การลดเวลากระบวนการชุบผิวแข็งแบบแก๊สคาร์บุไรซิ่ง โดยการลดเวลาแพร่และการบำบัดเย็น

Reduction of Gas Carburizing Process by Reduction of Diffusion Time and Subzero Treatment

นายณรงค์เดช พัฒนไพบูลย์ และ รศ. สมนึก วัฒนศรียกุล ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โทรศัพท์ 029132500-24 ต่อ 8203 โทรสาร 025870029 e-mail <u>smn@kmitnb.ac.th</u>

บทคัดย่อ

การชุบผิวแข็งด้วยวิธีแก๊สคาร์บุไรซิ่ง เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ กันอย่างกว้างขวางในปัจจบัน โดยเฉพาะในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ และเครื่องจักรทั่วไป โดยใช้หลักการนำเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำอบที่ และควบคุมบรรยากาศภายในเตาอบให้มีศักย์ อุณหภูมิออสเตไนต์ คาร์บอน หรือ CP(Carbon Potential) สูง เช่น 1.25% เพื่อให้ คาร์บอนสามารถแพร่ผ่านผิวเหล็กกล้าอย่างรวดเร็วและลึก ซึ่งความ ้ลึกที่ต้องการขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิ ค่า CP และเวลา โดยการใช้ อุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลต่อการเสียรูป ในขณะที่ถ้าค่า CP สูงเกินไป จะทำให้เกิดออสเตไนต์ตกค้างหลังจากการชุบแข็ง ในทางปฏิบัติจึงใช้ ้วิธีการให้ค่า CP สูงในตอนต้นที่เรียกว่าช่วงคาร์บุไรซิ่ง และลดค่า CP ้ลงเหลือ 0.8% ซึ่งเรียกว่า ช่วงการแพร่ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดออสเต ้ในต์ตกค้างหลังชุบแข็ง ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันโดยทั่วไป แต่การลดค่า ลงทำให้เวลารวมในการชุบแข็งนานขึ้น ในการวิจัยนี้ เป็น CP การศึกษากระบวนการชุบผิวแข็งโดยวิธีแก๊สคาร์บุไรซิ่งที่ใช้ช่วงเวลา แพร่ที่สั้นลงจนกระทั่งถึงศูนย์ และแก้ปัญหาออสเดในต์ตกค้างหลังชุบ แข็ง ด้วยวิธีบำบัดเย็น ที่อุณหภูมิ -196 ^oC ผลการทดลองพบว่า ถ้า ใช้เวลาคาร์บุไรซิ่ง 270 นาที ค่า CP 1.25% หลังจากชุบแข็งและบำบัด เย็น จะได้ชั้นแข็งลึกประมาณ 1.3 มม. ในขณะที่ถ้าใช้กระบวนการ ทั่วไปจะใช้เวลารวมถึง 480 นาที ที่ชั้นแข็งลึกใกล้เคียงกัน ซึ่งจะ พบว่าสามารถลดเวลาลงจากกระบวนการทั่วไปถึง 43% เพียงแต่ กระบวนการที่ศึกษาต้องเพิ่มกรรมวิธีบำบัดเย็นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยัง ้ได้มีการเปรียบเทียบค่าความต้านการล้าของทั้งสองกระบวนการ

พบว่ามีผลลัพธ์ออกมาใกล้เคียงกัน ดังนั้นวิธีการที่ศึกษานี้สามารถ นำไปประยุกต์ใช้งานได้ในกรณีที่ต้องการลดเวลาของกระบวนการชุบ แข็ง สามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้

Abstract

Surface hardening using gas carburizing process is very common for production of machine parts, especially automotive parts. The principle of this process is the low carbon steels will be heated up to austenite temperature by controlling CP (Carbon Potential) at high level, for example 1.25%. Carbon could diffuse into the steel surface very fast and deep by this high level of CP. The case depth is normally depend on temperature, CP and time. By using too high temperature the distortion of the work piece will be increased. If using too high CP the retained austenite will be occurred after hardening. To avoid the retained austenite practically the CP must be set in high level at the beginning of the process so call carburizing period. After that the CP have to be reduced down to 0.8%, this calls diffusion period. But the reduction of the CP in the diffusion period increases the total time of the hardening process. This research was performed in order to reduce the diffusion time down to zero and changed the retained austenite to martensite by using subzero treatment at -196 °C. According to the overall experiment, found that by using carburizing time 270 minutes , CP 1.25% and subzero treatment after guenching the case depth was about 1.3 mm. By using the conventional process to get about same case depth the total time was 480 minutes, that means process without diffusion but with subzero treatment could reduced time by 43%. The comparing of fatigue test , found that the fatigue strength of both processes were close together. The result showed that the cost of the production could be reduced and the productivity could be reduced due to the reduction of the processing time by using this process

1. บทนำ

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนยานยนต์ หลายชนิด ผลิตจาก เหล็กกล้า JIS SCM 415 และมีความจำเป็นต้องชุบผิวแข็งแบบคาร์บุไร ซิ่ง ซึ่งปัจจุบันนิยมแบบแก๊สคาร์บุไรซิ่ง ต้องมีการควบคุมกระบวนการ เพื่อไม่ให้เกิดออสเตไนต์ตกค้าง (Retained Austenite) มากเกินไป เนื่องจากจะมีผลกระทบในทางลบต่อค่าความต้านการล้าของชิ้นส่วน ใน กระบวนการต้องควบคุมไม่ให้คาร์บอนแพร่เข้าที่ผิวเหล็กกล้าจำนวน มาก และรวดเร็วเกินไป ซึ่งส่งผลทำให้ต้องใช้เวลาในกระบวนการนาน ซึ่งมีผลต่อต้นทุนการผลิต การวิจัยนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ใน การลดเวลาในกระบวนการซุบผิวแข็งแบบแก๊สคาร์บุไรซิ่ง โดยการปรับ ลดเวลาช่วงการแพร่ (บรรยากาศศักย์คาร์บอน 0.8%) แล้วเพิ่มเวลา

ช่วงคาร์บุไรซิ่ง (บรรยากาศศักย์คาร์บอน 1.25%) แทน โดย กำหนดเวลารวมยังคงเดิม มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้มีชั้นแข็งลึก เพิ่มขึ้น จากกฎการแพร่ซึม เมื่อปริมาณคาร์บอนมีมากจะทำให้มีอัตรา การแพร่สูงและเร็ว แต่จะทำให้เกิดโครงสร้างออสเตไนต์ตกค้าง เป็นที่ ทราบกันดีว่า ออสเตไนต์ตกค้าง สามารถทำให้เป็นโครงสร้างมาร์เทน ไซต์ได้โดยการบำบัดด้วยความเย็น (Subzero Treatment) เพราะ อุณหภูมิที่สิ้นสุดการเปลี่ยนโครงสร้างออสเตไนต์กลายมาเป็น มาร์เทน ไซต์อยู่ด่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 1 ซึ่งกระบวนการนี้จะช่วยลด ดันทุนการผลิตของซิ้นส่วนได้ โดยงานวิจัยนี้ได้นำไปทดสอบค่าความ ด้านทานการล้าเปรียบเทียบกับกระบวนการปกติ



รูปที่ 1: ความสัมพันธ์ %คาร์บอนกับอุณหภูมิที่เกิดและสิ้นสุดของ โครงสร้างมาร์เทนไซต์

2. ทฤษฏีที่เกี่ยวข้อง

การชุบแข็งวิธีนี้ จะใช้เมื่อต้องการชุบผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งปกติจะไม่สามารถทำการชุบแข็งได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการเพิ่ม ปริมาณการ์บอนที่บริเวณผิวชิ้นงาน เพื่อให้มีการ์บอนในรูปเหล็กการ์ ใบด์มากพอ การ์บอนนี้อาจได้มาจาก ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส โดย ต้องทำให้อะตอมการ์บอนแพร่ (Diffuse) เข้าไปในผิวเหล็กที่อุณหภูมิ เหนือเส้น AC₃ เล็กน้อยเพราะที่อุณหภูมินี้ ความสามารถและความเร็ว ในการแพร่ของการ์บอนเข้าไปในเหล็กกล้ามีสูงมาก บริเวณผิวซึ่ง ต้องการซุบแข็งต้องให้การ์บอนแพร่เข้าไป โดยทั่วไปประมาณ 0.8% และไม่ควรมากกว่านี้ เพราะจะทำให้เกิดออสเตไนด์ตกค้าง (Retained Austenite) ดังรูปที่ 2 และบางครั้งอาจเกิดซีเมนไทต์ตามขอบเกรนหลัง การซุบแข็ง





หลักการทั่วไปของกระบวนการคาร์บุไรซิ่ง คือ กระบวนการเพิ่ม คาร์บอนเข้าสู่ผิวของเหล็กกล้าที่โครงสร้างออสเดในด์ โดยผิวของ เหล็กกล้านั้นจะสัมผัสกับบรรยากาศศักย์คาร์บอน และดูดกลืนคาร์บอน เข้าสู่ผิวโดยการแพร่เข้าสู่ผิวเหล็กกล้า ด้วยเหตุที่โครงสร้างออสเตไนต์ สามารถรับคาร์บอนได้มากกว่าโครงสร้างเฟอร์ไรด์ คาร์บอนจึง สามารถแพร่ซึมเข้าสู่ผิวเหล็กกล้าไปอยู่ในโครงสร้างออสเตไนต์ เมื่อ คาร์บอนแพร่เข้าสู่ชิ้นงานได้ปริมาณที่ต้องการ จึงลดอุณหภูมิลงจาก 930 ให้เหลือ 850 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว สิ่งที่จะได้คือโครงสร้างมาร์เทนไซต์บริเวณผิวที่คาร์บอนได้แพร่เข้าไป ส่วนบริเวณแกนกลางจะเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากคาร์บอนแพร่ไปไม่ถึง ทำให้ผิวของชิ้นงานมีความแข็งสูงขึ้น ส่วนแกนกลางของชิ้นงานจะไม่แข็งขึ้น แต่จะคงความเหนียว รูปที่ 3 แสดงหลักการทำงานของเตาชุบแข็งแบบควบคุมบรรยากาศ สำหรับชุบ ผิวแข็งซึ่งปัจจุบันเตาชุบแข็งแบบควบคุมกรรยากาศใช้ระบบ คอมพิวเตอร์ควบคุมทำให้สามารถควบคุมคุณภาพ เช่น ค่าความแข็ง ชั้นแข็งลึก (Case Depth) ได้อย่างแม่นยำ และสม่ำเสมอมาก





3. วิธีการวิจัย

การทำให้คาร์บอนสามารถแพร่เข้าสู่ผิวเหล็กกล้านั้น มีตัวแปร หลักอยู่ 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิ ค่าศักย์คาร์บอน (CP) และเวลาในการ เติมคาร์บอน ในงานวิจัยนี้ใช้เหล็กกล้า JIS SCM 415 ทำการชุบแข็ง แบบ แก๊สคาร์บุไรซิ่ง แล้วลดออสเตไนต์ตกค้างด้วยการบำบัดเย็น ในตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าที่ในการทดลอง เทียบกับเหล็กกล้า JIS SCM 415 ซิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นเพลากลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร ความยาว 180 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 :	แสดงส่วนผสมทาง	งเคมีของเ	หล็กกล้า	ו JIS	SCM	415
--------------	----------------	-----------	----------	-------	-----	-----

ส่วนผสมทางเคมี	มาตรฐาน JIS	ชิ้นงานทดลอง					
%C	0.13-0.18	0.145					
%Si	0.15-0.35	0.262					
%Mn	0.6-0.85	0.735					
%P	≤0.03	0.013					
%S	<0.03	<0.01					
% Cr	0.9-1.2	0.986					
% Mo	0.15-0.3	0.151					



ในตารางที่ 2 แสดงค่าศักย์คาร์บอนช่วงเติมคาร์บอน (CP_c) และ ศักย์คาร์บอนช่วงแพร่ (CP_D) พร้อมเวลาในแต่ละช่วง โดยกำหนด อุณหภูมิก่อนซุบ 850 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิ 30 นาที ค่าศักย์ คาร์บอน 0.8 %

ตารางที่ 2 : รายละเอียดการกำหนดค่าศักย์การ์บอน, อุณหภูมิ และ เวลาของแต่ละแบต โดยเวลารวมแบตที่ 1-6 เท่ากับ 270 นาที ยกเว้น แบตที่ 7

	การเติมคาร์บอน		การแพร่			
แบตที่	CP_{C}	อุณหภูมิ	เวลา	CPD	อุณหภูมิ	เวลา
	(%)	(⁰ C)	t _c (min)	(%)	(⁰ C)	t _D (min)
1	1	930	110	0.8	930	160
2	1.25	930	110	0.8	930	160
3	1.25	930	150	0.8	930	120
4	1.25	930	190	0.8	930	80
5	1.25	930	230	0.8	930	40
6	1.25	930	270	0.8	930	0
7	1.25	930	210	0.8	930	270

้หมายเหตุ แบตที่ 7 เป็นกระบวนการชุบผิวแข็งด้วยกระบวนการปกติ แต่ใช้เวลารวม 480 นาที

ในรูปที่ 4 แสดงจำนวนชิ้นทดสอบที่นำมาอบคืนตัว และบำบัด เย็นหลังการชุบแข็ง และวิธีการทดสอบ



รูปที่ 4 : จำนวนชิ้นทดสอบของการชุบผิวแข็งทั้ง 7 แบต และวิธีการ ทดสอบ

4. ผลการทดลอง

ในรูปที่ 5 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบชั้นแข็งลึกของแบตที่ 5 ซึ่ง เปรียบเทียบเงื่อนไขระหว่าง ไม่อบคืนตัว อบตืนตัว และ อบคืนตัว-บำบัดเย็น-อบคืนตัว ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่า เขื่อนไงที่ไม่อบคืนตัวและ อบคืนตัวอย่างเดียว ความแข็งที่ผิวมีค่าต่ำอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงว่าที่ผิว มีออสเตไนต์ตกค้าง แต่หลังจากทำการบำบัดเย็นค่าความแข็งผิวกลับ เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แสดงว่าออสเตไนต์ตกค้างได้เปลี่ยนเป็นมาร์เทน ไซต์ ไขณะที่ ค่าชั้นแข็งลึกของทั้ง 3 แบบนี้มีค่าใกล้เคียง ในรูปที่ 6 แสดงชั้นแข็งลึกของชิ้นทดสอบทั้ง 7 แบต โดยใช้เงื่อนไขการชุบตาม ตารางที่ 2 โดยชั้นแข็งลึกจะเพิ่มขึ้นตามค่า CP_c ที่เพิ่มขึ้น แต่ CP_D ที่ ลดลง



รูปที่ 5 : ค่าความแข็งเปรียบเทียบระยะความลึก



รูปที่ 6 : ข้อมูลชั้นแข็งลึกเปรียบเทียบกันในแต่ละแบต

ในรูปที่ 7 และ 8 แสดงผลการทดสอบความล้าของชิ้นทดสอบ ชุบผิวแข็งแบบแก๊สคาร์บุไรซึ่ง โดยในรูปที่ 7 ชิ้นทดสอบถูกอบคืนตัว หลังชุบแข็ง ในขณะที่ ในรูปที่ 8 ชิ้นทดสอบถูก อบคืนตัว – บำบัดเย็น – อบคืนตัว ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าชิ้นทดสอบที่ผ่านการบำบัดเย็นมีค่า ความด้านการล้าสูงกว่าที่ไม่บำบัดเย็นอย่างชัดเจน

5. สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองในส่วนชั้นแข็งลึก



18-20 October 2006, Mandarin Golden Valley Hotel & Resort Khao Yai, Nakhon Ratchasima

จากการศึกษาพบว่าชั้นแข็งลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเวลา ช่วงเติมคาร์บอน (CP_c) และลดเวลาแพร่ (CP_D) โดยที่เวลารวมยังคง เดิมดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 7 : S-N Curve ของชิ้นทดสอบที่ผ่านการอบคืนตัวทั้ง 7 แบต



รูปที่ 8 : S-N Curve ของชิ้นทดสอบที่ผ่าน การอบคืนตัว -บำบัดเย็น - อบคืนตัว ทั้ง 7 แบต

ในส่วนของการชุบผิวแข็งด้วยกระบวนการปกติเพื่อให้ได้ชั้นแข็ง ลึกใกล้เคียงกับแบตที่ 6 คือ ประมาณ 1.28 มม. ซึ่งใช้เวลาในการชุบผิว แข็งถึง 480 นาที ในขณะที่แบตที่ 6 ใช้เวลาเพียง 270 นาที ซึ่งเป็น เวลาเติมคาร์บอนอย่างเดียวไม่มีเวลาอบแพร่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถ ลดเวลาของกระบวนการชุบผิวแข็งได้ถึงประมาณ 44% ซึ่งมีผลต่อ ค่าใช้จ่ายด้านการชุบแข็งได้อย่างมาก



รูปที่ 9 : เปอร์เซ็นด์ชั้นแข็งลึกที่เพิ่มขึ้นเมื่อลดเวลาการแพร่

การบำบัดเย็น จะส่งผลถึงค่าความแข็งที่ผิวของชิ้นงานส่วนใหญ่ โดยจะทำให้ค่าความแข็งผิวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีโครงสร้าง ออสเตไนต์ตกค้างที่ผิวมาก ค่าความแข็งผิวจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากออสเตไนต์ตกค้างเปลี่ยนมาเป็นมาร์เทนไซด์

สรุปผลการทดลองในส่วนของการทดสอบการล้า

ในด้านก่าความต้านการล้า พบว่าเมื่อชั้นแข็งลึกเพิ่มขึ้นก่าความ ความต้านการล้าก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่ในส่วนของชิ้นทดสอบที่มีโครงสร้าง ออสเตไนต์ตกก้างมากจะมีก่าความต้านการล้าลดลงแม้จะมีชั้นแข็งลึก มาก แต่เมื่อนำชิ้นทดสอบมาบำบัดเย็นและอบคืนตัว พบว่าก่าความ ต้านการล้าจจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างออสเต ในต์ตกก้างเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์

เอกสารอ้างอิง

- รศ. มนัส สถิรจินคา. <u>วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก</u>. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535
- [2] รศ.สมนึก วัฒนศรียกุล. <u>การชุบแข็งเหล็กกล้า</u> สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2542
- [3] รศ.สมนึก วัฒนศรียกุล. <u>การทดสอบวัสคุ</u> กรีนเวิลด์ มีเดีย, 2549
- [4] American Society for Metals. <u>Carburizing and Carbonitriding</u> American Society,1977.
- [5] ASM Handbook Committee. "Metals Handbook 8th Edition." The American Society for Metals 1973.
- [6] C.A. Stick. "Gas Carburizing." <u>ASM Metals Handbook, Heat</u> <u>Treatment 4</u> (1991): 312-324

ME NETT 20th | หน้าที่ 161 | AMM039