

# เหล็กหล่อโครเมียมสูงทนการเสียดสี (HIGH CHROMIUM WEAR RESISTING CAST IRON)

มนัส สติรจินดา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กทม.

MANAS STERACHINDA

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University, Bangkok

## Abstract

Wear parts of grinding equipment in hard materials processing as cement and ceramic industry must withstand not only abrasive wear but also dynamic stresses that can lead to sudden fracture. High chromium white cast iron could compromise between abrasion resistance and toughness. Chromium is cheaper alloying elements and provide high hardness property by forming chromium carbide and at the same time give different matrix microstructures according to the chromium and carbon contents were chosen. By studying from some research works that have been presented, the best wear and shock resistance of irons should be austenitic matrix with good distribution of eutectic and secondary carbide of  $M_7C_3$  type. This short report would assist as a guide line for foundrymen to produce a good quality of high chrome white cast iron.

## เหล็กหล่อโครเมียมสูงทนการเสียดสี (High Chromium Wear Resisting Cast Iron)

### บทนำ

เหล็กหล่อสีขาวผสมโครเมียมสูง นับวันจะมีความสำคัญและมีบทบาทมากยิ่งขึ้นในอุตสาหกรรมที่มีการย่อยและบดวัสดุแข็ง เช่น อุตสาหกรรมผลิตซีเมนต์อุตสาหกรรมผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ อุตสาหกรรมเหมืองแร่ และอื่น ๆ เป็นที่ยอมรับกันว่าเหล็กหล่อ

สีขาวผสมโครเมียมสูง (High-chromium white cast iron) มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อน เนื่องจากมีโครเมียมละลายอยู่ในเนื้อเหล็กปริมาณสูงและมีความต้านทานต่อการเสียดสีสูงอันเนื่องมาจากผลของโครเมียมรวมตัวกับคาร์บอนในเหล็กหล่อให้โครเมียมคาร์ไบด์ที่มีความแข็งแรงสูงกว่าโครงสร้างจุลภาคที่เป็นมาร์เทนไซต์ของเหล็ก-คาร์บอน ทำให้การใช้งานบดวัสดุแข็ง เช่น ซีเมนต์ หินฟันม้า (Felspar) หินปูน และอื่น ๆ ที่มีความแข็งแรงสูง ได้ยาวนานกว่าเมื่อเทียบ

กับเหล็กชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคการอบความร้อนเปลี่ยนความแข็งของเหล็กให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้อีกด้วย แม้ว่าความเหนียวทนต่อแรงกระแทกขณะใช้งานของเหล็กหล่อโครเมียมสูงจะด้อยกว่าเหล็กกล้าฮาร์ดฟิล (เหล็กกล้าผสมแมงกานีสสูง) ก็ตาม แต่การผสมธาตุที่ช่วยทำให้เกิดโครงสร้างจุลภาคที่เป็นออสเตนไนต์อันได้แก่ นิกเกิล และ โมลิบดีนัมช่วยปรับปรุงให้เหล็กหล่อโครเมียมสูงมีความเหนียวเพิ่มขึ้นจนสามารถใช้งานในสภาพที่มีแรงกระแทกได้ดี โดยทั่วไปเหล็กหล่อจะผสมโครเมียมระหว่าง 10-30% และคาร์บอนในเหล็กจะประมาณ 2.0-3.0% จากมาตรฐานที่นำมาอ้างอิงหลาย ๆ ประเทศ เหล็กหล่อโครเมียมสูงจะมีส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างกันมีน้อยมาตรฐานเหล็กหล่อโครเมียมสูงที่จะสอดคล้องพอเปรียบเทียบกันได้ ในประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานเหล็กหล่อโครเมียมสูง เท่าที่ปรากฏจากโรงงานหล่อหลาย ๆ แห่งที่ผลิตเหล็กหล่อโครเมียมสูงจะรู้จักกันในชื่อเหล็กโครเมียม 2828 ซึ่งปรากฏในเอกสารเก่าที่เป็นมาตรฐานเหล็กหล่อของบริษัทนิวโลห์ไทย เป็นเหล็กหล่อที่ประกอบด้วยโครเมียมประมาณ 28%, คาร์บอน 2.8% ยังมีโรงหล่ออีกมีใช้น้อยที่ไม่มีข้อมูลรายละเอียดและมาตรฐานที่กว้างขวางของเหล็กหล่อโครเมียมสูง บทความที่นำเสนอในครั้งนี้เนื่องในโอกาส ประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2534 ของวิศวกรรมสภาพแห่งประเทศไทย จะเป็นบทความเชิงข้อมูลเป็นหลักใหญ่โดยจะมีผลการทดลองมาประกอบบ้างเล็กน้อย ซึ่งนับว่าจะเกิดประโยชน์ในด้านพัฒนาการผลิต และการใช้งานของเหล็กหล่อโครเมียมสูง

### มาตรฐานเหล็กหล่อโครเมียมสูง

มาตรฐานเหล็กหล่อโครเมียมสูง ขณะนี้มีหลายประเทศได้กำหนดมาตรฐานไว้แตกต่างกัน ซึ่งมีสาระ

พอที่จะนำมากล่าวเปรียบเทียบไว้ดังต่อไปนี้

มาตรฐาน ASTM (A-532 1975) แบ่งออกเป็น 6 ชั้นคุณภาพ เริ่มตั้งแต่ปริมาณโครเมียม 12% จนถึงประมาณ 25% จนถึงประมาณ 25% โดยมี โมลิบดีนัมเป็นโลหะผสมเสริมในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละชั้น คุณภาพ นอกจากนี้ยังอาจผสมนิกเกิลได้ไม่เกิน 1.5% และทองแดงไม่เกิน 1.2% สำหรับคาร์บอนจะอยู่ระหว่าง 2.3-3.0% ความแข็งไม่ต่ำกว่า 400 H<sub>B</sub> (ดังปรากฏในตารางที่ 1)

มาตรฐาน BS 4844-1974 แบ่งออกเป็น 5 ชั้นคุณภาพ ปริมาณคาร์บอนและโครเมียมอยู่ในขอบเขตใกล้เคียงกันผสมโมลิบดีนัม ระหว่าง 1-3% และนิกเกิลประมาณ 1%

มาตรฐาน DIN 1695 แบ่งมาตรฐานเป็น 6 ชั้นคุณภาพ ปริมาณคาร์บอนสูงสุด 3.6% ต่ำสุด 2.3% โครเมียมสูงสุด 28% และต่ำสุด 8% ในชั้นคุณภาพแรกจะผสมซิลิกอนสูง 2.5-3.5% นิกเกิล 4.5-6.5% ชั้นคุณภาพที่เหลือจะคล้ายคลึงกับ มาตรฐาน ASTM และ BS

มาตรฐาน AS 2027-1985 (Australian standard) แบ่งมาตรฐานออกเป็น 5 ชั้นคุณภาพ โดยมีคาร์บอนตั้งแต่ 2.0-3.6, โครเมียมระหว่าง 7-30% ในชั้นคุณภาพ Ni-HCr จะผสมนิกเกิลสูงระหว่าง 4.5-7% โครเมียม 7-11% ชั้นคุณภาพอื่น ๆ จะคล้ายคลึงกับมาตรฐาน BS ส่วนที่แตกต่างมีเพียงยอมให้มีแมงกานีส, นิกเกิล และ โมลิบดีนัมสูงกว่ามาตรฐานอื่น ๆ

สำหรับมาตรฐาน JIS ยังไม่ปรากฏมีมาตรฐานเหล็กหล่อโครเมียมสูง แต่จะปรากฏจากเอกสารบางฉบับที่พิมพ์ในประเทศญี่ปุ่น อ้างถึงมาตรฐานเหล็กหล่อโครเมียมสูงเหมือนกันแบ่งชั้นคุณภาพออกเป็น 4 ชั้น โดยมีคาร์บอนต่ำสุด 1.3% และสูงสุด 3.6% โครเมียมต่ำสุด 11% สูงสุด 28%

สึกหรอและความแข็งแรงมาก

แมงกานีส มีผลทำให้โครเมียมคาร์ไบด์สูงขึ้น โดยแมงกานีสสามารถรวมกับคาร์บอนรวมกับโครเมียมในฟอร์ไมต์  $M_7C_3$  แต่จะมีผลทำให้คาร์ไบด์เปราะ ทำให้ความต้านทานแรงดึงโดยส่วนรวมลดลง และอีกประการหนึ่ง แมงกานีสเพิ่มความสามารถในการชุบแข็งให้สูงขึ้น ทำให้ออสเตนไนท์มีเสถียรภาพสูง จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ได้ช้าเมื่อถูกแรงกระแทก ในขณะที่ใช้งาน ทำให้ความต้านทานการสึกหรอของเหล็กลดลง

### เทคนิคการอบชุบเหล็กหล่อโครเมียมสูง

ดังที่ได้กล่าวไว้ เหล็กหล่อโครเมียมสูงสามารถอบชุบเพื่อให้ได้โครงสร้างพื้นฐานเป็นมาร์เทนไซต์ โดยเฉพาะในกรณีที่งานหล่อมีความหนามาก โดยอาศัยหลักการคล้ายคลึงกับการอบชุบเหล็กกล้าในขั้นแรกจะต้องเผาเหล็กหล่อโครเมียมสูงภายหลังการเย็นตัวในแบบหล่อที่อุณหภูมิระหว่าง  $950^{\circ}\text{C}$ - $1050^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้โครเมียมและคาร์บอนที่ละลายอยู่ในออสเตนไนท์ (ในสภาพหล่อ) ซึ่งละลายอยู่ในลักษณะเกินจุดอิ่มตัวที่ออสเตนไนท์จะยอมให้ละลายอยู่ได้ การเผาในขั้นนี้จะเรียกว่า Destabilize ทำให้คาร์บอนและโครเมียมแยกตัวออกมารวมกันเป็นคาร์ไบด์  $M_7C_3$  เป็นการลดปริมาณคาร์บอนในออสเตนไนท์ทำให้ความสามารถในการชุบแข็งของออสเตนไนท์เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ออสเตนไนท์จะเปลี่ยนไปเป็นเฟอไรต์ได้ยากขึ้น โอกาสที่จะได้มาร์เทนไซต์จะสูงขึ้นหลังจากทำ Destabilize ในเวลาพอสมควรแล้ว (1-2 ชั่วโมงต่อความหนา 20-25 มม. จะปล่อยให้ชิ้นงานหล่อเย็นลงอย่างรวดเร็วโดยการใส่ลมเป่าด้านงานหล่ที่มีขนาดเล็กและรูปร่างซับซ้อน (Complex shape) ถ้าเป็นชิ้นงานที่มีความหนามาก ๆ จะใช้ชุบน้ำมัน (Liquid quenched) ซึ่งจะทำให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์และออสเตนไนท์

หลังจากงานหล่อผ่านการชุบมาแล้วย่อมจะมีความเครียดเหลือค้าง ควรจะต้องทำการอบชุบเพื่อ

คลายความเครียดเป็นการเพิ่มความเหนียวให้กับชิ้นงาน การอบคลายความเครียดเหลือค้างจะอบชิ้นงานที่อุณหภูมิประมาณ  $200^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาระหว่าง 4-8 ชั่วโมง ในกรณีที่ชิ้นงานต้องรับแรงกระแทกสูงควรใช้อุณหภูมิอบคลายความเครียดสูงกว่า  $200^{\circ}\text{C}$  ภายหลังที่ชิ้นงานผ่านการอบชุบแล้วควรจะมีค่าความแข็งแรงประมาณ 800  $H_v$  (ในสภาพหล่อความแข็งแรง 500-520  $H_v$ )

ในกรณีที่ต้องการกลึงหรือตัดเจาะชิ้นงานหล่อ ภายหลังการเย็นตัวในแบบทราย เหล็กหล่อโครเมียมสูงสามารถทำการอบอ่อนได้โดยการอบที่อุณหภูมิ  $950^{\circ}\text{C}$ - $1010^{\circ}\text{C}$  ปล่อยให้เหล็กเย็นลงช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิประมาณ  $760^{\circ}\text{C}$  ปล่อยให้เหล็กอยู่ที่อุณหภูมินี้ นานประมาณ 10-15 ชั่วโมง จะทำให้คาร์บอนแยกตัวมารวมกับโครเมียมเป็นคาร์ไบด์ เหลือคาร์บอนละลายในออสเตนไนท์น้อยที่สุด เพื่อออสเตนไนท์จะได้เปลี่ยนเป็นเฟอร์ไรต์ ในช่วงการเย็นตัวสุดท้าย ซึ่งโครงสร้างที่ได้จะเป็นเฟอร์ไรต์โดยมีคาร์ไบด์กระจายอยู่ทั่วไป ทำให้สามารถกลึงหรือไสได้สะดวก

การอบชุบ Subcritical เป็นกรรมวิธีการอบชุบเหล็กหล่อโครเมียมสูงอีกวิธีหนึ่ง เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านทานการสึกหรอโดยหลีกเลี่ยงการอบชุบที่อุณหภูมิสูงเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนและไม่เสี่ยงต่อการแตกร้าวมากนัก แต่ผลที่ได้จะไม่สูงเท่ากับการอบชุบที่อุณหภูมิสูง หลักการจะใช้อุณหภูมิประมาณ  $500^{\circ}\text{C}$  อบชิ้นงานหล่อภายหลังจากที่เย็นตัวในแบบทรายแล้ว จะทำให้ออสเตนไนท์เหลือค้างบางส่วนที่เกิดจากเย็นตัวในแบบทราย เปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ เมื่อปล่อยให้เหล็กเย็นตัวลงมาจนถึงอุณหภูมิห้อง จะทำให้เหล็กมีความแข็งแรงสูงขึ้นเล็กน้อย ดังตัวอย่างเหล็กในสภาพหล่อมีความแข็งแรง 659  $H_v$  ภายหลังการอบชุบ Subcritical จะได้ความแข็งแรงประมาณ 709  $H_v$  และเหล็กจะมีความเหนียวสูงขึ้น การอบชุบ Subcritical จะได้ผลดีเฉพาะกับเหล็กหล่อโครเมียม-โมลิบดีนัมซึ่งนิยมใช้มากในอุตสาหกรรมทำลูกรีดเหล็กขนาดใหญ่

ของเหล็กหล่อโครเมียมจะเร็วขึ้นใช้งานได้ไม่ยาวนาน ในกรณีที่ต้องการให้เหล็กหล่อโครเมียมมีความต้านทานต่อการสึกหรอที่ยาวนาน โครงสร้างพื้นฐานควรจะเป็นมาร์เทนไซต์ เบนไนท์ที่มีคาร์ไบด์ขนาดเล็ก (Secondary) แทรกอยู่ในลักษณะกระจาย หรืออาจจะเป็นออสเตนไนท์เหลือค้าง (Retained) ซึ่งจะให้คุณสมบัติทางด้าน work hardening คือให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อถูกแรงกระแทกและเสียดสีรุนแรง ในขณะที่ใช้งาน เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากออสเตนไนท์เหลือค้างไปเป็นมาร์เทนไซต์ เช่นเดียวกับลักษณะที่เกิดกับเหล็กกล้าแฮตฟิลด์ (Austenitic Manganese steel)

การที่จะได้เหล็กหล่อโครเมียมสูง ในสภาพหล่อ (as cast) มีโครงสร้างพื้นฐานหรือเนื้อพื้นเป็นมาร์เทนไซต์หรือออสเตนไนท์จะเป็นไปได้ยาก โดยเฉพาะงานหล่อที่มีความหนาเกินกว่า 25 มม. และถ้าเหล็กหล่อมีปริมาณโครเมียมต่อคาร์บอนอยู่ในช่วงต่ำ โอกาสจะได้โครงสร้างพื้นฐานเป็นมาร์เทนไซต์มีน้อย ส่วนใหญ่จะได้โครงสร้างพื้นฐานเป็นเฟอร์ไรท์ ซึ่งจะมีมีความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำกว่ามาร์เทนไซต์หรือออสเตนไนท์ (จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์เมื่อถูกแรงกระแทกหรือเสียดสีรุนแรง)

ในกรณีที่ชิ้นงานหล่อมีความหนาเกินกว่า 25 มม. จะต้องปรับส่วนผสมโดยให้มีอัตราส่วนของโครเมียมต่อคาร์บอนสูง และถ้าต้องการให้ได้โครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์อาจต้องทำการอบชุบความร้อน ( $950^{\circ}\text{C}$ - $1050^{\circ}\text{C}$  ทำให้เย็นโดยใช้ลมเป่า)

### บทบาทของโมลิบดีนัมในเหล็กหล่อโครเมียมสูง

การผสมโมลิบดีนัมในเหล็กหล่อโครเมียมมีผลทางด้านเพิ่มความต้านทานการสึกหรอของเหล็กได้มากเพราะโมลิบดีนัมเมื่อรวมกับคาร์บอนจะให้คาร์ไบด์ที่มีความแข็งแรงสูงประมาณ 1500 H<sub>v</sub> และเป็นการเพิ่มคุณสมบัติความสามารถในการชุบแข็ง (Hardenability) ให้กับเหล็ก โดยมีบทบาทที่จะ

ป้องกันไม่ให้ออสเตนไนท์เปลี่ยนไปเป็นเฟสไรท์ในขณะเหล็กเย็นตัวในแบบทราย หรือในขณะทำการอบชุบ การผสมโมลิบดีนัม นอกจากเพิ่มความต้านทานการสึกหรอแล้ว ยังมีผลในส่วนที่เกี่ยวกับความเหนียวของเหล็กจะดีขึ้น โดยเฉพาะกับงานหล่อที่มีความหนา มาก ๆ ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบดแร่จะมีการกระแทกสูง จึงนิยมใช้เหล็กหล่อผสมทั้งโครเมียมและโมลิบดีนัม ถึงแม้เหล็กจะมีราคาแพงกว่าเหล็กผสมโครเมียมเพียงอย่างเดียวก็ตามดังที่ปรากฏในมาตรฐานเหล็กผสมโครเมียม ASTM A-532 ชั้นคุณภาพ 15 Cr-Mo จะผสมโมลิบดีนัม 1-3% โดยลดปริมาณโครเมียมลงเหลือ 14-18% และในชั้นคุณภาพ 25 Cr จะผสมโมลิบดีนัมประมาณไม่เกิน 1.5% บางชนิดของเหล็กหล่อโครเมียม-โมลิบดีนัมที่ใช้กับงานหล่อที่มีความหนา มาก ๆ จะผสมนิกเกิลและทองแดงประมาณไม่เกิน 1% ลงไปเพื่อความมุ่งหมายในการเพิ่มความสามารถในการชุบแข็งเพิ่มขึ้น ดังเช่นเหล็กหล่อผสมโครเมียม โมลิบดีนัมตามมาตรฐาน BS 4844

เหล็กหล่อผสมโครเมียม-โมลิบดีนัม สามารถนำไปใช้งานได้ในสภาพหล่อ เพราะโครงสร้างจะเป็นออสเตนไนท์ แต่เนื่องจากชิ้นงานภายหลังการเย็นตัวในแบบทรายจะมีความเครียดเหลือค้างอยู่บ้างจึงสมควรนำไปอบคลายความเครียดที่อุณหภูมิ  $200^{\circ}\text{C}$ - $250^{\circ}\text{C}$  เพื่อปรับปรุงความเหนียว โดยไม่ทำให้ความแข็งแรงลดลง

หมายเหตุ ธาตุผสมที่มีบทบาทในเหล็กหล่อโครเมียม ในฐานะที่เป็นธาตุผสมร่วมได้แก่ ซิลิกอน และแมงกานีส

ซิลิกอน มีผลทางด้านทำให้โครงสร้างพื้นฐานมีแนวโน้มเป็นเฟอร์ไรท์ ซึ่งจะทำให้เหล็กมีความแข็งแรงและความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำลง ปรากฏว่าถ้าผสมซิลิกอนในเหล็กหล่อโครเมียมไม่เกิน 1.4% จะมีผลทางด้านลดความต้านทานการสึกหรอน้อย แต่ถ้าเกินกว่า 1.4% จะมีผลลดความต้านทานการ

**TABLE IV (AS 2027-1985)**  
**CHEMICAL COMPOSITION OF HIGH CHROMIUM TYPES**

| 1                 | 2                             | 3    | 4       | 5    | 6         | 7    | 8               | 9       | 10       | 11   | 12     | 13   | 14         | 15   | 16     | 17   |
|-------------------|-------------------------------|------|---------|------|-----------|------|-----------------|---------|----------|------|--------|------|------------|------|--------|------|
| Grade<br>AS 2027  | Chemical composition, percent |      |         |      |           |      |                 |         |          |      |        |      |            |      |        |      |
|                   | Carbon*                       |      | Silicon |      | Manganese |      | Phos-<br>phorus | Sulphur | Chromium |      | Copper |      | Molybdenum |      | Nickel |      |
|                   | min.                          | max. | min.    | max. | min.      | max. | min.            | max.    | min.     | max. | min.   | max. | min.       | max. | min.   | max. |
| Cr Mo 15 3 +      | 2.4                           | 3.4  | -       | 1.0  | 0.5       | 1.5  | 0.10            | 0.10    | 14       | 17   | -      | 1.2± | 1.5        | 3.5  | -      | 1.0± |
| Cr Mo 20 1 +      | 2.4                           | 3.0  | 0.3     | 1.0  | 0.5       | 1.5  | 0.10            | 0.10    | 18       | 22   | -      | 1.2± | 0.5        | 1.5  | 0.4    | 1.0  |
| Cr Mo Cu 20 2 1 + | 2.6                           | 2.9  | -       | 1.0  | -         | 1.0  | 0.10            | 0.10    | 18       | 21   | 0.8    | 1.2  | 1.4        | 2.0  | -      | -    |
| Cr 27             | 2.3                           | 3.0  | -       | 1.0  | 0.5       | 1.5  | 0.10            | 0.10    | 23       | 30   | -      | 1.2± | -          | 1.5  | -      | 1.0± |

\* Toughness and resistance to repeated shock increase as the carbon content increases.

Resistance to abrasive wear increases as the carbon content increases.

+ The molybdenum content should be held on the high side of the range for castings 120 mm to 180 mm thick, and silicon to the low side of the range.

± Not intentional additions.

Where extreme metal fluidity is necessary to run thin sections, a maximum carbon content of 3.4 percent and a maximum silicon content of 1.5 percent are permitted.

### ข้อมูลเชิงวิชาการพื้นฐาน

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อโครเมียมสูงเป็นข้อมูลเชิงวิชาการที่ผู้ประกอบการหล่อหลอมเหล็กหล่อควรศึกษาเพื่อการควบคุมคุณภาพในการผลิตการศึกษาในรายละเอียดจำเป็นต้องกระทำควบคู่กับแผนภูมิสมมูลประเภท Ternary ของ Fe-C-Cr ซึ่งจะมีรายละเอียดให้ศึกษามากมาย แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะโครงสร้างของเหล็กหล่อโครเมียมสูงที่อยู่ในขอบเขตที่จะพบในการปฏิบัติคือ เหล็กหล่อที่ประกอบด้วยคาร์บอน 2-2.8% และโครเมียมระหว่าง 12-28%

โดยทั่วไปโครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อโครเมียมสูง จะประกอบด้วยโครเมียมคาร์ไบด์ จากเอกสารอ้างอิงถ้าเหล็กผสมโครเมียมระหว่าง 10-40% คาร์ไบด์จะอยู่ในฟอร์มของ  $(Cr Fe)_7C_3$  หรือบางทีเขียนสั้น ๆ ว่า  $M_7C_3$  เป็นส่วนใหญ่ และถ้าโครเมียมต่ำกว่า 10% คาร์ไบด์จะอยู่ในรูปของ  $(FeCr)^3C$  หรือ  $M_3C$  จะพบโครเมียมคาร์ไบด์อีกรูปหนึ่งคือ  $(Fe Cr Fe)_{23} C_6$  ซึ่งจะพบเฉพาะในเหล็กที่ผสม

โครเมียมสูงเกินกว่า 40% โครเมียมคาร์ไบด์ที่พบจะปรากฏมีสองลักษณะคือ Primary และ Eutectic ประเภทแรกจะตกผลึกมีลักษณะเป็นแท่งยาว ถ้าดูจากกล้องขยายในลักษณะภาพตัด จะเป็นรูปหกเหลี่ยม ส่วนคาร์ไบด์ Eutectic จะเป็นแท่งเล็ก ๆ กระจายอยู่รอบแกรนของโครงสร้างพื้นฐานที่อาจจะเป็นออสเทนไนท์ มาร์เทนไซต์หรือเฟอไรต์ โครเมียมคาร์ไบด์เกือบทุกประเภทจะมีความแข็งสูงในระดับประมาณ 1000-1800 H<sub>v</sub> ซึ่งจะสูงกว่ามาร์เทนไซต์มาก แต่คุณสมบัติด้านทนต่อการสึกหรอของเหล็กหล่อจะต้องพิจารณาร่วมกันคือ ทั้งลักษณะของคาร์ไบด์และโครงสร้างพื้นฐาน (Matrix) เพราะถ้าพิจารณาแต่เฉพาะคาร์ไบด์อย่างเดียว ไม่สนใจโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งเป็นเนื้อเหล็กที่ห่อหุ้มคาร์ไบด์ไว้ ถ้าโครงสร้างพื้นฐานไม่มีความแข็งแรงพอที่จะรับกับแรงเสียดสี และเกิดสึกกร่อนไปก่อน ตัวคาร์ไบด์ซึ่งแข็งกว่าก็ไม่สามารถจะอยู่ได้จะหลุดหรือแตกหักเป็นชิ้นเล็ก ซึ่งในที่สุดก็จะหลุดไปเหมือนกัน อัตราการสึกหรอ

ตารางที่ I ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อโครเมียมสูง (ASTM A-532 1975)  
Revised.

| Grade       | Chemical Composition % |          |       |         |          |
|-------------|------------------------|----------|-------|---------|----------|
|             | C                      | Ni (max) | Cr    | Mo      | Cu (max) |
| 12 Cr       | 2.4-2.8                | 0.5      | 11-14 | 0.5-1.0 | 1.2      |
| 15 Cr-Mo-Lc | 2.4-2.8                | 0.5      | 14-18 | 1.0-3.0 | 1.2      |
| 15 Cr-Mo-Hc | 2.8-3.6                | 0.5      | 14-18 | 2.3-3.5 | 1.2      |
| 20 Cr-Mo-Lc | 2.0-2.6                | 1.5      | 18-23 | 1.5 max | 1.2      |
| 20 Cr-Mo-Hc | 2.6-3.2                | 1.5      | 18-23 | 1.0-2.0 | 1.2      |
| 25 Cr       | 2.3-3.0                | 1.5      | 23-28 | 1.5 max | 1.2      |

Si 1.0 max, Mn 0.5-1.5%, P 0.10% max, S 0.06% max

ตารางที่ II ส่วนผสมและความแข็งของเหล็กหล่อโครเมียม (Bs 4844)

Part 3 1974

| Grade | Chemical Composition % |        |         |       |       |       |       |      | As-cast<br>hardness<br>H <sub>B</sub> min |
|-------|------------------------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|------|-------------------------------------------|
|       | C                      | Si max | Mn      | Cr    | Mo    | Ni    | Cu    | Pmax |                                           |
| 3 A   | 2.4-3.0                | 1.0    | 0.5-1.5 | 14-17 | 0-2.5 | 0-1.0 | 0-1.2 | 0.1  | 450                                       |
| 3 B   | 3.0-3.6                | 1.0    | 0.5-1.5 | 14-17 | 1.3-0 | 0-1.0 | 0-1.2 | 0.1  | 500                                       |
| 3 C   | 2.2-3.0                | 1.0    | 0.5-1.5 | 17-22 | 0-3.0 | 0-1.5 | 0-1.2 | 0.1  | 450                                       |
| 3 D   | 2.4-2.8                | 1.0    | 0.5-1.5 | 22-18 | 0-1.5 | 0-1.0 | 0-1.2 | 0.1  | 400                                       |
| 3 E   | 2.8-3.2                | 1.0    | 0.5-1.5 | 22-28 | 0-1.5 | 0-1.0 | 0-1.2 | 0.1  | 400                                       |

Table III Grades, chemical composition (DIN 1695)

| Grade                 |                 | Composition, % by mass |            |            |          |              |            |
|-----------------------|-----------------|------------------------|------------|------------|----------|--------------|------------|
| Symbol                | Material number | C                      | Si         | Mn         | Cr       | Ni           | Mo         |
| G-X-300 CrNiSi 9 5 2  | 0.9630          | 2,5 to 3,5             | 1,5 to 2,2 | 0,3 to 0,7 | 8 to 10  | 4,5 to 6,5   | up to 0,5  |
| G-X 300 CrMo 15 3     | 0.9635          | 2,3 to 3,6             | 0,2 to 0,8 | 0,5 to 1,0 | 14 to 17 | up to 0,7*)  | 1,0 to 3,0 |
| G-X 300 CrMoNi 15 2 1 | 0.9640          | 2,3 to 3,6             | 0,2 to 0,8 | 0,5 to 1,0 | 14 to 17 | 0,8 to 1,2*) | 1,8 to 2,2 |
| G-X 260 CrMoNi 20 2 1 | 0.9645          | 2,3 to 2,9             | 0,2 to 0,8 | 0,5 to 1,0 | 18 to 22 | 0,8 to 1,2*) | 1,4 to 2,0 |
| G-X 260 Cr 27         | 0.9650          | 2,3 to 2,9             | 0,5 to 1,5 | 0,5 to 1,5 | 24 to 28 | up to 1,2    | up to 1,0  |
| G-X 300 CrMo 27 1     | 0.9655          | 3,0 to 3,5             | 0,2 to 1,0 | 0,5 to 1,0 | 23 to 28 | up to 1,2    | 1 to 2     |

\*) Can also be manufactured as a grade containing Cu.

## การทดลองผลิตเหล็กกล้าหล่อโครเมียมสูง

จากการศึกษาด้านข้อมูลเชิงวิชาการที่ปรากฏในเอกสารอ้างอิง พบว่า การที่จะให้ได้เหล็กหล่อโครเมียมมีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงใช้งานได้ยาวนาน ควรจะต้องพิจารณาดังนี้

1) ต้องปรับส่วนผสม โดยให้มีค่าปริมาณ Cr/C สูง ในกรณีทำงานหล่อมีความหนามาก (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1 หน้า 36)

2) ควรให้เหล็กหล่อโครเมียมมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นออสเตนไนท์เพราะจะให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในขณะใช้งาน และมีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงสุด (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 2 Abstract) โดยเฉพาะกับลักษณะงานที่มีการกระแทก

3) ชนิดของคาร์ไบด์ควรจะเป็นชนิด  $M_7C_3$  และเป็นประเภทยูเทคติกไม่ควรให้มีคาร์ไบด์ประเภท Primary ที่มีลักษณะผลึกขนาดโต (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 3 หน้า 14)

4) การอบชุบความร้อนเพื่อให้ได้โครงสร้าง

พื้นฐานเป็นมาร์เทนไซต์ โดยมี Secondary carbide ตกผลึกอย่างกระจุกกระจายในมาร์เทนไซต์ จะเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอได้ดีขึ้น (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1 หน้า 36)

การทดลองนี้เป็นการประยุกต์หลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เป็นผลงานวิจัยมาแล้ว เพื่อให้เห็นผลเป็นรูปธรรม ผู้เขียนจึงได้ขอความร่วมมือไปยังโรงงานหล่อแห่งหนึ่ง ซึ่งมีเตาหลอมไฟฟ้ากระแสเหนี่ยวนำขนาดเล็ก (300 กิโลกรัม) ทำการหลอมเหล็กหล่อโครเมียมสูงและหล่อเป็น Hammer ใช้ในงานบดวัตถุดิบที่ใช้ทำเครื่อง สุกภัณฑ์ตัว Hammer มีความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 30-40 มม. น้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัม ดังภาพแสดง วัตถุประสงค์เพื่อนำ Hammer ไปใช้งานจริงในโรงงาน เพื่อวัดอายุหรือจำนวนน้ำหนักเป็นตันที่ Hammer จะบดได้จนกว่าจะหมดอายุใช้งาน ทั้งนี้โดยจะทำการเปรียบเทียบกับ Hammer ที่โรงงานสั่งมาใช้จากโรงหล่ออื่น ๆ อยู่แล้ว

ส่วนผสมของเหล็กหล่อโครเมียมสูงที่กำหนดเป็นเป้าหมายจะเป็นดังนี้  
Aimed Composition

| C%      | Si %    | Mn %    | Cr %  | Mo %    |
|---------|---------|---------|-------|---------|
| 2.5-2.8 | 0.5-0.8 | 0.8-1.5 | 25-28 | 1.0-2.0 |

อัตราส่วนของวัตถุดิบ (Charge ratio) ใช้เศษสแตนเลสเป็นหลัก

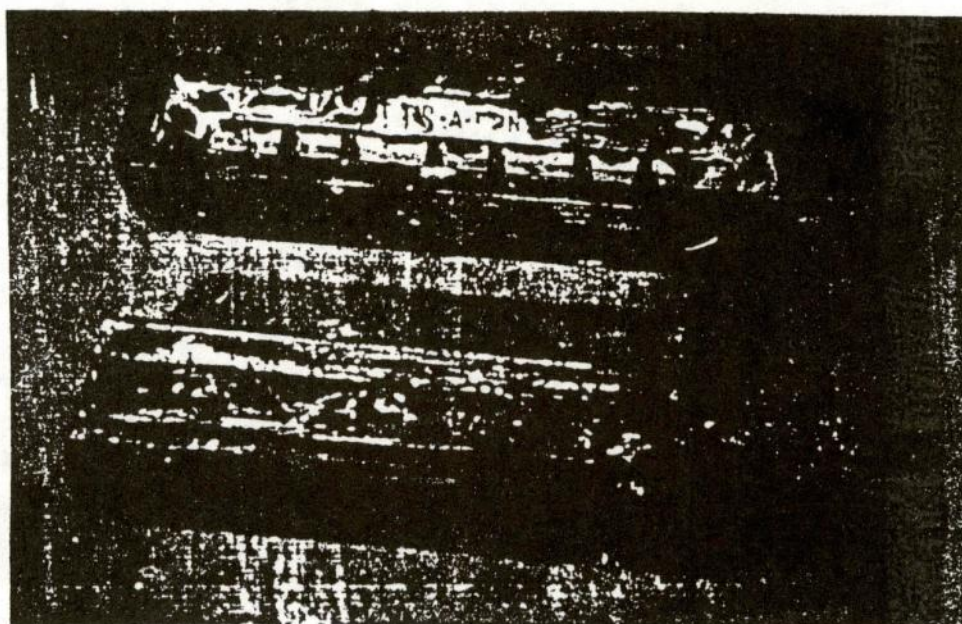
| วัตถุดิบ        | C%   | Si%  | Mn%  | Cr%  | Mo% | ปริมาณน้ำหนัก (kg) |
|-----------------|------|------|------|------|-----|--------------------|
| เศษสแตนเลส 450  | 0.04 | 0.10 | 0.25 | 13.8 | -   | 60                 |
| เศษเหล็กกล้า    | 0.18 | 0.10 | 0.35 | -    | -   | 4.4                |
| HC Fe-Cr        | 6.8  | 1.1  | -    | 65   | -   | 30.0               |
| HC Fe-Mo        | 4.8  | 2.3  | -    | -    | 60  | 3.3                |
| HC Fe-Mn        | 6.3  | 0.83 | 75   | -    | -   | 1.0                |
| Fe-Si           | 0.2  | 75   | -    | -    | -   | 0.5                |
| สารเพิ่มคาร์บอน | 100  | -    | -    | -    | -   | 0.5                |
| รวมทั้งหมด      |      |      |      |      |     | 100.00             |

อุณหภูมิหลอมเหลว 1500-1571°C

อุณหภูมิเทลงแบบหล่อ 1380-1430°C

อุณหภูมิของเส้น Liquidus 1310-1330°C (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 4 หน้า 4)

หมายเหตุ ในกรณีใช้เศษเหล็กกล้าเป็นหลัก



| วัตถุดิบ     | C%   | Si%  | Mn%  | Cr% | Mo% | ปริมาณน้ำหนัก (kg) |
|--------------|------|------|------|-----|-----|--------------------|
| เศษเหล็กกล้า | 0.18 | 0.10 | 0.35 | -   | -   | 56.2               |
| HC Fe-Cr     | 6.8  | 1.1  | -    | 65  | -   | 34.0               |
| LC Fe-Cr     | 0.1  | 1.0  | -    | 65  | -   | 5.0                |
| HC Fe-Mo     | 4.1  | 2.3  | -    | -   | 60  | 3.3                |
| HC Fe-Mn     | 6.3  | 0.83 | 75   | -   | -   | 1.0                |
| Fe-Si        | 0.2  | 75   | -    | -   | -   | 0.5                |
| รวม          |      |      |      |     |     | 100.0              |

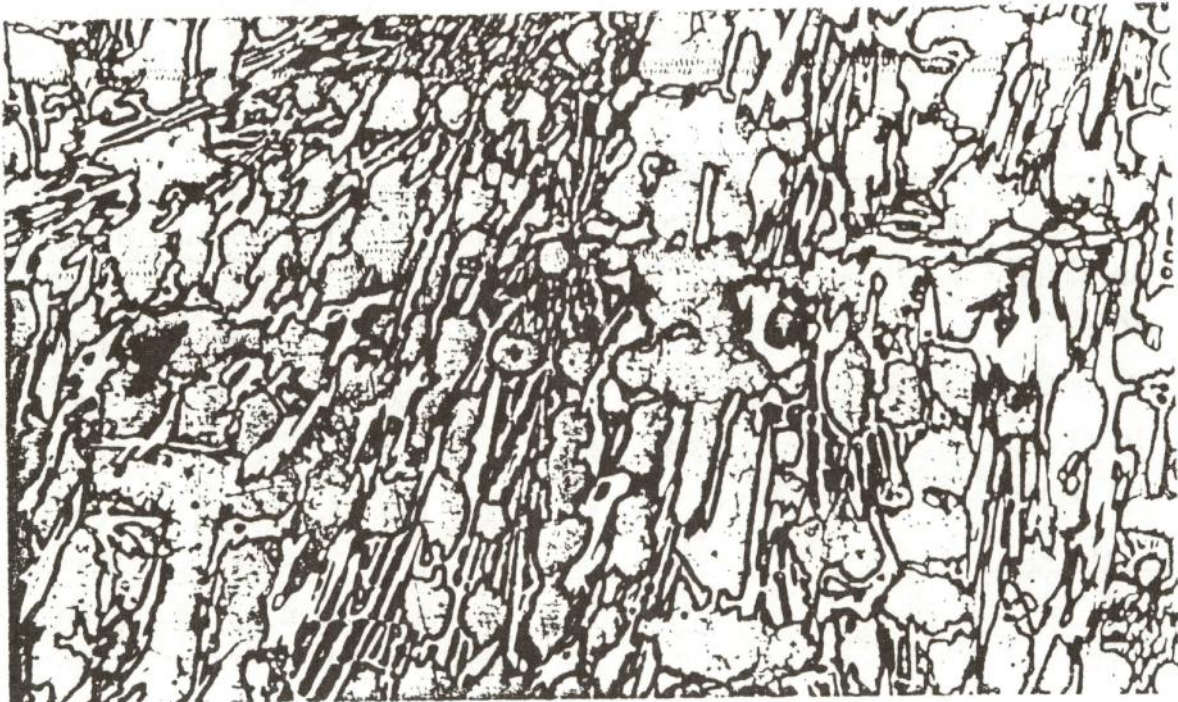
## ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ภายหลังจากการหลอมและเทลงแบบหล่อที่เป็นแบบทรายแล้ว จะเก็บตัวอย่างชิ้นงานทดสอบโดยการเทเป็นแท่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ยาวประมาณ 100 มม. นำมาตัดเป็นชิ้นเล็กที่ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

จากการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นทดสอบที่หล่อมาจากเตาหลอมหลายเตาปรากฏได้โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วย โครเมียมคาร์ไบด์ ชนิดยูเทคติก และโครงสร้างพื้นฐานเป็นออสเตนไนท์ตามที่ตั้งเป้าหมายไว้ทุกประการ ดังปรากฏจากภาพโครงสร้างจุลภาคที่แสดง ความแข็งของชิ้นทดสอบอยู่ระหว่าง 40-45  $H_{RC}$  นำชิ้นทดสอบที่เหลือจากการศึกษาโครงสร้างไปทำการอบชุบความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 °C, 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นโดย อีกส่วนหนึ่งทำให้เย็นโดยการชุบน้ำ เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาค จากการตรวจสอบโครงสร้างตัวอย่างหลังการอบชุบความร้อน พบว่าทั้งสองกรณีคือทั้งการทำให้เย็นด้วยการชุบน้ำ และใช้ลมเป่ามีโครงสร้างไม่

แตกต่างกันมากนักโดยเฉพาะโครงสร้างพื้นฐาน จะเป็นเบนไนท์ และมาร์เทนไซต์ร่วมกัน โดยมีคาร์ไบด์ชนิด Secondary เกิดขึ้นเป็นผลึกเล็กแทรกอยู่ในโครงสร้างพื้นฐาน (ดูภาพประกอบ) เมื่อวัดความแข็งตัวอย่างที่ผ่านการชุบจะให้ความแข็งเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 50-55  $H_{RC}$

จากผลการทดลอง พอสรุปได้ว่า การควบคุมปริมาณของคาร์บอน โครเมียมและโมลิบดีนัม ให้อยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน จะมีโอกาสได้โครงสร้างจุลภาคของเหล็กในสภาพภายหลังการหล่อ เป็นออสเตนไนท์ โดยมีคาร์ไบด์ตกผลึกกระจาย และภายหลังการอบชุบความร้อนที่เหมาะสม สามารถเปลี่ยนโครงสร้างพื้นฐานให้เป็นเบนไนท์ และมาร์เทนไซต์ได้ โดยจะเกิดคาร์ไบด์ชนิด Secondary ขึ้นภายในโครงสร้างพื้นฐานเป็นส่วนช่วยเสริมคุณสมบัติทนการสึกหรออีกส่วนหนึ่ง เป็นที่น่าเสียดายที่การทดสอบโดยการใช้งานจริงกับ Hammer ที่หล่อยังไม่ได้รับรายงานผลงานโรงงานผลิตสุษัณฑ์ เพราะต้องส่งบทความนี้ภายในเดือนสิงหาคม จึงไม่สามารถสรุปผลในประเด็นนี้ได้ชัดเจน



X 200

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อโครเมียมสูง จากการทดลองในสภาพหล่อ (as cast)



X 500

โครงสร้าง : Austenite + Eutectic carbide ( $M_7C_3$ )



X 200

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อโครเมียมสูง จากการทดลองในสภาพหลังการอบชุบความร้อน



X 500

โครงสร้าง : Martensite and Bainite + Eutectic and Secondary carbide

## บทสรุป

ข้อมูลเชิงวิชาการที่ได้จากผลการวิจัยตามเอกสารอ้างอิงนับว่าเป็นประโยชน์มาก จะเป็นข้อมูลที่ให้ทิศทางในการปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพงานหล่อเหล็กโครเมียมสูงได้เป็นอย่างดี ซึ่งผู้ปฏิบัติงานจะต้องใช้ดุลยพินิจตั้งแต่เริ่มศึกษาแบบของงานหล่อว่าควรกำหนดส่วนผสมของเหล็กอย่างไรให้สอดคล้องกับความหนาและสภาพการใช้งานเหล็กควรผสมโมลิบดีนัมหรือนิกเกิลด้วยหรือไม่ และภายหลังการหล่อควรศึกษาคุณสมบัติของเหล็ก เพื่อกำหนดทิศทางในการอบชุบความร้อน โดยเฉพาะการทำ Destabilize เพื่อให้เกิดการตกผลึกของ Secondary carbide ที่มีการกระจายตัวที่เหมาะสม คุณภาพที่ดีของเหล็กหล่อโครเมียมสูงจะต้องประกอบด้วย โครงสร้างเนื้อพื้น (Matrix) ที่มีความแข็งสูง คาร์ไบด์ยูเทคติก และ secondary ที่กระจายตัวไม่รวมตัวเป็นกลุ่ม สิ่งที่ต้องตระหนักอยู่สิ่งหนึ่งคือ ปริมาณคาร์บอนและโครเมียมสูงมาก ๆ จะไม่ช่วยทำให้เหล็กหล่อมีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงตามไปด้วยซึ่งเป็นเหตุผลประการหนึ่งว่าทำไมเหล็กหล่อโครเมียมสูงจึงเป็นที่รู้จักกันดีในสูตร 2828 ทำไมจึงไม่มีสูตร 3030 หรือ 4040 ความจริงแล้วยังมีโครเมียม และคาร์บอนสูง การรวมตัวของคาร์บอนกับโครเมียมจะให้คาร์ไบด์ที่มีความแข็งสูงกว่าตามไปด้วย แต่การเกิด

คาร์ไบด์จะเป็นลักษณะ Primary และเนื้อเหล็กหรือโครงสร้างพื้นฐานที่อยู่รอบ ๆ คาร์ไบด์จะมีปริมาณคาร์บอนและโครเมียมต่ำมาก ทำให้โครงสร้างพื้นบานรอบ ๆ คาร์ไบด์จะมีความแข็งต่ำแม้จะทำการอบชุบเพื่อให้แข็งก็ตามการสึกหรอจะเกิดบริเวณรอบ ๆ แห่งคาร์ไบด์ Primary และทำให้คาร์ไบด์หลุดตามไปอย่างรวดเร็ว

## เอกสารอ้างอิง

1. Roy Elliott cast iron technology. Butterworth, 1988.
2. S. Turenne, F. Lavalley, J. Masounave. Matrix microstructure effect on the abrasion wear resistance of high-chromium white cast iron. Journal of materials science 24 (1989) 3021-3028.
3. J.T.H. Pearce. Abrasive wear behaviour of alloy cast iron. Brit Foundryman 78 (1985) 13-23.
4. F. Maratray. Improvement of and Research into new Abrasion resistant Materials. Metal Forum 3(1980) 28-36.
5. F. Maratray, R. Usseglio-Nanot. Atlas transformation characteristics of chromium-Molybdenum white irons. Climax Molybdenum S.A. 1970.
6. มนัส สกิริจินดา, เหล็กหล่อ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (2527) 60-66.
7. S. Kawashima. Manufacturing Method of Alloy cast iron Nagoya International Training Center.



ขอเชิญส่งบทความ

## วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา (Research & Development Journal of the Engineering Institute of Thailand)

ในปัจจุบันนี้ประเทศไทยกำลังเร่งพัฒนาตัวเอง ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อรองรับการเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรมในด้านต่าง ๆ ให้สามารถก้าวไปสู่ความเป็นประเทศพัฒนาทางอุตสาหกรรมสมัยใหม่ (Newly Industrialized Country) ได้ การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิธีทำได้เร็วที่สุด คือ การซื้อเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ดังเช่น ประเทศญี่ปุ่นในสมัยหลังสงครามโลก วิธีการนี้จะได้ผลเร็วเพราะไม่ต้องเสียเวลารอการวิจัย แต่ในขณะเดียวกัน นอกจากจะเป็นการสิ้นเปลืองเงินตราแล้ว ยังทำให้ประเทศนั้นต้องพึ่งพาประเทศอื่น ๆ อยู่ตลอดไป ประเทศที่เคยยอมซื้อไม่ว่าจะเป็นประเทศญี่ปุ่นจนมาถึงไต้หวัน เกาหลี และประเทศเพื่อนบ้านเรา คือ สิงคโปร์ในขณะนี้ประเทศเหล่านี้ต่างมองการณ์ไกลเล็งเห็นถึงความสำคัญของการทำการวิจัยเพื่อพัฒนาวิทยาการต่าง ๆ ให้สามารถรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ เพื่อจะได้ค่อย ๆ ปลดตัวเองจากภาวะที่เกิดจากการเอารัดเอาเปรียบของประเทศที่เป็นเจ้าของเทคโนโลยีได้

ปัจจัยหนึ่งของการส่งเสริมการวิจัย คือ การมีวารสารวิจัยและพัฒนา มารองรับเพื่อเป็นการเผยแพร่ผลงานของนักวิชาการและนักวิจัยเอาไว้ประโยชน์ที่มินอกจากช่วยไม่ให้เกิดการทำวิจัยซ้ำซ้อนกันแล้ว ยังช่วยให้เกิดความร่วมมือระหว่างนักวิชาการและนักวิจัยที่สนใจในปัญหาเดียวกัน เกิดมีการวิพากษ์วิจารณ์เพื่อให้ผลงานที่ติดตามมามีคุณภาพดียิ่งขึ้น วารสารทางวิชาการนี้จึงเป็นทรัพยากรทางความรู้ที่สามารถใช้เป็นเอกสารอ้างอิงในอนาคตสำหรับวิศวกร นักวิชาการ และนักวิจัยรุ่นหลังได้

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ได้เล็งเห็นความสำคัญของการมี "วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา" จึงเห็นสมควรแยกเล่มออกมาจาก "วิศวกรรมสาร" (ซึ่งต่อไปจะเน้นไปทางสารคดีทั้งวิชาการและข่าวสารประหลาดมากกว่า) ต่อไปนี้วารสารฉบับวิจัยและพัฒนาของ ว.ส.ท. จะออกเป็นราย 6 เดือน โดยจะรวมทุกสาขาวิชาทางวิศวกรรมศาสตร์เข้าด้วยกัน บทความทุกบทความที่ลงพิมพ์ในวารสารจะได้รับการประเมิน (Review) โดยกรรมการสараณียกรและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้มั่นใจว่าบทความที่ได้รับการลงพิมพ์ใน "วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา" เป็นบทความที่มีคุณภาพและมีคุณค่าอย่างยิ่ง

การส่งบทความ เพื่อให้วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา มีมาตรฐานไม่ด้อยกว่าวารสารของสมาคมวิชาชีพทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอื่น ๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ คณะกรรมการสараณียกรได้ให้ข้อแนะนำเพื่อผู้เขียนจะได้ใช้ในการพิจารณาส่งบทความลงตีพิมพ์ "วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา" ดังนี้

1. บทความที่จะส่งควรเป็นผลงานการค้นคว้าวิจัยของผู้เขียนเอง และมีคุณค่าทางวิชาการ
2. ภาษาที่ใช้อาจเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ชื่อบทความ (title) ต้องมีทั้งภาษาไทยและอังกฤษ
3. เพื่อให้บทความมีความกะทัดรัดไม่เยิ่นเย้อ และบทความควรมีความยาวไม่เกิน 10 หน้า กระดาษพิมพ์ดีด รวมทั้งรูปและตาราง
4. บทความต้องมีบทคัดย่อยาวไม่เกิน 15 บรรทัดพิมพ์ โดยมีทั้งภาษาไทยและอังกฤษ
5. ทุกบทความควรมีบทนำ (Introduction) บทสรุป (Conclusion) และเอกสารอ้างอิง (Reference)
6. เอกสารอ้างอิงถ้ามาจากเอกสารภาษาต่างประเทศให้เขียนเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยภาษาอังกฤษ เอกสารอ้างอิงจะต้องประกอบด้วย ชื่อผู้เขียน ชื่อบทความ ชื่อเอกสารตีพิมพ์ ผู้พิมพ์ สถานที่ตีพิมพ์ (ถ้าเป็นหนังสือ) ปีที่ตีพิมพ์ และหน้าของบทความดังกล่าวในเอกสารนั้น
7. ตารางและกราฟ ควรเป็นต้นฉบับที่ชัดเจน รูปถ่ายควรแนบฟิล์มมาด้วยคำบรรยายตารางและกราฟควรเป็นภาษาอังกฤษ
8. โปรดส่งบทความมายังคณะกรรมการสараณียกรฉบับวิจัยและพัฒนา ณ สำนักงานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กทม. 10330 โทร. 252-6051-2, 251-2504, 251-2506 และ 252-5001-10 ต่อ 474
9. บทความทุกบทความจะได้รับการประเมินเพื่อตีพิมพ์โดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาเดียวกัน
10. คณะกรรมการสараณียกร อาจให้ผู้เขียนปรับปรุงบทความให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น และทรงไว้ซึ่งสิทธิในการตัดสินใจตีพิมพ์บทความหรือไม่ก็ได้
11. ผู้เขียนบทความควรเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากบทความนั้น ๆ