is 12.61, 25.21 and 28.25 micron at temperature 900 °C for about 2, 4 and 6 h is 32.16, 34.23 and 47.61 micron and at temperature 950 °C for about 2, 4 and 6 h is 52.85, 56.26 and 62.67 micron. The kinetics of packed boriding process was analyzed by diffusion and Arrhenius equations. An activation energy of coating boride on stainless steel AISI 304 is of 83.65 kJ/mol

Keywords: Boriding / AISI304 / Boride / FeB / Fe₂B

1. คำนำ

ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน เหล็กกล้าไร้สนิมจัดเป็นโลหะจำเป็นในงานก่อสร้างนิยมนำมาผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ เช่น แม่พิมพ์ งานร้อน โดยในประเทศไทยนิยมใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 หรือ สแตนเลส เป็นเหล็กกล้าโลหะผสม

อย่างไรก็ตามถึงจะมีการนำเหล็กกล้าไร้สนิมไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แต่ก็ยังประสบปัญหาการใช้งาน ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง คือการสึกหรอของชิ้นงาน โดยเฉพาะงานที่ได้รับการเสียดสีด้านแม่พิมพ์ เป็นต้น จึงมีการปรับปรุงผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมโดยกระบวนการบอโรดิ้งให้มีสมบัติที่ดีขึ้น เพื่อให้สามารถใช้งานได้เหมาะสม มีประสิทธิภาพ และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

บอโรดิ้ง (Boriding) หรือ โบรอนไนซิง (Boronizing) เป็นการปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวโลหะ เพื่อเพิ่มความแข็ง (Hardness) ความทนต่อการสึกหรอ และต้านทานการเกิดออกซิเดชัน โดยการให้อะตอมของธาตุโบรอน แพร่เข้าไปในพื้นผิวของชิ้นงานแล้วรวมตัวกับเหล็กเกิดเป็นเหล็กบอไรด์ (Fe_3B และ Fe_2B) ขึ้น ซึ่งความหนาของชั้นเคลือบเหล็กบอไรด์นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอะตอมโบรอนภายในเตา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเคลือบตามทฤษฎีการแพร่ของอะตอมในสภาวะของแข็ง

งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจการเคลือบผิวบอไรด์บนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเหล็ก

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

- 1) ตัดชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ซึ่งมีผิวผสมดังตารางที่ 3.1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ยาว 130 มิลลิเมตร
- 2) ขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทราย เบอร์ 120, 240, 400 และ 600 ด้วยเครื่องกลึง เพื่อกำจัดสนิมและกำจัดสิ่งสกปรกออก
- 3) ตัดชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร
- 4) ทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานด้วยแอลกอฮอล์

2.2 ขั้นตอนการเคลือบผิว

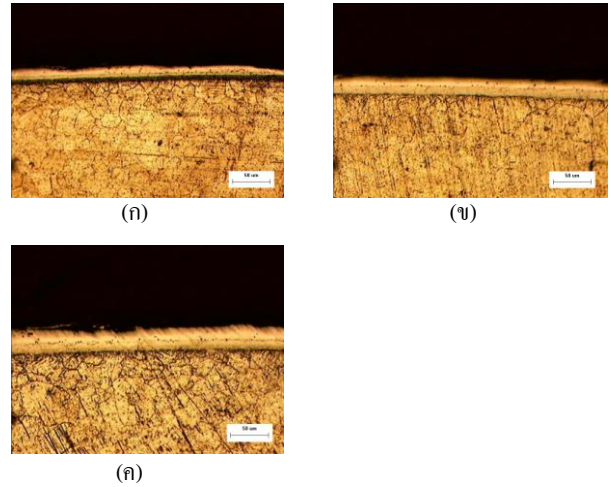
- 1) เติมน้ำ Ekabor-I ลงในถาดบรรจุ
- 2) นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ จุ่มเวลาการเคลือบผิวเป็นระยะเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 ตามลำดับ ลงในเตา

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ชิ้นเคลือบ

- 1) นำชิ้นงานที่ได้มาตัดตามภาคตามขวาง ด้วยเครื่องตัด (High speed cutter) หลังจากนั้นนำชิ้นงานมาอัดด้วยวิธีแมนท์แบบเย็น (Cold mount)
- 2) นำไปขัดหยาบด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 120 จนถึงเบอร์ 1200 ขัดละเอียดด้วยผงอลูมินา และกัดผิวชิ้นงาน Marble reagent จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดย
 - 3) ถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง
 - 4) วัดความหนาของชั้นเคลือบด้วยเครื่อง Image Analyzer
 - 5) วัดค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness Testing Machine

3. ผลการทดลอง

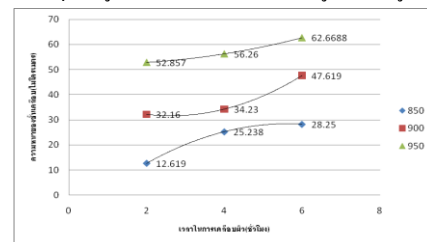
3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลทรรศน์ด้วยเครื่อง (OM)



รูปที่ 1 โครงสร้างจุลภาคของชั้นเคลือบบอไรด์ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ใน ที่เวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง (ค) 6 ชั่วโมง

3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อความหนาของชั้นเคลือบบอไรด์บนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก

อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อความหนาของชั้นเคลือบบอไรด์บนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก จากการทดลองเคลือบบอไรด์บนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ด้วยกระบวนการบอโรดิ้งแบบแพค ที่อุณหภูมิการเคลือบผิว 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าชั้นเคลือบเหล็กบอไรด์มีความหนาเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเคลือบสูงขึ้น ดังรูปที่ 2

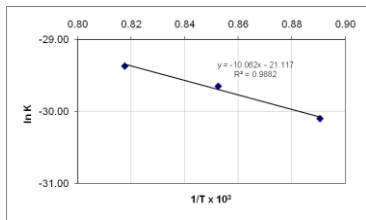


รูปที่ 2 แสดงความหนาชั้นเคลือบเหล็กบอไรด์บนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 304 ที่ผ่านกระบวนการบอโรดิ้งแบบแพค ที่อุณหภูมิ 850 900 และ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง

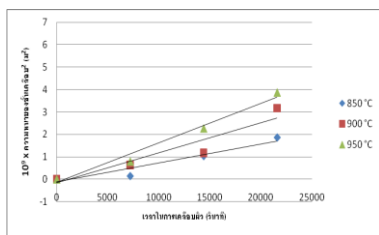
3.2 ค่าพลังงานก่อกัมมันต์การแพร่ซึม (K) ของโบรอนของชั้นเคลือบเหล็กบอไรด์ โดยหาได้จากค่าความชันของกราฟเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln K$

ส่วนกลับของอุณหภูมิที่ใช้ในการเคลือบผิว (1/T) ดังแสดงในรูปที่ 2 สามารถนำไปหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy) (Q) ในกระบวนการเคลือบผิวเหล็กบอไรด์บนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก

AISI 304 ที่ผ่านกระบวนการบอโรดิ้งแบบแพค ที่อุณหภูมิ 850,900 และ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 83.65 kJ/mol

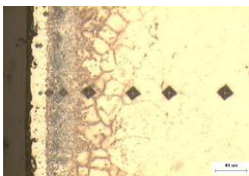


รูปที่ 3 แสดงค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy) (Q) ในกระบวนการเคลือบผิวเหล็กบอโรดิ้งบนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 304 ที่ผ่านกระบวนการบอโรดิ้งแบบแพค ที่อุณหภูมิ 850,900 และ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง



กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นเคลือบเหล็กบอโรดิ้งกำลังสองและเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวบนนิติก AISI 304 ที่ผ่าน

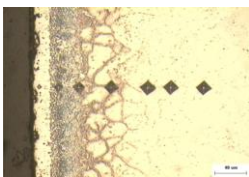
3.3 ลักษณะความแข็งของชั้นเคลือบบอโรดิ้ง (ก)850, (ข) 900 และ (ค)950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



(ก)



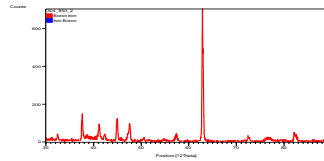
(ข)



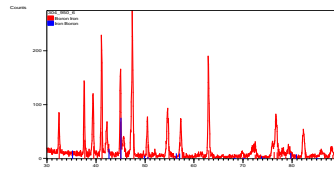
(ค)

รูปที่ 4 แสดงลักษณะรอยคดจากการทดสอบความแข็งชั้นเคลือบเหล็กบอโรดิ้งของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 900 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงถัดจากผิวเป็น 1623, 1823 และ 1900HV ตามลำดับ

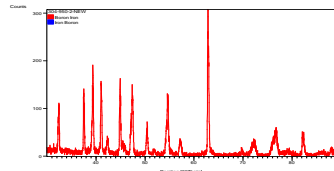
3.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างผลึกด้วย XRD



รูปที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



รูปที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4. สรุป

การทดลองเคลือบผิวเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยกระบวนการบอโรดิ้ง ที่อุณหภูมิการเคลือบผิว 850,900 และ 950 องศาเซลเซียส ใน เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ความหนาของชั้นเคลือบเหล็กบอโรดิ้งที่เกิดขึ้นมีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการเคลือบผิวนานขึ้น โดยความหนาของชั้นเคลือบเหล็กบอโรดิ้งมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับเวลาที่สองของเวลาในการเคลือบผิว มีหน่วยเป็นชั่วโมง
2. องค์ประกอบทางเคมีในเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 มีผลต่อความหนาของชั้นเคลือบเหล็กบอโรดิ้ง โดยอัลลอยด์ที่มีผลต่อชั้นความหนาของชั้นบอโรดิ้งมากที่สุดคาดว่าจะป็นธาตุโครเมียม เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสามชนิดมีปริมาณโครเมียมมากกว่าปริมาณของธาตุอื่นๆจึงส่งผลต่อความหนาของชั้นเคลือบบอโรดิ้ง
3. ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของกระบวนการเคลือบเหล็กบอโรดิ้งบนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 304 มีค่าเท่ากับ 83.65 kJ/mol

6. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ปฎิภาณ จุ้ยเจิม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ กรรมการทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการศึกษา ค้นคว้า ตลอดจนช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณเพื่อนๆที่ๆในภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ ที่ช่วยเหลือ และแสดงความคิดเห็น ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพยุร เสนทองแก้ว และ คุณสาคร จันทร์ ขอนแก่น เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ที่คอยให้ความช่วยเหลือใน ด้านทางเทคนิค และ การแก้ไขปัญหาต่อวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และให้ คำปรึกษาที่ดีจนประสบความสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา และ มารดา ที่คอยให้กำลังใจ และ สนับสนุนทั้งด้านการเงิน และ ให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา จนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ. มนัส สติรจินดา. 2543. **วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก**. พิมพ์ครั้งที่ 7. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- [2] Sinha, A.K. and Bohn, P.D. 1994. Boriding (Boronizing). **ASM Handbook**. 4: 437-447.
- [3] Chikd, H.C. *et al.* 1985. Carbide layer formation on steel in fused borax baths. **Proceeding of Heat Treatment' 84**.
- [4] Child, H.C., Plumb, S.A. และ McDermott, J.J. **Carbide layer formation on steel in fused borax baths**, Proceeding of Heat Treatment' 84, London, 1985, part 5.1
- [5] Sinha, A.K. and Bohn, P.D. 1994. Boriding (Boronizing). **ASM Handbook**. 437-447.
- [6] Child, H.C., Plumb, S.A. และ McDermott, J.J. **Carbide layer formation on steel in fused borax baths**, Proceeding of Heat Treatment' 84, London, 1985, part 5.1
- [7] Genel, K., Ozbek, I. and Bindal, C. 2003. Kinetics of boriding of AISI W1 steel. **Materials Science and Engineering**. 347: 311-314
- [8] M. Keddad De'partement de Sciences des Mate'riaux, Faculte' de Ge'nie Me'canique et Ge'nie des Proce'de's, USTHB, B.P No. 32, 16111 El-Alia, Bab-Ezzouar, Algiers, Algeria