

การปรับปรุงความแข็งแรงเหล็กข้ออ้อยโดยกระบวนการเทมปีคอร์

STRENGTH IMPROVEMENT FOR DEFORMED BAR BY TEMPCORE PROCESS

ชานนท์ มุลวรรณ¹ และ สำเริง เนตรภู²

¹ อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

² ผู้จัดการ, บริษัท เอส.เอส.เค.เอ็นจิเนียริง จำกัด สมุทรปราการ

บทคัดย่อ

กระบวนการเทมปีคอร์เป็นกระบวนการชุบแข็งที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับเหล็กข้ออ้อย ในการวิจัยครั้งนี้ เหล็กข้ออ้อยที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร (DB 12) ชั้นคุณภาพ SD 30 ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย มอก. 24-2548 ผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์มีความแข็งแรงเฉลี่ย 633 MPa ความแข็งแรงที่จุดคราก (yield strength) เฉลี่ย 572 MPa และมีความเหนียวเฉลี่ย (%EL) 19 % ตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 24 - 2548 กำหนดให้เหล็กชั้นคุณภาพ SD 30 มีความแข็งแรงสูงสุด 480 MPa ความแข็งแรงที่จุดคราก 295 MPa และ มีความเหนียว 17 % จะเห็นว่าเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ มีความแข็งแรง ความแข็งแรงที่จุดคราก และความเหนียวสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก.

คำสำคัญ: กระบวนการเทมปีคอร์, ความแข็งแรงดึง, ความแข็งแรงดึงที่จุดคราก

ABSTRACT

Tempcore process is a hardening process that increases strength for the deformed bars. In this research, the deformed bars used in the testing had a diameter of 12 mm (DB12), the quality level SD 30 according to the Thai Industrial Standards: TIS 24-2548. The testing results showed that the deformed bars had the average tensile strength of 633 MPa, the average yield strength of 572 MPa, and the average ductility (%EI) 19 %. The standard criteria TIS 24-2548 specifies the quality of the SD 30 deformed bar at highest tensile strength of 480 MPa, the yield strength of 295 MPa and the ductility 17 %. It can be seen that the deformed bar had passed through the tempcore process in order that the tensile strength, the yield strength and the ductility were superior to the TIS standards.

KEYWORDS: tempcore, deformed bars, tensile strength, yield strength

1. บทนำ

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low carbon steel) เป็นเหล็กกล้าที่ใช้มากที่สุดในบรรดาเหล็กทุกชนิด เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ดี กล่าวคือ มีความเหนียว ขึ้นรูปง่าย เชื่อมด้วยไฟฟ้าได้ทั้งแบบต่อชนและต่อเกย ราคาไม่แพง และผลิตได้ง่าย เหล็กข้ออ้อยเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิดหนึ่งที่ใช้ในงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความสำคัญมาก ในปัจจุบันราคาเหล็กข้ออ้อยมีแนวโน้มที่สูงขึ้น การปรับปรุงสมบัติเชิงกล ด้านความแข็ง ความแข็งแรง และความเหนียวจึงมีความสำคัญ ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย มอก. 24 - 2548 ได้แบ่งเหล็กข้ออ้อยออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ SD 30, SD 40 และ SD 50 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมี แสดงไว้ในตารางที่ 1 และสมบัติเชิงกลของเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน มอก. 24 - 2548 แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กข้ออ้อย [1]

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี				
	คาร์บอน สูงสุด	แมงกานีส สูงสุด	ฟอสฟอรัส สูงสุด	กำมะถัน สูงสุด	คาร์บอน + (แมงกานีส/6) สูงสุด
SD 30	0.27	-	0.05	0.05	0.50
SD 40	-	1.80	0.05	0.05	0.50
SD 50	-	1.80	0.05	0.05	0.60

ตารางที่ 2 ความต้านแรงดึง ความต้านแรงดึงที่จุดคราก และความเหนียว ของเหล็กข้ออ้อยต้องไม่น้อยกว่าค่าในตาราง [1]

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึง (MPa)	ความต้านแรงดึงที่จุดคราก (MPa)	ความยืด (%)
SD 30	480	295	17
SD 40	560	390	15
SD 50	620	490	13

การปรับปรุงสมบัติเชิงกลเหล็กของเส้นข้ออ้อยมีหลายวิธี เช่น การปรับปรุงส่วนผสมทางเคมี การชุบผิวแข็ง [2] หรือโดยกระบวนการเทมปีคอร์ด กระบวนการเทมปีคอร์ดเป็นกระบวนการที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 กระบวนการ

2. วัตถุประสงค์

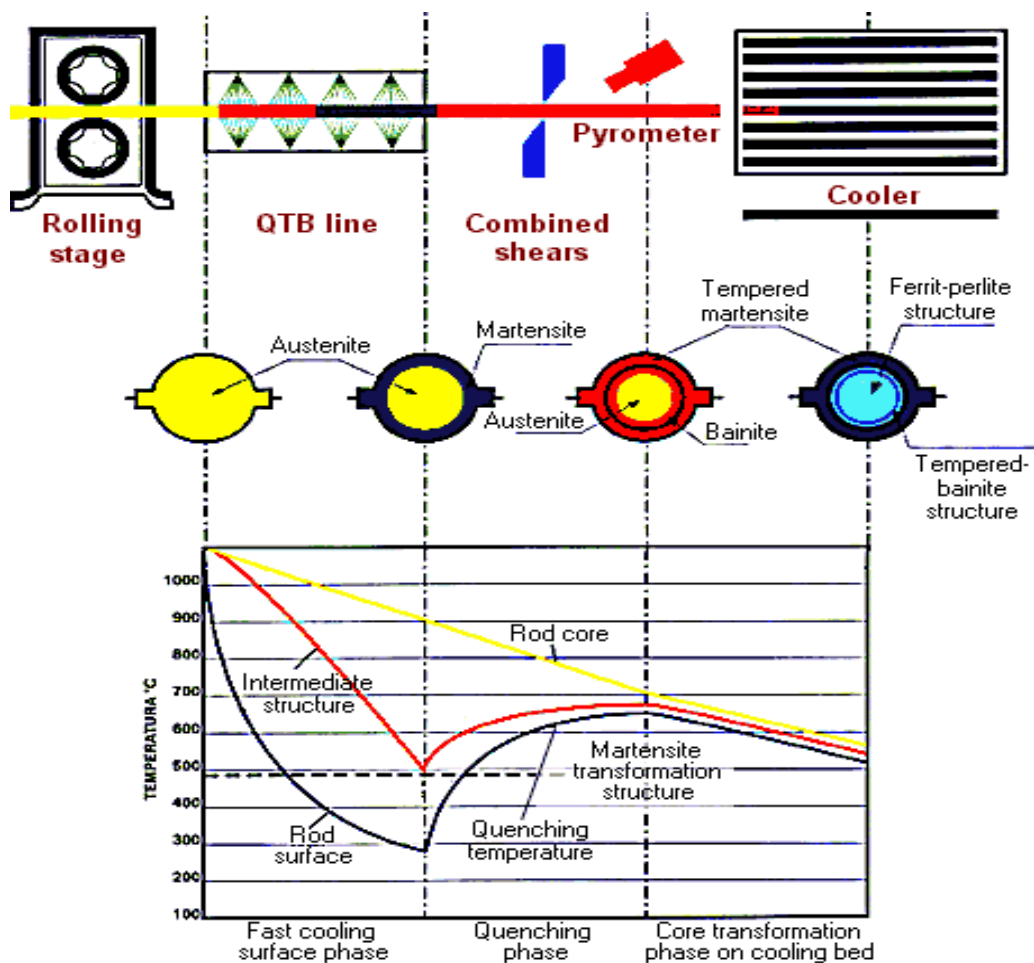
- 1) เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ด กับที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติ (conventional process)
- 2) เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลด้านความแข็ง ความแข็งแรง และความเหนียวของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ดกับที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติ

3. ขอบเขตการวิจัย

- 1) เหล็กข้ออ้อยที่ใช้ทดสอบใช้มาตรฐาน มอก. 24 - 2548 ขนาด DB 12 มีเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ (d_N) เท่ากับ 12 มิลลิเมตร พื้นที่ภาคตัดขวางระบุ (S_N) เท่ากับ 113.1 ตารางมิลลิเมตร และมวลระบุ (W_N) เท่ากับ 0.888 กิโลกรัมต่อเมตร ความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$
- 2) อัตราการไหลของน้ำในกล่องดึงความร้อน (cooling headers) ใช้ 110 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

4. ทฤษฎี

กระบวนการเทมปีคอร์ดประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังรูปที่ 1 **ขั้นตอนที่ 1** เป็นขั้นตอนที่เหล็กเส้นออกจากแท่นรีดสุดท้ายซึ่งอุณหภูมิอยู่เหนือเส้นอุณหภูมิวิกฤติบน (A_3) เหล็กเส้นถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยระบบฉีดน้ำพิเศษ ทำให้ที่ผิวของเหล็กเส้นเปลี่ยนโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟสมาร์เตนไซต์ (martensite phase) ในขณะที่แกนกลางของเหล็กเส้นยังเป็นเฟสออสเทนไนต์ (austenite phase) [3] **ขั้นตอนที่ 2** หลังจากเหล็กเส้นผ่านกล่องที่ทำให้เย็นตัวอย่างเร็วในขั้นตอนที่ 1 แล้ว อุณหภูมิที่แกนกลางของเหล็กยังสูงอยู่ประมาณ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4] ส่วนที่ผิวนอกของเหล็กเส้นอุณหภูมิประมาณ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนจากแกนกลางสู่ผิวนอกโดยการนำความร้อนที่ผิวนอกเป็นการอบคืนตัวด้วยตัวเอง (self tempering) ในขั้นตอนนี้ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับระยะทาง (temperature gradient) ตามพื้นที่ภาคตัดของเหล็กเส้นนั้นมีค่าสูง **ขั้นตอนที่ 3** เป็นการเย็นตัวที่ลานลดอุณหภูมิ (cooling bed) การเปลี่ยนแปลงเป็นแบบกึ่งไอโซเทอร์มอล กล่าวคือ แกนกลางของเหล็กยังคงมีเฟสออสเทนไนต์อยู่ ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นเฟสเฟอร์ไรต์ และเพิร์ลไลต์ละเอียด (ferrite and fine pearlite) [4] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ส่วนผสมทางเคมี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้น อุณหภูมิที่แท่นรีดสุดท้าย และความสามารถของระบบฉีดน้ำที่ทำให้อัตราการเย็นตัวของเหล็กเส้นในขั้นตอนที่ 1 เป็นต้น



รูปที่ 1 กระบวนการเทมเปอร์ [3]

5. ผลการตรวจสอบและอภิปราย

5.1 ส่วนผสมทางเคมี

ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กข้ออ้อยแสดงตามตารางที่ 3

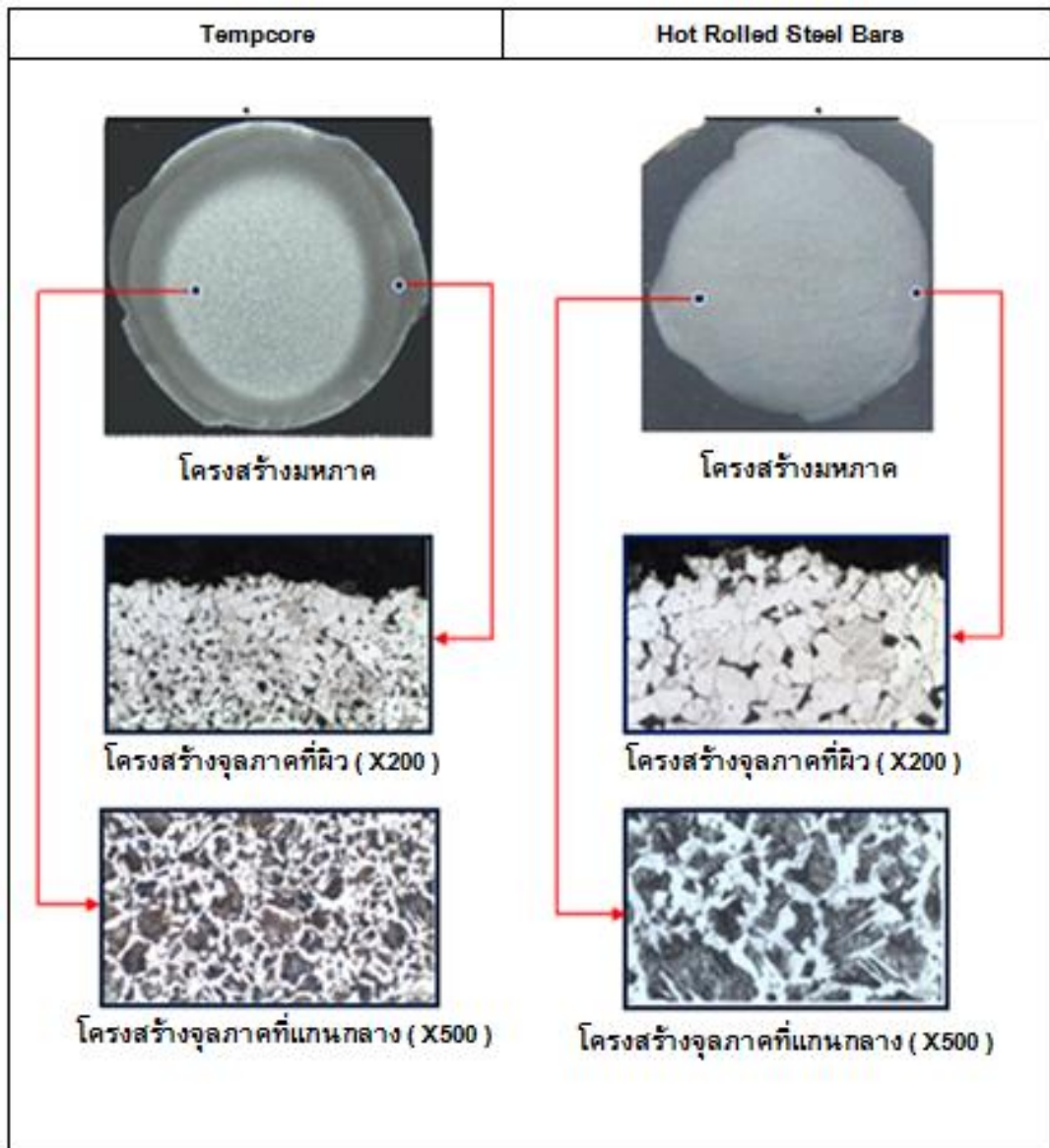
ตารางที่ 3 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กข้ออ้อย

ธาตุ	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	$C + \frac{Mn}{6}$
ร้อยละ (เฉลี่ย)	98.21	0.213	0.175	0.735	0.024	0.018	0.100	0.018	0.336

ซึ่งส่วนผสมทางเคมีของเหล็กข้ออ้อยเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 24-2548

5.2 โครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคตามภาคตัดขวางของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ด และเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ด กับกระบวนการรีดร้อนปกติ

ข้อพิจารณาการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคที่สำคัญจากรูปที่ 2 มีดังนี้

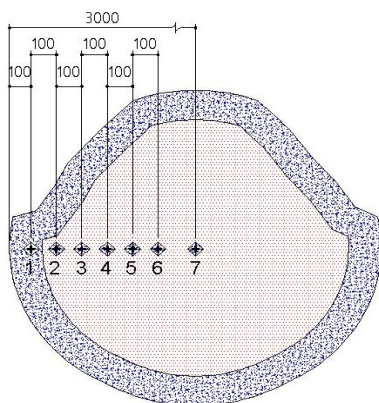
- 1) โครงสร้างจุลภาคของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ต แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ บริเวณตรงกลางเป็นการเย็นตัวที่ลานลดอุณหภูมิแบบกึ่งไอโซเทอร์มอล ประกอบด้วยเฟสของเฟอร์ไรต์ กับเพิร์ลไลต์ และบริเวณรอบ ๆ ผิวเป็นการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วโดยระบบฉีดน้ำ ประกอบด้วยเฟสของเทมเปอร์มาร์เทนไซต์ (tempered martensite)
- 2) โครงสร้างจุลภาคของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติ ลักษณะเป็นการอบปกติ (normalizing) โครงสร้างจุลภาคจึงประกอบด้วยเฟสของเฟอร์ไรต์ กับเพิร์ลไลต์ [2]

5.3 สมบัติเชิงกล

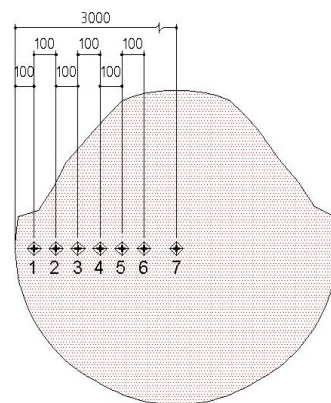
สมบัติเชิงกลของเหล็กข้ออ้อยที่ตรวจสอบประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ความแข็ง ความแข็งแรง และความเหนียว

5.3.1 ความแข็ง (Hardness)

การทดสอบความแข็งเหล็กข้ออ้อยใช้แบบวิกเกอร์ (Vickers Microhardness Testing) โดยใช้ภาระกด 50 gf ระยะห่างจากขอบชิ้นงานแต่ละช่วงเท่ากับ 100 μm ดังรูปที่ 3



ก) ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ต

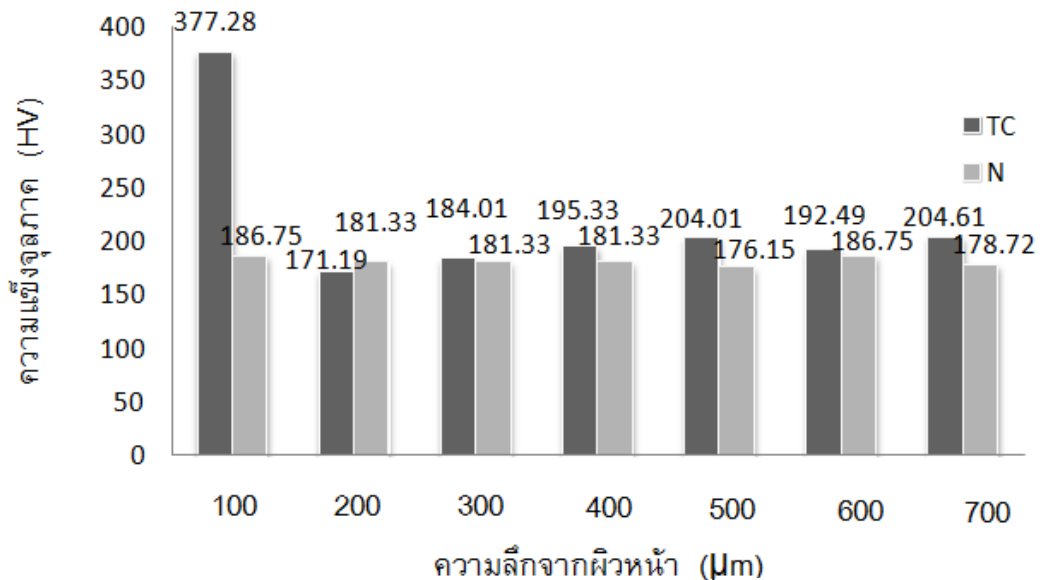


ข) ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติ

รูปที่ 3 ตำแหน่งแนวกดตามภาคตัดขวางจากขอบนอกถึงแกนกลางของเหล็กข้ออ้อย

ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4 ความแข็งของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ต ที่ผิวนอกมีความแข็งสูงกว่าข้างใน กล่าวคือ ที่ผิวนอกมีความแข็ง 377.28 HV ที่ผิวในมีความแข็งที่ใกล้เคียงกัน ประมาณ 192 HV เนื่องจากผิวนอกที่เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จากการฉีดน้ำของกระบวนการเทมปีคอร์ตในขั้นตอนที่ 1 โครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนจากออสเทนไนต์เป็นมาร์เทนไซต์

แต่เหล็กที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติ ลักษณะการเย็นตัวจะเป็นการเย็นอย่างช้า ๆ ในอากาศซึ่งถือว่าเป็นการอบแบบปกติ โครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนจากเฟสออสเทนไนต์เป็นเฟอร์ไรต์และเฟอไรต์ละเอียด ความแข็งมีค่าใกล้เคียงกัน ประมาณ 181 HV

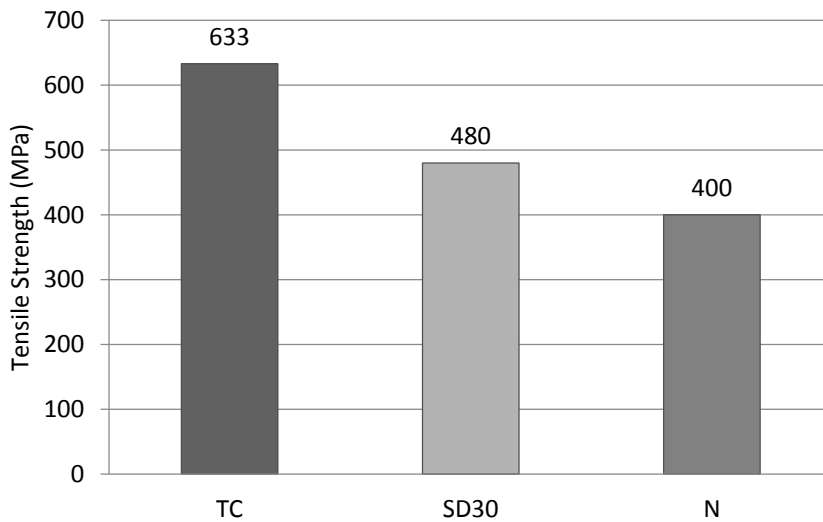


รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความแข็งของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ด (TC) กับที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติ (N)

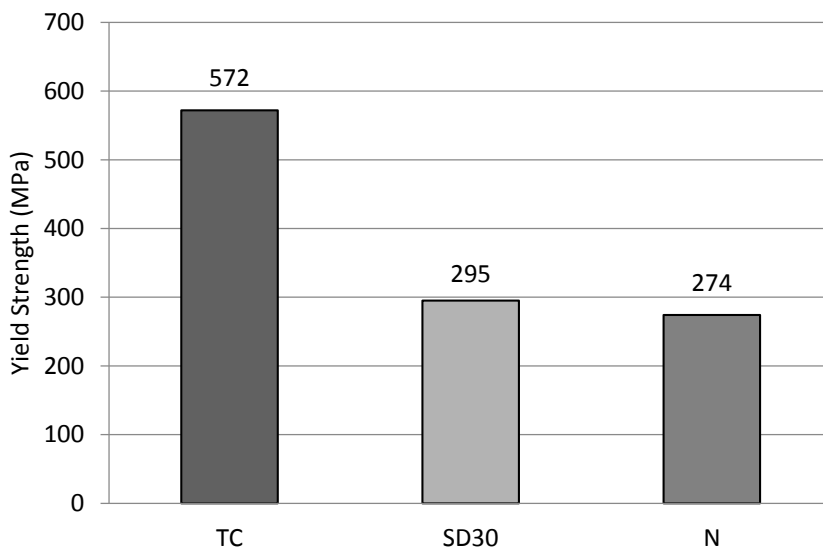
5.3.2 ความแข็งแรง (Strength)

จากการตรวจความแข็งแรงด้านแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย พบว่า ความแข็งแรงด้านแรงดึงสูงสุด (tensile strength) เฉลี่ยของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ด มีค่า 633 MPa ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน มอก. 24 - 2548 ที่กำหนดไว้ 480 MPa และสูงกว่าเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติซึ่งมีค่าเฉลี่ย 400 MPa ดังรูปที่ 5 (ก)

สำหรับค่าความแข็งแรงด้านแรงดึงที่จุดคราก (yield strength) ของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ด มีค่า 572 MPa ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน มอก. 24-2548 ที่กำหนดไว้ 295 MPa และสูงกว่าเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 274 MPa ดังรูปที่ 5 (ข)



ก) ความแข็งแรงดึง



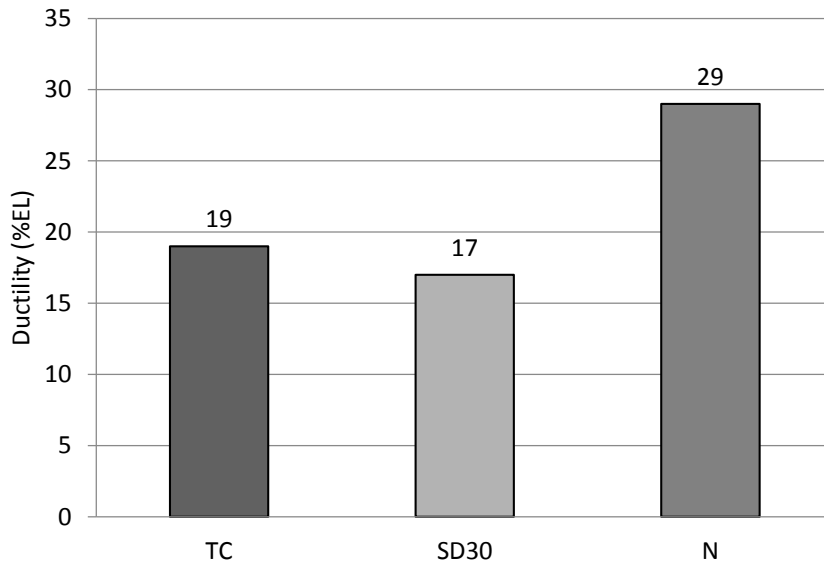
ข) ความแข็งแรงคราก

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบความแข็งแรงของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ดผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติ และมาตรฐาน มอก.24 – 2548

จะเห็นว่า เหล็กข้ออ้อยที่ใช้ทดสอบมีส่วนผสมทางเคมีตรงตามมาตรฐาน มอก. 24-2548 ชั้นคุณภาพ SD 30 แต่เมื่อผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ดแล้ว ความแข็งแรงที่จุดที่จุดคราก (yield strength) สูงกว่าชั้นคุณภาพ SD 50 ตามมาตรฐาน มอก. 24-2548

5.3.3 ความเหนียว (Ductility)

จากการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัวหรือความเหนียวของเหล็กข้ออ้อย พบว่าความเหนียว (Ductility) เฉลี่ยของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ตมีค่า 19% ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน มอก. 24 - 2548 ที่กำหนดไว้ 17 % ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบความเหนียว (Ductility) ของเหล็กข้ออ้อย ที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ต ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติ และ มาตรฐาน มอก.24-2548

6. สรุป

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ต ผิวนอกประกอบด้วยเฟสของมาร์เทนไซต์ ที่แกนกลางประกอบด้วยเฟสของเฟอร์ไรต์กับเพิร์ลไลต์ ส่วนเหล็กข้ออ้อยผ่านกระบวนการปกติ ประกอบด้วยเฟสของเฟอร์ไรต์กับเพิร์ลไลต์

ส่วนสมบัติเชิงกลของเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการเทมปีคอร์ต มีความแข็ง (hardness) ความแข็งแรงสูงสุด (ultimate tensile strength) และความแข็งแรงที่จุดคราก (yield strength) สูงกว่าเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนปกติ และสูงกว่าค่ามาตรฐาน มอก. 24-2548

เอกสารอ้างอิง

- [1] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กข้ออ้อย (มอก. 24 - 2548). สืบค้นจาก: <http://app.tis.go.th>

- [2] Kenneth G. Bundinski. and Michael K. Bundiski. (2002). **Engineering Materials Properties and Selection**. Seventh Edition. Pearson Education.
- [3] Samroeng Netpu. (2004). **Technological Advance and Opportunities in Hot Rolled Steel Industry**. KMUTT. Thailand.
- [4] D.T. Llewellyn and R.C. Hudd. (1998). **Steels: Metallurgy and Applications**. Third Edition. Butterworth Heinemann.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผศ.ชานนท์ มูลวรรณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
1761 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
โทรศัพท์ : 0-2321-6930 ext. 1213
E-mail: charnont_99@hotmail.co.th



นายสำเร็จ เนตรภู
ผู้จัดการ บริษัท เอส. เอช. เค. เอ็นจิเนียริง จำกัด สมุทรปราการ
โทรศัพท์ : 02-4640459-61, 091-9946598, 089-9946598
โทรสาร : 02-4632260
ผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัท PT. Putra Baja Deli เมืองเมดาน
ประเทศอินโดนีเซีย
E-mail: sam@shkengineering.com