# ผลของธาตุซิลิกอนต่อความแข็งขณะทำกรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กหล่อโครเมียมสูง16%Cr ที่เติม 2%Mo

# Effect of Silicon on Hardness during Heat Treatment of 16%Cr Cast Iron with 2%Mo

พิสิฐชัย โคสะสุ,*[1]และสุดสาคร อินธิเดช,[2]
Pisizchai Kosasu,*[1] and Sudsakorn Inthidech,[2]

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมซิลิกอน (Si) ในปริมาณ 0.5 - 2.0% โดยน้ำหนัก (แทนด้วย %) ต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งขณะทำกรรมวิธีทางความร้อนในเหล็กหล่อโครเมียมสูงที่มีส่วนผสม 16%Cr-2%Mo ทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบที่มีปริมาณ 0.5 - 2.0%Si ทำการชุบแข็งจากอุณหภูมิ 1323K ด้วยน้ำมัน และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 723 – 823K ผลการทดลองพบว่าโครงสร้างเนื้อพื้นในสภาพชุบแข็งประกอบด้วยออสเทนไนต์ มาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ลำดับที่สอง ความแข็งในสภาพชุบแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Si จนถึง 1.5% Si จากนั้นความแข็งลดลงช้าๆ เมื่อเพิ่มปริมาณ Si กราฟความแข็งในสภาพอบคืนตัวแสดงการแข็งขึ้นลำดับที่สอง (secondary hardening) เนื่องจากการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์เป็นมาร์เทนไซต์และการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สอง โดยระดับการการแข็งขึ้นลำดับที่สองลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Si ความแข็งสูงสุดหลังการอบคืนตัว ($H_{Tmax}$) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 773K โดยค่า $H_{Tmax}$ สูงสุดคือ 898 HV30 และ 853 HV0.1ได้รับในชิ้นงานที่เติม 1.5%Si

**คำสำคัญ:** เหล็กหล่อโครเมียมสูง กรรมวิธีทางความร้อน ความแข็ง ผลของ Si

## Abstract

This research investigated the effect of 0.5 - 2.0 wt% Si (as shown by %) addition on the hardness during heat treatment of high chromium cast iron with 16%Cr-2%Mo. The test specimens with 0.5 - 2.0%Si were prepared. The specimens were hardened from 1323K austenitizing by oil quenching and then tempered from 723 to 823K. From the results, it was found that the matrix of as-hardened specimens consisted of retained austenite, martensite and secondary carbides. The hardness in as-hardened state increased gradually as Si content increased to 1.5% and then decreased with an increased in the Si content. The hardness in tempered state showed a secondary hardening due to the the precipitation of secondary carbides and the

[1]อาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหการคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000, [2,] รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150. [1] Lecturer,Department of Science in Technical Education (Industrial Engineering),Faculty of Technical Education, RajamangalaUniversity of Technology IsanKhonkaen Campus,Muang, Khonkaen, 40000, Thailand, Tel. 043-336370-1 [2,] Assoc. Prof., Department of Manufacturing Engineering,Faculty of Engineering, MahasarakhamUniversity, Khamreang, Kantharawichai, MahaSarakham, 44150, Thailand, Tel.043-754-316 Ext. 3037 Fax. 043-754-316 [*]Corresponding author E-mail: pisizchai.k@gmail.com

transformation of austenite into martensite. The degree of secondary hardening decreased with increasing the Si content. The maximum tempered hardness ($H_{Tmax}$) was obtained at 773K tempering in all specimens. The highest value of $H_{Tmax}$, 898 HV30 and 853 HV0.1, was obtained in the specimen with 1.5%Si.

**Keyword**: High chromium cast iron, heat treatment, hardness, Si effect,

## บทนำ

เหล็กหล่อโครเมียมสูงใช้งานมาอย่างยาวนานในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมเหมืองแร่และอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้า เนื่องจากมีคุณสมบัติต้านทานต่อการขัดสีสูงและมีความต้านทานต่อการกระแทกในระดับที่ใช้งานได้ นิยมใช้ทำเป็นอุปกรณ์ทนการสึกหรอแบบขัดสี เช่น ลูกบดและหม้อบดแร่ในอุตสาหกรรมการผลิตซีเมนต์และเหมืองแร่ สายพานลำเลียงแร่ ลูกรีดในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้า[1] เหล็กหล่อโครเมียมสูงที่ใช้งานในปัจจุบันมีปริมาณโครเมียม (Cr) ประมาณ12 - 30% โดยน้ำหนัก (จากนี้ไปแทนด้วย%) โดยส่วนผสมที่ใช้งานมากที่สุดมีปริมาณ 16% และ 26%Cr [1,2] นอกจากนี้จะผสมโมลิบดีนัม (Mo) เพื่อเพิ่มความสามารถในการชุบแข็งและฟอร์มคาร์ไบด์ที่มีความแข็งสูง[2]

ความต้านทานต่อการสึกหรอของเหล็กหล่อโครเมียมสูงขึ้นกับโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเป็นหลัก โครงสร้างจุลภาคในสภาพหล่ออาจเป็นได้ทั้งออสเทนไนต์ มาร์เทนไซต์และเพิลไลต์[1-5] โดยปกติจะพบว่าในสภาพหล่อมักเป็นเพิลไลต์หรือออสเทนไนต์และมีมาร์เทนไซต์เพียงเล็กน้อย ทำให้สภาพหล่อมีความแข็งประมาณ 500 - 600 HV[3-5] ความแข็งในระดับดังกล่าวไม่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานซึ่งความแข็งที่ต้องการจะต้องแข็งสูงกว่า 700 HV[3] ดังนั้นเหล็กหล่อโครเมียมสูงจะต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนก่อนการนำไปใช้งานเพื่อปรับปรุงเหล็กหล่อให้มีความแข็งมากขึ้น

กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กหล่อโครเมียมสูงได้แก่ การชุบแข็งและอบคืนตัวคล้ายกับเหล็กกล้า โดยขั้นตอนการชุบแข็งจะอบชิ้นงานในช่วง 1273-1323K และเย็นตัวโดยใช้ลมเป่าหรือน้ำมัน จากนั้นจะทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 673-873K ซึ่งความแข็งที่ได้รับจะแข็งสูงกว่า 800 HV[5-7]

แม้ว่าจะมีการศึกษากรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กหล่อโครเมียมสูง[5,12,13] มาแล้ว แต่พบว่าสามารถเพิ่มความแข็งได้ไม่เกิน 800 HV30 เท่านั้น[7] เนื่องจากการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์เป็นมาร์เทนไซต์เกิดขึ้นได้ช้า[12,13] ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหาโดยการเติมธาตุผสมเพื่อเร่งให้ออสเทนไนต์เปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์มากขึ้น โดยธาตุผสมดังกล่าวคือ ซิลิกอน (Si) เพราะ Si ลดความสามารถในการละลายของคาร์บอน (C) ในออสเทนไนต์ลง[2,3,5] ทำให้ออสเทนไนต์ขาดเสถียรภาพและเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ได้ง่ายขึ้น แต่ข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาผลของธาตุ Si ต่อความแข็งของเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr-2%Mo ซึ่งเป็นส่วนผสมของลูกรีดสำหรับงานรีดเหล็กกล้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการเติมธาตุ Si ในปริมาณ 0.5-2.0% ต่อความแข็งขณะทำกรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กหล่อ 16%Cr – 2%Mo โดยจะเน้นที่ผลของปริมาณ Si ต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งขณะทำกรรมวิธีทางความร้อน

## ขั้นตอนการทดลอง

### การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

เตรียมชิ้นงานทดสอบโดยหลอมวัตถุดิบในเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1853K ทำการเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อทรายที่อุณหภูมิ 1773-1793K โดยมีขนาดชิ้นงานคือ กว้าง 50 มม ยาว 200 มม สูง 50 มม ทำการคลุมผิวหน้าไรเซอร์ด้วยผงคายความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิ ทำการตัดชิ้นงานโดยใช้เครื่อง Wire-cut ให้มีความหนา 7 มม ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดสอบแสดงดัง Table 1

**Table** 1 Chemical composition of test specimens.

| Number | Element (wt%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | C | Cr | Si | Mn | Mo |
| No.1 | 2.95 | 16.06 | 0.56 | 0.56 | 2.00 |
| No.2 | 2.92 | 15.93 | 0.94 | 0.56 | 2.03 |
| No.3 | 2.95 | 15.94 | 1.46 | 0.57 | 1.98 |
| No.4 | 2.94 | 15.93 | 1.94 | 0.54 | 1.96 |

**กรรมวิธีทางความร้อน**

ทำกรรมวิธีทางความร้อนดัง Table 2 โดยทำการอบอ่อนชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1173K เป็นเวลา 18 ks และเย็นตัวภายในเตา ทำการชุบแข็งโดยอบชิ้นงานในเตาเหนี่ยวนำที่อุณหภูมิ 1323K เป็นเวลา 5.4 ks เย็นตัวโดยใช้น้ำมัน ทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 723, 773 และ 823K ใช้เวลาในการแช่ชิ้นงาน 7.2 ks เย็นตัวในอากาศ

**Table2** Conditions of heat treatment.

| Process | Annealing | Hardening | Tempering |
|---|---|---|---|
| Temperature (K) | 1173 | 1323 | 723- 823 |
| Holing Time (ks) | 18.0 | 5.4 | 7.2 |
| Cooling | Furnace | oil | Air |

**ทดสอบความแข็งและโครงสร้างจุลภาค**

เตรียมผิวชิ้นงานสำหรับทดสอบโดยการขัดหยาบด้วยกระดาษทรายและขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินา ทำการวัดความแข็งโดยใช้เครื่องทดสอบวิกเกอร์ใช้น้ำหนักทดสอบ 30 kgf สำหรับการวัดความแข็งแบบมาโครและใช้น้ำหนักทดสอบ 0.1 kgf สำหรับการวัดความแข็งแบบไมโคร ทำการทดสอบ 5 ครั้งต่อชิ้นงานและหาค่าเฉลี่ย

ทำการกัดผิวหน้าชิ้นงานด้วยน้ำยา Villella (5 ml HCl, 1 ml picric acid, 100 ml methyl alcohol) ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) และ กล้องจุลทรรศน์อีเล็กตรอนแบบกวาด (SEM) เพื่อยืนยันผลการทดลอง

## ผลการทดลองและการวิเคราะห์

**สภาพชุบแข็ง**

ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อ 16%Cr - 2%Mo ที่เติม 1.5%Si ในสภาพชุบแข็งแสดงดัง Figure 1 สำหรับชิ้นงานชิ้นงานที่เติม 1.5% Si โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยยูเทกติกคาร์ไบด์ประเภท $M_7C_3$ และเนื้อพื้นที่ประกอบด้วยมาร์เทนไซต์ออสเทนไนต์และคาร์ไบด์ลำดับที่สองชนิด $M_{23}C_6$[2,7,8] โดยปริมาณ ยูเทกติกคาร์ไบด์มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Si เนื่องจาก Si จะลดช่วงเวลาการแข็งตัวและลดปริมาณคาร์บอนที่จุดยูเทคติกลง[2,7,8] ทำให้เกิดโครงสร้างยูเทกติกมากขึ้น

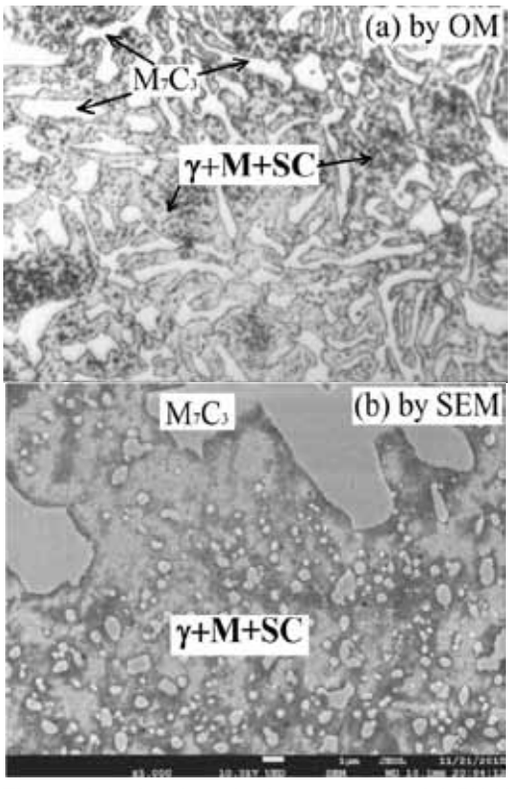



**Figure 1** As-hardened microstructure of 1.5%Si specimen.

ผลของ Si ต่อความแข็งในสภาพชุบแข็งแสดงดัง Figure 2 ความแข็งแบบ macro-hardness และแบบ micro-hardness เพิ่มขึ้นช้า ๆตามปริมาณ Si จนถึงจุดสูงสุดที่ 1.5%Si จากนั้นความแข็งจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Si ความแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีปริมาณคาร์ไบด์ลำดับที่สองและมาร์เทนไซต์เพิ่มมากขึ้น ใน

ขณะเดียวกันมีออสเทนไนต์เหลือค้างลดลง เนื่องจาก Si จะลดเสถียรภาพของออสเทนไนต์โดยส่งเสริมการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สอง[2] ทำให้ธาตุผสมในออสเทนไนต์ลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณSi ถึง 2% พบว่าความแข็งกลับลดลงเนื่องจากการตกตะกอนของคาร์ไบด์เกิดขึ้นมากเกินไป ทำให้มีปริมาณคาร์บอนในออสเทไนต์ลดลง ส่งผลให้มาร์เทนไซต์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเย็นตัวมีความแข็งต่ำ จึงทำให้ความแข็งโดยรวมลดลง กราฟความแข็งแบบไมโครแสดงพฤติกรรมคล้ายกับกราฟความแข็งแบบมาโคร โดยความแข็งแบบมาโครจะสูงกว่าความแข็งแบบไมโคร เนื่องจากความแข็งแบบมาโครเป็นความแข็งรวมของเนื้อพื้นและยูเทกติกคาร์ไบด์ ส่วนความแข็งแบบไมโครเป็นความแข็งเฉพาะเนื้อพื้น เนื่องจากยูเทกติกคาร์ไบด์มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง[7,8] จึงไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำกรรมวิธีทางความร้อน ดังนั้นการเปลี่ยนเฟสจะเกิดขึ้นในเนื้อพื้นเท่านั้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความแข็งของเนื้อพื้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งโดยรวม ความแข็งสูงสุดในสภาพชุบแข็งที่ได้รับคือ 946 HV30, 887 HV0.1 ในชิ้นงานที่เติม 1.5% Si

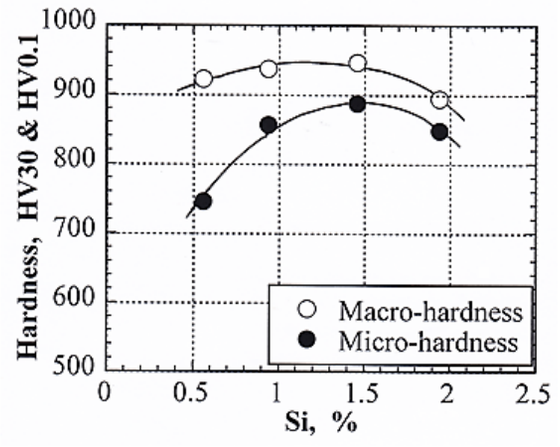
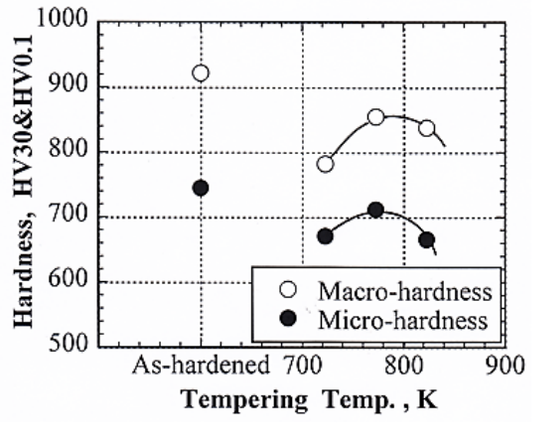


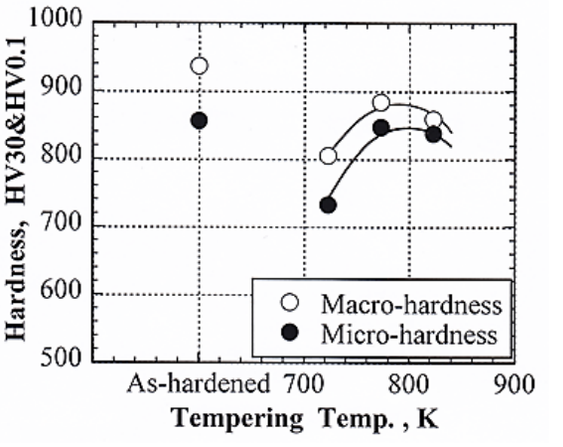

**Figure 2** Effect of Si content on hardness in the as-hardened state.

**สภาพอบคืนตัว**

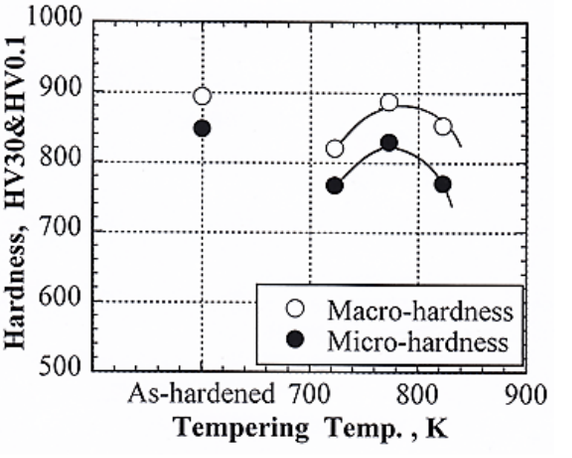
หลังการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1323K ได้ทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 723, 772 และ 823K โดยผลการทดลองแสดงดัง Figure 3 ความแข็งในสภาพชุบแข็งได้แสดงในกราฟเพื่อการเปรียบเทียบ พบว่าพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความแข็งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการอบคืนตัวและปริมาณของ Si กราฟความแข็งของทุกชิ้นงานแสดงการแข็งขึ้นลำดับที่สอง (secondary hardening) แตกต่างกันตามอุณหภูมิและปริมาณของ Si โดยความแข็งจะเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ




(a) No.1 : 0.5%Si




(b) No.2 : 1.0%Si




(c) No.3 : 2.0%Si

**Figure 3** Relationship between hardness and tempering temperature of test specimens.

ในการอบคืนตัว ความแข็งจะลดลงอย่างมากเมื่อทำการอบคืนตัวที่ 723K เนื่องจากมาร์เทนไซต์จากการชุบแข็งเกิดการอ่อนตัวจากการถูกอบคืนตัว และเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิอบคืนตัวสูงขึ้น พบว่าความแข็งเพิ่มขึ้นสูงจุดสูงสุดเมื่ออบคืนตัวที่ 773K จากการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองของประเภท $M_{23}C_6$ [2,7,8] และการเปลี่ยนเฟสของออสเทนไนต์เป็นมาร์เทนไซต์ ความแข็งลดลงอีกครั้งเมื่อทำการอบที่ 823K เนื่องจากการเกิด Over-tempering โดยออสเทไนต์จะเปลี่ยนไปเป็นเพิร์ลไลต์แทนมาร์เทนไซต์

ผลของปริมาณSi ต่อค่า $H_{STmax}$ แสดงดัง Figure 4 พบว่าค่า $H_{STmax}$ ค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Si โดยมีค่าสูงสุด 898 HV30, 853 HV0.1 ในชิ้นงานที่เติม 1.5% จากนั้นค่า $H_{STmax}$ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Si เนื่องจากออสเทนไนต์จะช่วยส่งเสริมการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองและการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์เป็นมาร์เทนไซต์ แต่การเติม Si ในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดคาร์ไบด์ลำดับที่สองในปริมาณมากและมีแนวโน้มที่จะรวมตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ ทำให้ลดธาตุ C และ Cr ในออสเทนไนต์ลง ซึ่งนอกจากจะทำให้มาร์เทนไซต์มีคาร์บอนต่ำแล้ว ยังทำให้ความสามารถในการชุบแข็งลดลงด้วย ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟสของออสเทนไนต์เป็นเพิร์ลไลต์ในขั้นตอนการชุบแข็งได้ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr - 2%Mo ควรเติม Si ในปริมาณ 0.5 -1.5% เพื่อปรับปรุงความแข็งด้วยการทำกรรมวิธีทางความร้อน

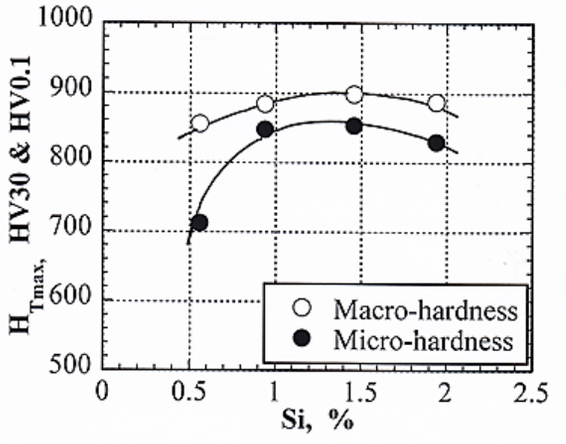



**Figure 4** Effect of Si content on maximum tempered hardness ($H_{Tmax}$).

## สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมธาตุซิลิกอน (Si) ในปริมาณ 0.5 - 2.0% ต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งของเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr - 2%Mo ที่ผ่านการทำกรรมวิธีทางความร้อน โดยการ ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1323K และ อบคืนตัวที่อุณหภูมิ 723, 773 และ 823K จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

**สภาพชุบแข็ง**

1. โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยยูเทกติกคาร์ไบดประเภท M7C3 และเนื้อพื้นได้แก่ มาร์เทนไซต์ ออสเทนไนต์เหลือค้างและคาร์ไบด์ลำดับที่สองประเภท $M_{23}C_6$
2. ความแข็งในสภาพชุบแข็งสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของ Si จนถึงจุดสูงสุดที่ 1.5%Si และลดลงเมื่อปริมาณของSi เพิ่มขึ้น
3. ความแข็งสูงสุดคือ 946 HV30, 887 HV0.1 ได้รับในชิ้นงานที่เติม 1.5% Si

**สภาพอบคืนตัว**

1. กราฟความแข็งในสภาพอบคืนตัวแสดงการแข็งขึ้นลำดับที่สอง (Secondary hardening) จากการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองและการเปลี่ยนเฟสของออสเทนไนต์เป็นมาร์เทนไซต์ ระดับการเกิด Secondary hardening ลดลงเมื่อปริมาณของ Si เพิ่มขึ้น
2. ความแข็งแบบไมโครแสดงพฤติกรรมคล้ายกับความแข็งแบบมาโคร โดยความแข็งแบบมาโครจะสูงกว่าความแข็งแบบไมโคร
3. ค่าความแข็งสูงสุดในการอบคืนตัว ($H_{Tmax}$) ได้รับเมื่อทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 773K ในทุกชิ้นงาน
4. ค่า $H_{Tmax}$ เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Si จาก 0.5 - 1.5% และลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Si เป็น 2.0% โดยค่าสูงสุดที่ได้รับคือ 898 HV30, 853 HV0.1 ในชิ้นงาน 1.5% Si
5. เหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr – 2%Mo ควรเติม Si ไม่เกิน 1.5% ในการปรับปรุงความแข็งด้วยกรรมวิธีทางความร้อน

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ Prof. Dr. Yasuhiro Matsubara, National Institute of Technology-Kurume College , Japan คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยมหาสารคามสำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำวิจัย และ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่นสำหรับการสนับสนุนการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

1. Laird G. and Powell G.L.F., Solidification and Solid State Transformation Mechanisms in Si Alloyed High-Chromium White Cast irons. Metallurgical Transactions A, 1993;24: 981-988.
2. Park J.L., Characteristic of As-cast and Subcritical Heat Treated High-Chromium-Molybdenum White Irons for Thick-Section Casting. AFS Transactions, 1985; 93: 93-102.
3. Laird G., Gunlach R. and Rohring K, Abrasion-Resistant Cast Iron Handbook, AFS, Illinois, 2000.
4. Sun Z., Zao R., Li C., Shen B., Yan J. and Huang S., TEM Study on Precipitation and Transformation of Secondary Carbides in 16Cr-1Mo-1Cu White Iron Subjected to Sub-critical Treatment. Materials Characterization, 2004;53: 403-409.
5. Inthidech S., Sricharoenchai P. and Matsubara Y., Effect of Alloying Elements on Heat Treatment Behavior of Hypoeutectic High Chromium Cast Iron. Materials Transactions, 2006; 47(1): 72-81.
6. A. Bedolla-Jacuinde, M.W. Rainforth, and I. Mejia.,The Role of Silicon in the Solidification of High-Cr Cast Irons. Metallurgical and Materials Transactions A, 2012; 1434-1438.
7. A. bedolla-Jacuinde, L. Arias, and B Hernandez., Kinetics of Secondary Carbides Precipitation in a High-Chromium White Iron. JMEPEG, 2003; 12: 371-382.
8. Pisizchai Kosasu, Sudsakorn Inthidech, Prasonk Srichareonchai and Yasuhiro Matsubara., Effect of Silicon on Subcritical Heat Treatment Behavior and Wear Resistance of 16 wt% Cr Cast Iron with 2 wt% Mo. Journal of Metals, Materials and Minerals, 2012; 22: 89-95.