



ผลกระทบของกระบวนการแก๊สไนโตรคาร์เบอร์ไรซิงต่อการชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงเกรด SKH51

วรรณา หอมจะบก* สิริวิษณุ แก้วดอนรี และ สุรศักดิ์ เตือดสันเทียะ

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์

ธนบดี ประดิษฐ์จา และ นิพนธ์ ทวีจันทร์

บริษัท ไทยโตเคน เทอร์โม จำกัด

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 7776 9920 อีเมล: whomjabok@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.03.001

รับเมื่อ 18 พฤษภาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 29 มิถุนายน 2563 ตอรับเมื่อ 14 กรกฎาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 1 มีนาคม 2564

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของกระบวนการแก๊สไนโตรคาร์เบอร์ไรซิง (Gas Nitrocarburizing) ต่อเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง (SKH51) ที่ผ่านกระบวนการอบชุบแข็ง (Hardening) และอบคืนไฟ (Tempering) ด้วยขั้นตอนการอบชุบที่แตกต่างกัน (มีจำนวนการอบคืนไฟ 2 รอบ และ 3 รอบ) ก่อนกระบวนการไนโตรคาร์เบอร์ไรซิง จากผลการทดลองพบว่า กระบวนการไนโตรคาร์เบอร์ไรซิงสามารถเพิ่มความแข็งที่ผิวของชิ้นงานได้ 4.4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งของชิ้นงานที่ไม่ผ่านกระบวนการอบชุบ หรือประมาณ 1.4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งที่ผิวของชิ้นงานหลังการอบชุบแข็งและอบคืนไฟ นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไนโตรคาร์เบอร์ไรซิงยังสามารถใช้เพื่อทดแทนการอบคืนไฟได้ ทำให้ขั้นตอนในการอบชุบและต้นทุนในการผลิตลดลง

คำสำคัญ: แก๊สไนโตรคาร์เบอร์ไรซิง เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง ออสเทนไนท์เหลือค้าง

การอ้างอิงบทความ: วรรณา หอมจะบก, สิริวิษณุ แก้วดอนรี, สุรศักดิ์ เตือดสันเทียะ, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, ธนบดี ประดิษฐ์จา และ นิพนธ์ ทวีจันทร์, “ผลกระทบของกระบวนการแก๊สไนโตรคาร์เบอร์ไรซิงต่อการชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงเกรด SKH51,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 32, ฉบับที่ 1, หน้า 77-86, ม.ค.-มี.ค. 2565.



Effect of Gas Nitrocarburizing Process on Hardening of High Speed Tool Steel Grade SKH51

Wanna Homjabok*, Sirawich Keawdonree and Surasak Duadsanthia

Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakorn Ratchasima, Thailand

Narongsak Thammachot

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakorn Ratchasima, Thailand

Tanabodee Praditja and Nipon Taweejun

Thai Tohken Thermo Company Limited, Chon Buri, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 7776 9920, E-mail: whomjabok@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.03.001

Received 18 May 2020; Revised 29 June 2020; Accepted 4 July 2020; Published online: 1 March 2021

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

In this study, effect of gas nitrocarburizing process on hardened and tempered high speed tool steel (SKH51) under the hardening and tempering process by difference heat treatment processes (tempering 2 cycles and 3 cycles before nitrocarburizing process) were studied. The results showed that nitrocarburizing process can increase a higher surface hardness approximately 4.4 times compared to non-heat treatment or approximately 1.4 times compared to hardened and tempered specimen. In addition, the nitrocarburizing process can be used instead of a tempering process. Moreover, heat treatment process and the production cost can be reduced by nitrocarburizing process.

Keywords: Gas Nitrocarburizing, High Speed Tool Steel, Retained Austenite

Please cite this article as: W. Homjabok, S. Keawdonree, S. Duadsanthia, N. Thammachot, T. Praditja, and N. Taweejun, "Effect of gas nitrocarburizing process on hardening of high speed tool steel grade SKH51," *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, no. 1, pp. 77-86, Jan.-Mar. 2022 (in Thai).

1. บทนำ

เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง (High Speed Tool Steel) เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มที่ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ตัดเฉือนโลหะชนิดอื่น ดังนั้นจึงมีความแข็งสูงกว่าเหล็กเครื่องมือทั่วไป โดยอาจมีความแข็งอยู่ช่วงระหว่าง 62-67 HRC [1] ในขณะเดียวกัน การตัดเฉือนโลหะชนิดอื่นมักเกิดขึ้นที่ความเร็วรอบสูงๆ โครงสร้างภายในเนื้อเหล็กจึงต้องมีคาร์ไบด์ที่มีความละเอียดกระจายตัวอยู่ ทำให้สามารถต้านทานการเสียดสีและคงความแข็งได้ที่อุณหภูมิสูงในช่วง 600-620 องศาเซลเซียส [2] ในระหว่างการใช้งาน

เพื่อเป็นการเพิ่มความแข็ง และความต้านทานต่อการเสียดสีให้กับเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงให้สูงขึ้น จึงมีการนำกระบวนการชุบแข็งที่ผิว (Surface Hardening) เข้ามาใช้ในการเพิ่มความแข็งที่ผิวภายหลังจากที่เหล็กเครื่องมือผ่านกระบวนการชุบแข็งแล้ว วิธีการชุบแข็งที่ผิวที่นิยมใช้มีหลายวิธีไม่ว่าจะเป็นแก๊สไนโตรดิง (Gas Nitriding) ลิควิดไนโตรดิง (Liquid Nitriding) พลาสมาไนโตรดิง (Plasma Nitriding) และเฟอร์ริติกไนโตรคาร์ไบด์ (Ferritic Nitrocarburizing) [3] หรือมักเรียกว่า ไนโตรคาร์ไบด์ (Nitrocarburizing) วิธีการไนโตรคาร์ไบด์ แบ่งออกเป็นตามชนิดของตัวกลางที่ทำหน้าที่เพิ่มไนโตรเจนและคาร์บอน ออกเป็น 3 วิธี คือ แก๊สของเหลว และพลาสมา หนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน คือ กระบวนการแก๊สไนโตรคาร์ไบด์ (Gas Nitrocarburizing) [4] หลักการของกระบวนการแก๊สไนโตรคาร์ไบด์ อาศัยการแพร่ของอะตอมไนโตรเจน และคาร์บอนเข้าไปในผิวเหล็กขณะให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิยูเทกตอยด์ [5] โดยอะตอมของไนโตรเจนและคาร์บอนจะได้จากแก๊สแอมโมเนีย (Ammonia) และแก๊สเอ็นโดเทอร์มิก (Endothermic Gas) หรือแก๊สเอ็กโซเทอร์มิก (Exothermic Gas) หรือแก๊สที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนกับออกซิเจน เช่น CO_2 , CO และ CH_4 อะตอมของไนโตรเจนและคาร์บอนที่แพร่เข้าไปจะทำให้เกิดโครงสร้างของไนโตรคาร์ไบด์ (Nitrocarburizing Structure) ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นสารประกอบ (Compound Layer) ที่บริเวณผิวนอกและบริเวณการแพร่ (Diffusion Zone) [6] ส่งผลให้

ผิวเหล็กมีความแข็งสูงขึ้น

ภายหลังจากการชุบแข็งเหล็กเครื่องมือความเร็วสูง โครงสร้างของเหล็กจะประกอบไปด้วยมาร์เทนไซต์ ออสเทนไนต์เหลือค้าง (Retained Austenite) และคาร์ไบด์ ออสเทนไนต์เหลือค้างจะส่งผลให้เหล็กเครื่องมือมีความแข็งต่ำลง ความต้านทานการสึกหรอลดลง และทำให้ขนาดของชิ้นงานไม่คงที่ [7] เนื่องจากขณะใช้งานออสเทนไนต์เหลือค้างจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นมาร์เทนไซต์ [6] การอบคืนไฟ (Tempering) จะช่วยให้ปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างลดลง โดยเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ ส่งผลให้เกิดความแข็งทุติยภูมิ (Secondary Hardening) ขึ้น เหล็กเครื่องมือหลายชนิดใช้ความแข็งทุติยภูมิที่เกิดจากการอบคืนไฟเป็นตัวกำหนดความแข็งสุดท้าย เหล็กเครื่องมือหลายชนิดเพื่อลดปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างอาจต้องทำการอบคืนไฟหลายครั้ง ซึ่งส่งผลต่อเวลาและต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้น

การชุบแข็งผิวด้วยวิธีไนโตรคาร์ไบด์ (Nitrocarburizing) ภายใต้อุณหภูมิสูง (White Layer) หรือชั้นสารประกอบ (Compound Layer) จะเกิดออสเทนไนต์เหลือค้าง หากต้องการลดปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างจะต้องนำไปทำการอบคืนไฟ สำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบคืนไฟจะอยู่ช่วง 540-595 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเป็นช่วงที่สามารถทำแก๊สไนโตรคาร์ไบด์ได้ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ประมาณ 570 องศาเซลเซียส [3], [5]

กระบวนการชุบแข็งผิวด้วยวิธีไนโตรคาร์ไบด์ของบริษัทกรณีศึกษา ใช้ในการชุบแข็งผิวให้แก่เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง SKH51 โดยดำเนินการตามมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น [6] ซึ่งชิ้นงานจะต้องผ่านกระบวนการชุบแข็ง ตามด้วยการอบคืนไฟ 3 รอบ และอบชุบแบบไนโตรคาร์ไบด์ (Nitrocarburizing) ในช่วงอุณหภูมิการอบคืนไฟ (540-595 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิของการทำแก๊สไนโตรคาร์ไบด์ (570 องศาเซลเซียส) อยู่ในขณะเดียวกัน ดังนั้นช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสามารถทำแก๊สไนโตรคาร์ไบด์ควบคู่ไปกับการอบคืนไฟในรอบที่ 3 ได้ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดขั้นตอน และเวลาการทำงาน สามารถลดต้นทุน

การผลิต และทำให้มีกำลังการผลิตที่สูงขึ้น แต่ทั้งนี้ก็ต้องมีการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการอบชุบดังกล่าวที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพื้นผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง SKH51 ด้วยวิธีการไนโตรคาร์โบไรซิง รวมถึงการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิงเพื่อทดแทนการอบคืนไฟในระบบสุญญากาศซึ่งมีต้นทุนในการผลิตที่สูง

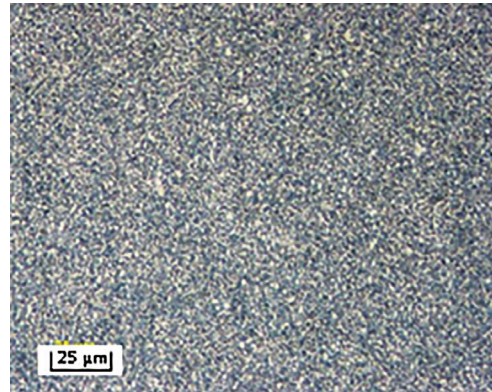
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

เหล็กแท่งรีดกลมเครื่องมือความเร็วสูง SKH51 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร ที่ผ่านกระบวนการอบอ่อนให้คาร์ไบด์กลม (Spheroidizing Annealing) โดยมีส่วนผสมทางเคมีประกอบด้วย 0.87%C, 3.83%Cr, 4.73%Mo, 5.95%W และ 1.7%V ดังแสดงในตารางที่ 1 มีค่าเทียบเคียงกับเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง SKH51 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น (JIS G 4403) เหล็กแท่งกลมนี้ถูกตัดให้มีขนาดหนา 5 มิลลิเมตร และทำการขัดเตรียมผิวชิ้นงานด้วยผงอลูมินาขนาด 1 ไมโครเมตร ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการอบชุบแข็งและไนโตรคาร์โบไรซิง

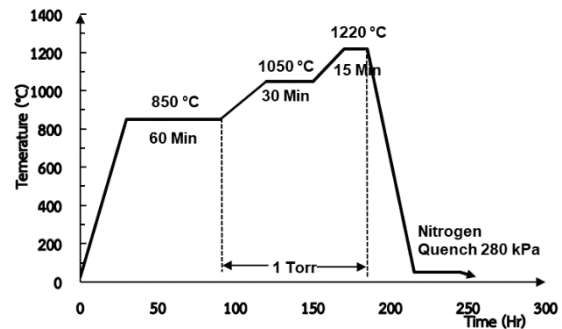
เมื่อนำชิ้นงานมาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบว่าชิ้นงานมีเนื้อพื้น (Matrix) เป็นเฟอร์ไรต์ (Ferrite) และมีคาร์ไบด์ทรงกลม (Spheroidal Carbide) กระจายอยู่บนเนื้อพื้น ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 263 Hv

2.1 กระบวนการอบชุบ

กระบวนการอบชุบแข็งจะถูกดำเนินการในเตาระบบสุญญากาศ ตามสถานะที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 ตามด้วย



รูปที่ 1 โครงสร้างของเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง SKH51 ก่อนการอบชุบแข็ง



รูปที่ 2 สถานะการอบชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง SKH51

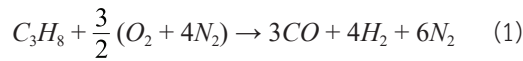
กระบวนการอบคืนไฟในสภาวะสุญญากาศ อุณหภูมิ 560 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที [6] และกระบวนการแก๊สไนโตรคาร์โบไรซิง อุณหภูมิ 560 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที โดยควบคุมอัตราการไหลของแก๊สแอมโมเนียรัที่ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และควบคุมอัตราการไหลของแก๊สเอ็นโดเทอร์มิก (Endothermic Gas) ที่ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

โดยแก๊สเอ็นโดเทอร์มิก เป็นแก๊สที่ถูกผลิตจากแก๊ส

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง SKH51

SKH51	ส่วนผสมทางเคมี (wt.%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Fe
มาตรฐาน JIS G 4403	0.80-0.88	≤0.45	≤0.40	≤0.030	≤0.030	3.80-4.50	4.70-5.20	1.70-2.10	5.90-6.70	Bal
ชิ้นงานทดสอบ	0.87	0.39	0.28	0.027	0.004	3.83	4.73	1.70	5.95	Bal

โพรเพน (C_3H_8) และอากาศ ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส มีส่วนประกอบทางเคมี ดังสมการที่ (1)



เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการอบคืนไฟ และกระบวนการไนโตรคาร์เบอร์ซิง ชิ้นงานถูกนำมาจัดกลุ่มเพื่อเข้าสู่กระบวนการอบชุบดังแสดงในตารางที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

ชิ้นงานทดสอบ H: ผ่านกระบวนการชุบแข็งเพียงอย่างเดียว โดยไม่ทำการอบคืนไฟ

ชิ้นงานทดสอบ HT1: ผ่านกระบวนการชุบแข็ง และทำการอบคืนไฟ 1 รอบ

ชิ้นงานทดสอบ HT2: ผ่านกระบวนการชุบแข็ง และทำการอบคืนไฟ 2 รอบ

ชิ้นงานทดสอบ HT3: ผ่านกระบวนการชุบแข็ง และทำการอบคืนไฟ 3 รอบ

ชิ้นงานทดสอบ HT3N: ผ่านกระบวนการชุบแข็ง และทำการอบคืนไฟ 3 รอบ แล้วอบชุบแบบไนโตรคาร์เบอร์ซิง

ชิ้นงานทดสอบ HT2N: ผ่านกระบวนการชุบแข็ง และทำการอบคืนไฟ 2 รอบ แล้วอบชุบแบบไนโตรคาร์เบอร์ซิง

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มชิ้นงานทดสอบตามกระบวนการอบชุบแบบต่างๆ

สัญลักษณ์	กระบวนการอบชุบทางความร้อน				
	ชุบแข็ง	อบคืนไฟรอบที่ 1	อบคืนไฟรอบที่ 2	อบคืนไฟรอบที่ 3	ไนโตรคาร์เบอร์ซิง
H	✓				
HT1	✓	✓			
HT2	✓	✓	✓		
HT3	✓	✓	✓	✓	
HT3N	✓	✓	✓	✓	✓
HT2N	✓	✓	✓		✓

2.2 การทดสอบ และตรวจสอบ

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ทำโดยการนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความร้อน

ตามสภาวะต่างๆ ในตารางที่ 2 มาตัดตามแนวขวาง (Section) และทำการขึ้นเรือน ทำการขัดผิวละเอียดด้วยผงอะลูมินา ขนาด 1 ไมโครเมตร และกัดขึ้นรอยด้วยสารละลายไนทอล 4% (ไนตริก 4 มิลลิลิตร ผสมกับเมทานอล 96 มิลลิลิตร) [7] เพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลภาคแบบแสง (Nikon: DS-R11/NIS Elements) ที่บริเวณใจกลางของชิ้นงาน (Core) และบริเวณผิวของชิ้นงาน (Surface)

ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการไนโตรคาร์เบอร์ซิง ถูกนำมาตรวจสอบระยะความหนาของชั้นสารประกอบ (Compound Layer) ด้วยกล้องจุลทัศน์แบบแสงและโปรแกรมวิเคราะห์พื้นผิว (Keyence: VHX-6000)

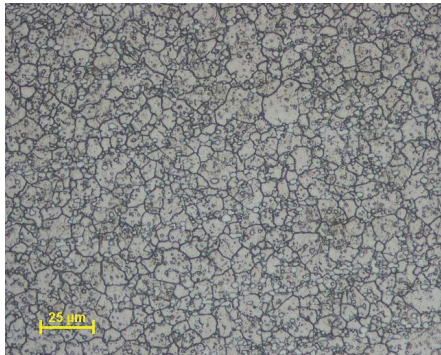
ปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างจะถูกวัดปริมาณด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (Stresstech Group: Xstress3000) ที่บริเวณใจกลางของชิ้นงาน

ค่าความแข็ง (Hardness) จะทดสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ (Future Tech: FM-800) โหลด 2.94 นิวตัน (300 กรัม) จำนวน 5 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง บริเวณใจกลาง และบริเวณผิวของชิ้นงาน รวมถึงจากผิวของชิ้นงานจนถึงบริเวณแกนกลางชิ้นงานเพื่อตรวจสอบชั้นการแพร่ (Diffusion Layer) ด้วยโหลด 0.98 นิวตัน (100 กรัม) หลังกระบวนการไนโตรคาร์เบอร์ซิง [8]

3. ผลการทดลอง

3.1 โครงสร้างระดับจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่บริเวณใจกลางของชิ้นงานหลังการอบชุบด้วยกระบวนการอบชุบตามสภาวะต่างๆ ที่กำหนด แสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานหลังทำการอบชุบแข็งก่อนการอบคืนไฟ H [รูปที่ 3 (ก)] ประกอบไปด้วยมาร์เทนไซต์ที่ไม่ผ่านการอบคืนไฟ (Untempered Martensite) และคาร์ไบด์ที่ไม่ละลายมาร์เทนไซต์ที่ได้ภายหลังการชุบแข็งนั้น จะไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที เนื่องจากมีความเค้นตกค้างสูงจากผลของการเปลี่ยนเฟสจึงมีความแข็งสูงแต่เปราะ ต้องนำไปอบคืนไฟเพื่อเพิ่มความเหนียวและความแกร่งให้กับเหล็กชุบแข็ง โดยเมื่อทำการอบคืนไฟ HT1–HT3 [รูปที่ 3 (ข)–(ง)] และไนโตรคาร์เบอร์ซิง HT3N



(ก) H



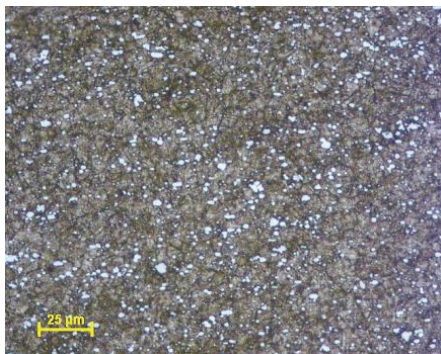
(ข) HT1



(ค) HT2



(ง) HT3



(จ) HT3N

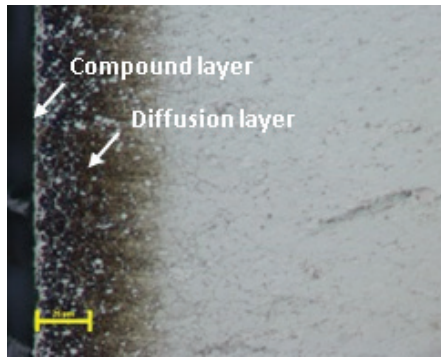


(ฉ) HT2N

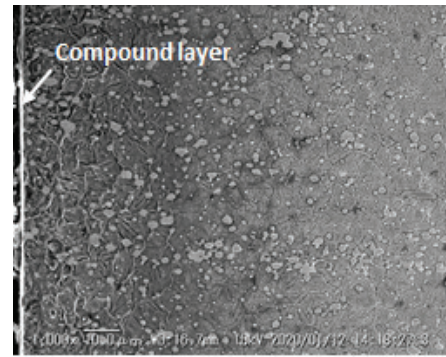
รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณใจกลางของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการอบชุบ: (ก) H ชิ้นงานหลังกระบวนการชุบแข็ง (ข) HT1 ชิ้นงานหลังการอบชุบแข็ง และอบคืนไฟ 1 รอบ (ค) HT2 ชิ้นงานหลังการอบชุบแข็ง และอบคืนไฟ 2 รอบ (ง) HT3 ชิ้นงานหลังการอบชุบแข็ง และอบคืนไฟ 3 รอบ (จ) HT3N ชิ้นงานหลังการอบชุบแข็ง อบคืนไฟ 3 รอบ และไนโตรคาร์โบไรซิง (ฉ) HT2N ชิ้นงานหลังการอบชุบแข็ง อบคืนไฟ 2 รอบ และไนโตรคาร์โบไรซิง

และ HT2N [รูปที่ 3 (จ)-(ฉ)] จะพบโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่ผ่านการอบคืนไฟ (Tempered Martensite) คาร์ไบต์ที่ไม่ละลาย (Insoluble Carbide: โครงสร้างที่เป็นจุดสีขาว)

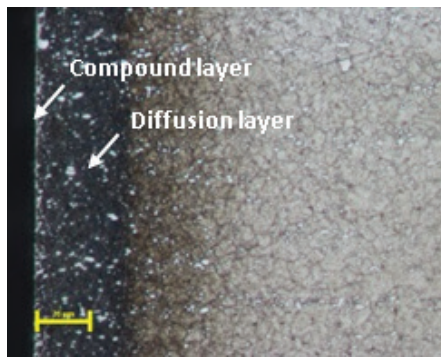
และคาร์ไบต์ที่ตกผลึก (Precipitated Carbide: โครงสร้างที่เป็นจุดสีดำ) ซึ่งเกิดจากธาตุผสมที่อยู่ในออสเทนไนต์จับตัวกับคาร์บอนเกิดเป็นผลึกของคาร์ไบต์



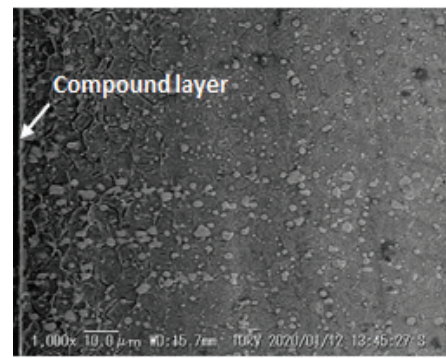
(ก) H



(ข) HT1



(ค) HT2

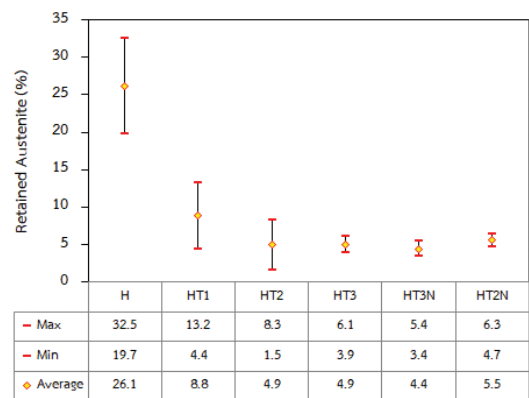


(ง) HT3

รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณผิวของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิง: HT3N ชิ้นงานหลังการอบชุบแข็ง อบคืนไฟ 3 รอบ และไนโตรคาร์โบไรซิงโดย (ก) OM และ (ข) SEM, HT2N ชิ้นงานหลังการอบชุบแข็งอบคืนไฟ 2 รอบ และไนโตรคาร์โบไรซิงโดย (ค) OM และ (ง) SEM

3.2 ปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้าง

ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเครื่องมือ ความเร็วสูง SKH51 โดยทั่วไปจะมีออสเทนไนต์เหลือค้างอยู่ในโครงสร้างมาร์เทนไซต์ (จากรูปที่ 3, 4) ซึ่งจะสังเกตเห็นค่อนข้างยาก ดังนั้น เทคนิคการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) จึงถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างของชิ้นงาน ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 5 จากผลการวิเคราะห์พบว่า หลังจากทำการชุบแข็ง (H) ชิ้นงานจะมีปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้าง 26.1% การเหลือค้างของออสเทนไนต์นี้เกิดจากปริมาณธาตุผสมที่มีอยู่สูงในเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง (SKH51) เช่น คาร์บอน โครเมียม และ โมลิบดีนัม ทำให้อุณหภูมิสิ้นสุดของการเปลี่ยนโครงสร้างเป็น มาร์เทนไซต์ในกระบวนการชุบแข็ง (Martensite Finish) ต่ำลง



รูปที่ 5 ปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างของชิ้นงาน

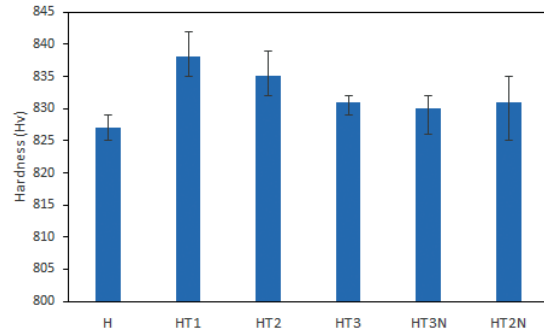
โครงสร้างออสเทนไนต์ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นโครงสร้าง มาร์เทนไซต์ได้หมดที่อุณหภูมิห้อง จึงมีออสเทนไนต์เหลือค้าง

ปริมาณสูง หลังทำการอบชุบแข็ง การอบคืนไฟจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นการลดปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้าง ดังกล่าว [1] หลังจากขึ้นงานผ่านกระบวนการอบคืนไฟ 1 รอบ (HT1) พบว่า ปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างลดลงจาก 26.1% เป็น 8.8% และลดลงเหลือ 4.9% ในการอบคืนไฟรอบที่ 2 (HT2) และในการอบคืนไฟรอบที่ 3 (HT3) ตามลำดับ ทั้งนี้ หลังการอบคืนไฟรอบที่ 2 และทำไนโตรคาร์โบไรซิง (HT2N) ปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างหลังเพิ่มกระบวนการอบคืนไฟรอบที่ 3 และทำไนโตรคาร์โบไรซิง (HT3N)

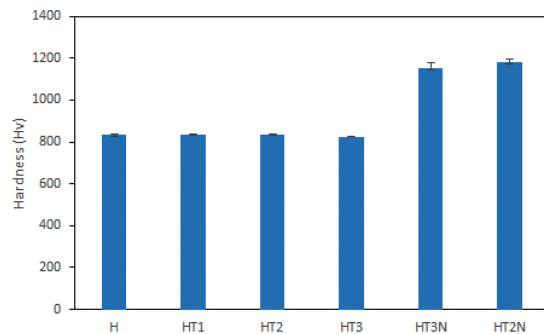
3.3 ค่าความแข็ง

ค่าความแข็งที่ใจกลางของชิ้นงานหลังการอบชุบ แสดงในรูปที่ 6 พบว่า ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นหลังการอบชุบแข็ง (H) ประมาณ 3.2 เท่า เมื่อเทียบกับชิ้นงานก่อนการอบชุบแข็ง และยังคงพบว่า หลังการอบคืนไฟครั้งที่ 1 (HT1) ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งที่สูงขึ้น เนื่องจากการลดลงของปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้าง ซึ่งมีความแข็งที่น้อยกว่าโครงสร้างมาร์เทนไซต์ [9] และค่าความแข็งจะมีแนวโน้มลดลงในการการอบคืนไฟครั้งที่ 2 (HT2) และการอบคืนไฟครั้งที่ 3 (HT3) เนื่องจากเป็น การอบคืนไฟให้มาร์เทนไซต์ที่เกิดขึ้นใหม่หลังการอบคืนไฟครั้งก่อนหน้า แม้ว่าปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างจะลดลง และเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ก็ตาม ทั้งนี้ หลังการอบคืนไฟรอบที่ 2 และไนโตรคาร์โบไรซิง (HT2N) ชิ้นงานจะมีค่าความแข็งที่ใจกลางต่ำกว่าชิ้นงานหลังการอบคืนไฟรอบที่ 3 และไนโตรคาร์โบไรซิง (HT3N) เล็กน้อย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ค่าความแข็งที่ผิวของชิ้นงาน (Surface Hardness) หลังการอบชุบ แสดงในรูปที่ 7 พบว่า ค่าความแข็งที่ผิวของชิ้นงานหลังการอบชุบแข็ง และอบคืนไฟ ในกระบวนการ H, HT1, HT2 และ HT3 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความแข็งกลางใจชิ้นงาน แต่เนื่องจากค่าความแข็งที่ผิวของชิ้นงานมีค่าที่ใกล้เคียงกัน (827-838Hv) จึงไม่เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะเห็นความแตกต่างของชิ้นงานอย่างชัดเจนเมื่อผ่านกระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิง HT3N และ



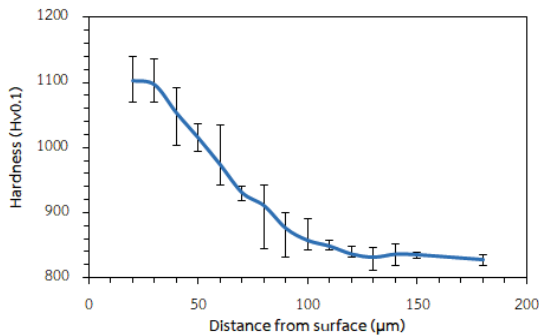
รูปที่ 6 ความแข็งใจกลางชิ้นงาน (Core Hardnes)



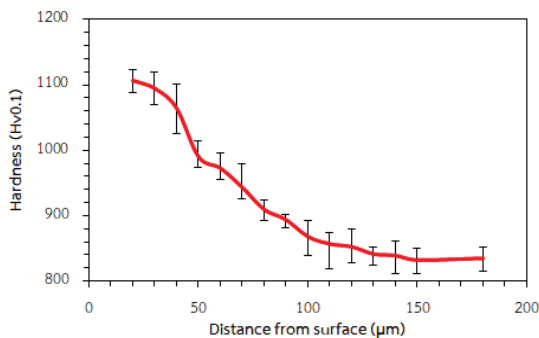
รูปที่ 7 ความแข็งผิวชิ้นงาน (Surface Hardnes)

HT2N ซึ่งจะมีค่าความแข็งผิวที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานก่อนกระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิง โดยจะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นประมาณ 4.4 เท่าของชิ้นงานก่อนการอบชุบ หรือประมาณ 1.4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งผิวของชิ้นงานหลังการอบชุบแข็งและอบคืนไฟ อันเนื่องมาจากชั้นสารประกอบและชั้นการแพร่ (รูปที่ 4) ที่ถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิง

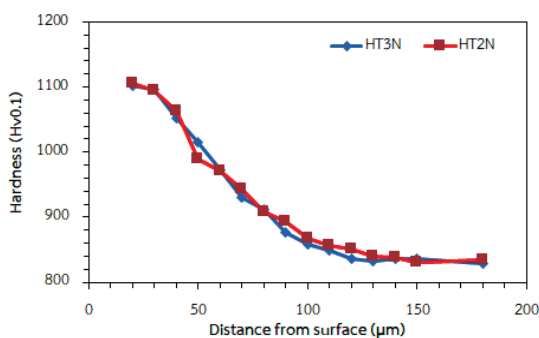
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งและระยะจากผิวชิ้นงานแสดงให้เห็นว่า ที่ผิวนอกสุดของชิ้นงานมีค่าความแข็งสูงสุด และลดลงมาเรื่อยๆ จนถึงใจกลางของชิ้นงาน ค่าความหนาของชั้นผิวแข็ง (Total Case Depth) มีค่าประมาณ 120 ไมโครเมตร ทั้งในชิ้นงาน HT3N และ HT2N แสดงให้เห็นว่า การอบคืนไฟ 2 รอบ หรือ 3 รอบ ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อชั้นผิวแข็งที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิง



(ก) HT3N



(ข) HT2N



(ค) HT3N และ HT2N

รูปที่ 8 ความแข็งของชั้นผิวแข็งตามแนวตัดขวาง (Section Hardness) หลังผ่านกระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิง (การชุบแข็ง ตามด้วยการอบคืนไฟ 3 รอบ และไนโตรคาร์โบไรซิง (HT3N) (ข) การชุบแข็ง ตามด้วยการอบคืนไฟ 2 รอบ และอบชุบแบบไนโตรคาร์โบไรซิง (HT2N) (ค) เปรียบเทียบระหว่าง HT3N และ HT2N

ค่าความหนาของชั้นผิวแข็งมีค่าประมาณ 120 ไมโครเมตร นั้น เพียงพอแล้วสำหรับการนำไปใช้งาน โดยเมื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ซึ่งเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือที่ผ่านกระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิง เช่น SKD11 จะมีความหนาของชั้นผิวแข็ง 50-100 ไมโครเมตร [10] และ X40CrMoV5-1 จะมีความหนาของชั้นผิวแข็ง 70-100 ไมโครเมตร [11] ทั้งนี้ขึ้นกับกระบวนการและสภาวะที่กำหนดด้วย

4. สรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของการอบชุบเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง (SKH51) ที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งอบคืนไฟและไนโตรคาร์โบไรซิง ผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

การชุบแข็งและอบคืนไฟสามารถเพิ่มความแข็งใจกลางของชิ้นงานได้ประมาณ 3.2 เท่า และเมื่อเพิ่มกระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิงหลังการอบชุบแข็งและอบคืนไฟจะเพิ่มความแข็งผิวได้ประมาณ 4.4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความของชิ้นงานที่ไม่ผ่านกระบวนการอบชุบหรือประมาณ 1.4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งผิวของชิ้นงานหลังการอบชุบแข็งและอบคืนไฟ

หลังจากชิ้นงานผ่านกระบวนการอบคืนไฟ 1 รอบ (HT1) พบว่า ปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างลดลงจาก 26.1% เป็น 8.8% และลดลงเหลือ 4.9% ในกระบวนการอบคืนไฟรอบที่ 2 (HT2) และในการอบคืนไฟรอบที่ 3 (HT3) ส่วนชิ้นงานหลังการอบคืนไฟรอบที่ 2 และทำไนโตรคาร์โบไรซิง (HT2N) ปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างหลังเพิ่มกระบวนการอบคืนไฟรอบที่ 3 และทำไนโตรคาร์โบไรซิง (HT3N)

จากการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนไฟ 2 และ 3 รอบ แล้วนำเข้าสู่กระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิง (HT2N, HT3N) พบว่า โครงสร้างจุลภาคปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้าง ค่าความแข็ง และความหนาของชั้นสารประกอบของชิ้นงานหลังกระบวนการไนโตรคาร์โบไรซิงทั้ง 2 กระบวนการ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า การทำ



แก๊สไนโตรคาร์ไบด์โรซิงสามารถทำควบคู่ไปกับการอบคืนไฟในรูปที่ 3 ได้ หรืออีกความหมายหนึ่งคือไม่จำเป็นจะต้องทำการอบคืนไฟในรูปที่ 3

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทไทยโตเคน เทอร์โม จำกัด เป็นอย่างสูง ในการสนับสนุนชิ้นงาน ตลอดจนการเก็บผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Leskovsek, B. Ule, and B. Liscic, "The influence of microstructure on fracture toughness of vacuum heat treated HSS AISI M2," *Materiali in Technologije*, vol.35, no. 5, pp. 211–217, 2001.
- [2] J. Slycke and L. Spruge, "Kinetics of the gaseous nitrocarburizing process," *Surface Engineering*, vol.5, no.2, pp. 125–140, 1989.
- [3] L. H. Chiu, C. H. Wu, and H. Chang, "Wear behavior of nitrocarburized JIS SKD61 tool steel," *Wear*, vol. 253, no. 7–8, pp. 778–786, 2002.
- [4] J. W. Zhang, L. T. Lu, K. Shiozawa, W. N. Zhou, and W. H. Zhang, "Effects of nitrocarburizing on fatigue property of medium carbon steel in very high cycle regime," *Materials Science and Engineering A*, vol. 528, no. 22–23, pp. 7060–7067, 2011.
- [5] R. L. Liu and M. F. Yan, "Improvement of wear and corrosion resistance of 17-4PH stainless steel by plasma nitrocarburizing," *Material and Design*, vol. 31, no. 5, pp. 2355–2359, 2010.
- [6] Otai Special Steel. (2019). *SKH51 Steel/JIS G 4403 High Speed Tool Steels*. [Online]. Available: <http://www.otasteel.com/products/skh51-steel-jis-g4403/>
- [7] *Steel-macroscopic examination by etchin*, JIS G 0553: 2008, 2001.
- [8] *Method of measuring case depth hardened by carburizing treatment for steel*, JIS G 0057, 2006.
- [9] N. Taweejun and C. Kanchanomai, "Effects of carbon and nitrogen on microstructure and mechanical properties of carbo-nitrided low-carbon steel," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 24, pp. 4853–4862, 2015.
- [10] D. C. WEN, "Effect of nitrocarburizing time on the microstructures and erosion behavior of cold-work tool steel," *ISIJ International*, vol. 49, no. 11, pp. 1762–1768, 2009.
- [11] A. Ciski, T. Babul, K. Lankiewicz, Z. Obuchowicz, and P. Šuchmann, "New method of nitrocarburizing of X37CrMoV5-1 hot working tool steel in chemically active fluidized bed," *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 62, no. 2, pp. 81–87, 2014.