

นายกฤตภาส ศรีบุญเรือง: ผลของไนโอเบียมต่อพฤติกรรมกรรมวิธีทางความร้อนและความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิด (EFFECT OF NIOBIUM ON HEAT TREATMENT BEHAVIOR AND ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF MULTI-ALLOYED WHITE CAST IRON)

อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.สารัมภ์ บุญมี, 226 หน้า.

คำสำคัญ : เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิด/ไนโอเบียม/การอบชุบทางความร้อน/สัดส่วนปริมาตรของออสเทนไนต์เหลือค้าง/ความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสี

เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดที่มีธาตุผสม Cr, Mo, W, V และ Co ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเป็นวัสดุเปลือกนอกของลูกรีดงานรีดร้อน เนื่องจากมีความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีที่ดีเยี่ยม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมไนโอเบียม (Nb) ต่อพฤติกรรมกรรมวิธีการอบชุบทางความร้อนและความต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิด โลหะผสมถูกหล่อขึ้นโดยมีปริมาณไนโอเบียมตั้งแต่ 0.00-2.58% โดยน้ำหนัก ร่วมกับปริมาณคาร์บอน 2.00 และ 2.40% โดยน้ำหนัก ชิ้นงานนำไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ออสเทนไนต์ที่โซลที่อุณหภูมิ 1050 และ 1100 องศาเซลเซียส ชุบแข็งด้วยวิธีการพ่นไนโตรเจนเหลว (LNS) และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานในสภาพหล่อที่มีไนโอเบียมต่ำกว่า 0.70% โดยน้ำหนักเป็นโครงสร้างแบบไฮโปยูเทกติก ส่วนในชิ้นงานที่มีการเติมไนโอเบียมมากกว่า 0.70% โดยน้ำหนักมีโครงสร้างจุลภาคเป็นไฮเปอร์ยูเทกติก เนื่องจากการตกผลึกของคาร์ไบด์ปฐมภูมิชนิด MC (MC_p) ก่อนเกิดปฏิกิริยายูเทกติก โดยพบโครงสร้างยูเทกติกของ $\gamma + MC$ และ $\gamma + M_2C$ ในทุกชิ้นงาน ในสภาพชุบแข็งพบว่า โครงสร้างพื้นประกอบด้วยมาร์เทนไซต์ คาร์ไบด์ลำดับที่สอง และออสเทนไนต์เหลือค้าง ความแข็งของชิ้นงานในสภาพชุบแข็งลดลงเมื่อปริมาณไนโอเบียมเพิ่มขึ้นจนถึง 1.05% โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนและไนโอเบียมเพิ่มขึ้น ในขณะที่สัดส่วนปริมาตรของออสเทนไนต์เหลือค้าง (V_γ) เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตามปริมาณไนโอเบียมที่เพิ่มขึ้น แนวโน้มลักษณะเดียวกันนี้พบทั้งสองอุณหภูมิออสเทนไนต์ที่โซล อย่างไรก็ตาม ในชิ้นงานที่ออสเทนไนต์ที่โซลที่ 1100 องศาเซลเซียส V_γ มีค่าสูงกว่า และความแข็งมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานที่ออสเทนไนต์ที่โซลที่ 1050 องศาเซลเซียส ในสภาวะหลังการอบคืนตัว ชิ้นงานทุกชิ้นแสดงพฤติกรรมความแข็งตัวขั้นที่สอง โดยมีความแข็งหลังการอบคืนตัวสูงสุด (H_{Tmax}) ที่อุณหภูมิการอบคืนตัว 525 องศาเซลเซียส ความแข็งสูงสุดนี้ลดลงเมื่อปริมาณไนโอเบียมเพิ่มขึ้นจนถึง 1.05% โดยน้ำหนัก และเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อปริมาณคาร์บอนและไนโอเบียมเพิ่มขึ้น โดยพบว่าสัดส่วนปริมาตรของออสเทนไนต์เหลือค้าง (V_γ) เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตามปริมาณไนโอเบียมที่เพิ่มขึ้น ความแข็งที่ H_{Tmax} ของชิ้นงานที่ชุบแข็งที่อุณหภูมิสูงมีค่าสูงกว่าชิ้นงาน

ที่ชุบแข็งที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่คำนึงถึงปริมาณไนโอเบียม ความแข็งสูงสุดพบในชิ้นงานที่มีปริมาณคาร์บอน 2.40% และไนโอเบียม 2.58% โดยน้ำหนัก ทั้งสองอุณหภูมิชุบแข็ง

สำหรับพฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดสี พบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างการสูญเสียน้ำหนัก (W_l) และระยะทางการสึกหรอ (W_d) ในทุกชิ้นงาน อัตราการสึกหรอ (R_w) ต่ำสุดพบในชิ้นงานสภาวะหลังการชุบแข็ง หรือชิ้นงาน H_{Tmax} ในการทดสอบชุกะ R_w เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไนโอเบียมเพิ่มขึ้นจนถึง 1.05% โดยน้ำหนัก จากนั้นลดลงในชิ้นงานที่มีคาร์บอน 2.40%-ไนโอเบียม 2.58% โดยน้ำหนัก ในการทดสอบล้ออย่าง R_w ลดลงเมื่อปริมาณไนโอเบียมเพิ่มขึ้นจนถึง 1.05% โดยน้ำหนัก และเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อปริมาณคาร์บอนและไนโอเบียมเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาทางด้านความแข็ง ค่า R_w ลดลงอย่างรวดเร็วในชิ้นงานที่มีความแข็งต่ำกว่า 800 HV30 จากนั้นลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อความแข็งเพิ่มขึ้นทั้งสองการทดสอบ ในกรณีของ V_r ค่า R_w มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีค่า V_r ต่ำกว่า 8% หลังจากนั้นค่า R_w มีแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ และคงที่ ที่สภาวะ H_{Tmax} ความต้านทานการสึกหรอในการทดสอบชุกะที่ดีที่สุดพบในชิ้นงานคาร์บอน 2.40%-ไนโอเบียม 2.58% โดยน้ำหนัก ในขณะที่ความต้านทานการสึกหรอในการทดสอบล้ออย่างที่ดีที่สุดพบในชิ้นงานไนโอเบียม 1.05% โดยน้ำหนัก

สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ
ปีการศึกษา 2569

ลายมือชื่อนักศึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 

Krittapart Sriboonrueang: EFFECT OF NIOBIUM ON HEAT TREATMENT
BEHAVIOR AND ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF MULTI-ALLOYED WHITE
CAST IRON

THESIS ADVISOR: Associate Professor Sarum Boonmee, Ph.D., 226 PP.

Keyword : Multi-alloyed white cast iron/Niobium/Heat treatment/Volume fraction of retained austenite/Abrasive wear resistance

Multi-alloyed white cast iron containing Cr, Mo, W, V and Co is widely used as an outer-shell material for hot-rolling work rolls owing to its excellent abrasive wear resistance. This study aimed to investigate the effect of niobium (Nb) addition on the heat treatment behavior and abrasive wear resistance of multi-alloyed white cast iron. Alloys were produced with Nb contents of 0.00 - 2.58 wt%, together with C of 2.00 and 2.40 wt%. The specimens were annealed at 950°C, austenitized at 1050°C and 1100°C, hardened by liquid nitrogen spray (LNS) quenching and tempered at 400-600°C.

In the as-cast condition, Nb addition changed the solidification mode from hypoeutectic in the Nb-free and 0.70 wt%Nb specimens to hypereutectic in the 1.05 wt%Nb specimen and in the 2.40 wt%C-2.58 wt%Nb specimen, owing to the crystallization of primary MC carbide (MC_p) prior to the eutectic reaction. The eutectic of $\gamma + MC$ and $\gamma + M_2C$ was observed in all specimens. In the as-hardened condition, the matrix structure consisted of martensite, secondary carbide and retained austenite. The as-hardened hardness decreased with increasing Nb content up to 1.05 wt%Nb, after which the hardness tended to increase while the volume fraction of retained austenite (V_γ) increased with increasing Nb content. A similar trend was observed at both austenitizing temperatures. However, the V_γ was higher and hardness of specimens austenitized at 1100°C was lower than that of specimens austenitized at 1050°C, for all specimens. In the tempered condition, all specimens exhibited secondary hardening behavior, reaching a maximum tempered hardness (H_{Tmax}) at a tempering temperature of 525°C. This H_{Tmax} decreased with increasing Nb content up to 1.05 wt%Nb and increased again as the C and Nb contents increased further. The V_γ increased with increasing Nb content. Regarding the austenitizing temperature, specimens austenitized at the higher temperature exhibited higher H_{Tmax} . The highest

hardness at H_{Tmax} was obtained in the 2.40 wt%C-2.58 wt%Nb specimen at both austenitizing temperatures.

Regarding the abrasive wear behavior, a linear relationship between weight loss (W_l) and wear distance (W_d) was obtained for all specimens. The lowest wear rate (R_w) was obtained in the as-hardened or the H_{Tmax} specimens. In the Suga test, the wear rate increased with increasing Nb content up to 1.05 wt%Nb, then decreased sharply in the 2.40 wt%C-2.58 wt%Nb specimen. In the rubber wheel test, the wear rate decreased with increasing Nb content up to 1.05 wt%Nb and increased again as C and Nb contents increased further. In terms of hardness, the R_w value decreased rapidly in specimens with hardness below 800 HV30, then decreased gradually as hardness increased in both abrasive wear tests. Regarding V_γ , the R_w value tended to decrease rapidly when V_γ was below 8%, after which it tends to decrease gradually and stabilize, regardless of the abrasive wear test. At the H_{Tmax} condition, the best wear resistance in the Suga test was obtained in the 2.40 wt%C-2.58 wt%Nb specimen, while the best wear resistance in the rubber wheel test was obtained in the 1.05 wt%Nb specimen.

School of Metallurgical Engineering
Academic Year 2026

Student's Signature Krittanat

Advisor's Signature Sam

Co-advisor's Signature Paulinok Buda