

การตรวจสอบคุณสมบัติและปริมาณธาตุคาร์บอนในเหล็กหล่อ
จากผู้ผลิตในจังหวัดขอนแก่น

[รับตีพิมพ์เมื่อ 25 พฤษภาคม 2532]

สำรวจ อินแบน *

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้เป็นการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อที่ผลิตจากโรงหล่อในพื้นที่เมืองและชนบทในจังหวัดขอนแก่น คุณสมบัติทางกลเหล่านี้ได้แก่ ความแข็งแรงทางดึง ความทนต่อแรงกระแทก เปอร์เซ็นต์การยืดตัวและความแข็ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบทางกลเบื้องต้น อีกทั้งตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กนี้ว่าเป็นเหล็กหล่อชนิดใด

ในการทดสอบใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นและสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติทางกลดังกล่าว โดยสุ่มตัวอย่างเหล็กหล่อจากโรงงานนี้มาสามชุด ๆ ละวัน และกำหนดช่วงความเชื่อมั่นเป็น 95 % จะตรวจสอบการกระจายข้อมูลเป็นแบบปกติหรือไม่โดยใช้ฮิสโตแกรม และทดสอบสมมติฐานของข้อมูล โดยวิธี Chi-square tests

จากผลการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลดังกล่าวและโครงสร้างจุลภาค พบว่าเหล็กหล่อจากโรงหล่อนี้อยู่ในเกณฑ์ของเหล็กหล่อเทา คือ มีความแข็งแรงทางดึง (ซึ่งเป็นตัวแบ่งเกรดเหล็กหล่อโดยทั่วไป) มีค่าเท่ากับ $208.17 \pm 11.87 \text{ N/mm}^2$ ความแข็งแรงรูดเวลามีค่าเท่ากับ $97.95 \pm 1.28 R_B$, เปอร์เซ็นต์การยืดตัว $1.21 \pm 0.17 \%$ ซึ่งค่าที่กล่าวมาสามารถเชื่อมั่นได้ถึง 95 % ส่วนค่าคุณสมบัติทางกลที่ได้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้นคือ ความแข็งแรงบริเนลล์มีค่าเท่ากับ $210 \pm 9.26 H_B$ และความทนต่อแรงกระแทกมีค่าเท่ากับ $41.00 \pm 2.35 \text{ N-m}$ สามารถนำไปใช้งานขนาดเล็กได้ หรืองานขนาดปานกลางที่ไม่ได้รับแรงสั่นสะเทือนมากนัก

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

The aim of this report is to investigate the mechanical properties of cast iron from Sin Peun Maung and Chan Tai lek foundry in Khon Kaen province. The mechanical properties are tensile strength, impact strength, percentage elongation and hardness, to be used as mechanical design data, At the same time the microstructure of cast iron was inspected in order to identify it.

The experiment was based on the theory of probability and statistics was used to evaluated the mean value and standard deviation of the mechanical properties of the cast iron, Three sets of samples were calculated and 95% confidence limits were attached to the mean. The experimental results were tested for assumption of normality by using histogram and Chi-square test

It could be concluded from the experiment that the cast iron had the standard of gray cast iron and the 95% confidence limits for the tensile strength (the classification of general cast iron) was given by $208.17 \pm 12.11 \text{ N/mm}^2$, the rockwell hardness was given by $97.95 \pm 1.28 \text{ R}_B$, the percent elongation was given by 1.21 ± 0.17 but approximate value for the brinell hardness was given by $210.16 \pm 9.26 \text{ H}_B$, the impact strength was given by $41.00 \pm 2.35 \text{ N-m}$ and can be used for small or medium application with light shock.

1. บทนำ

เนื่องจากในโลหะตระกูลเหล็กทั้งหมดเหล็กหล่อเป็นเหล็กที่นิยมใช้มากที่สุด ทั้งนี้ นอกจากจะมีราคาถูกที่สุดแล้วชิ้นงานหล่อรูปพรรณที่ทำได้ด้วยเหล็กหล่อยังสามารถออกแบบให้มีลักษณะซับซ้อนได้เนื่องจากการหล่อยังทำได้ง่ายและผลิตได้จำนวนมาก ดังนั้นโครงการนี้จึงจะได้ทำการทดสอบคุณสมบัติที่จำเป็นเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบเบื้องต้นของเหล็กหล่อที่ผลิตได้ในบริเวณจังหวัดขอนแก่นโดยเลือกทดสอบเหล็กหล่อจากโรงงานสองแห่ง

ขณะที่งานหล่อโลหะอื่น ๆ มักจะกำหนดด้วยสัดส่วนประกอบทางเคมี แต่สำหรับเหล็กหล่อแล้วแม้จะมีสัดส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกันทุกประการก็จริง แต่อาจจะมีคุณสมบัติทางกล

ต่างกันได้ ทั้งนี้ขึ้นกับอิทธิพลบางประการในขั้นตอนการผลิตรูปร่างและขนาดของชิ้นงาน ดังนั้นข้อกำหนดของเหล็กหล่อจึงมักกำหนดด้วยคุณสมบัติทางกล เช่น ความแข็งแรงทางดึง ความแข็ง เป็นต้น ดังนั้นโครงการนี้จะทดสอบเฉพาะคุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อนี้ รวมถึงการตรวจสอบโครงสร้างภายใน และตรวจสอบปริมาณส่วนผสมของธาตุหลัก ๆ ที่ผสมอยู่ในเหล็กหล่อ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกลดังกล่าว

เหล็กหล่อทั่วไปได้มาจากการหลอมละลายของเนื้อเหล็ก โดยกรรมวิธีการเทน้ำเหล็กที่ไหลจากเตาหลอมควิปอล้างในแบบหล่อทราย แล้วปล่อยให้โลหะแข็งตัวเป็นรูปร่างตามต้องการ โดยจะมีการควบคุมปริมาณธาตุคาร์บอนซึ่งเป็นธาตุผสมที่สำคัญให้อยู่ในช่วงปริมาณ 2 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์

เหล็กหล่อเป็นโลหะผสมของธาตุที่สำคัญ 5 ชนิด คือ เหล็ก, คาร์บอน, ซิลิกอน, แมงกานีส และกำมะถันหรือซัลเฟอร์ เหล็กหล่อบางชนิดนำไปใช้งานเฉพาะอย่างอาจเติมส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการได้

2. การทดสอบ

2.1 วัตถุประสงค์

งานโครงการนี้เป็นการทดสอบ เพื่อหาคุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อที่ผลิตจากโรงงานสีทันเมืองและโรงงานชาญไถเหล็กจังหวัดขอนแก่น คุณสมบัติทางกลที่ต้องการตรวจสอบได้แก่ ความแข็งแรงทางดึง ความทนต่อแรงกระแทก ความแข็ง การตรวจสอบโครงสร้างภายใน และการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ของธาตุหลักที่ผสมอยู่ในเหล็กหล่อกังลาว

2.2 ขอบข่ายของการทดสอบ

2.2.1 การทดสอบแรงดึง คุณสมบัติทางกลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงเป็นคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุได้แก่ ความแข็งแรงที่จุดคูลาก ความแข็งแรงทางดึงและการยืดตัว ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบเบื้องต้นทั่วไป วัสดุหลาย ๆ ชนิดอาจจะไม่มีจุดคูลาก เช่น เหล็กหล่อ กำลังคูลากจึงต้องเปลี่ยนนิยามไปเป็นความเค้นที่วัสดุเกิดความเครียดฉาวจริง ๆ หนึ่ง เรียกว่าความเครียดเยื้องซึ่งมักบ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ สำหรับเหล็กหล่อใช้ความเครียดเยื้อง 0.1 % กำหนดจุดคูลาก กำหนดขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS Z. 2201 (1980) ลักษณะ 8 B

2.2.2 การทดสอบความแข็ง การทดสอบความแข็งมีอยู่หลายวิธี สำหรับการทดสอบหาข้อมูลโครงการนี้ใช้ การทดสอบแบบบริเนลล์ และแบบรอกเวลล์บี เพื่อเปรียบเทียบกัน

2.2.3 การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก โดยทั่วไปการทดสอบมี 2 วิธี คือ

(1) CHARPY TEST

(2) IZOD TEST

2.2.4 การตรวจสอบโครงสร้างภายใน เป็นการตรวจสอบโดยขยายเนื้อโลหะ เหล็กหล่อด้วยกล้องจุลทรรศน์ว่ามีโครงสร้างพื้นฐานเป็นอย่างไร การทดสอบทำโดยสุ่มตัวอย่าง ชิ้นทดสอบมา 6 ชิ้น แล้วทำการทดสอบ

2.2.5 การตรวจสอบส่วนผสมภายในเนื้อเหล็กหล่อ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจสอบ คาร์บอนและสเปคโตรสโคป

2.3 การวางแผนการทดสอบ

ขั้นแรก ศึกษากรรมวิธีการหล่อของโรงงานนี้ เป็นต้นว่า ศึกษาหาข้อมูลการใช้เตา การใช้เชื้อเพลิงกว่าใช้อะไรบ้าง รวมทั้งการเติมสารต่าง ๆ ลงเตาหลอม

ขั้นที่สอง สุ่มตัวอย่างเหล็กมาทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลดังกล่าวโดยสุ่มมา 30 ตัวอย่างเพื่อให้ได้จำนวนพอที่ข้อมูลที่ได้นี้จะมีการกระจายข้อมูลแบบปกติ

ขั้นที่สาม ทดสอบเหล็กหล่อที่ได้แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคทางสถิติ และทฤษฎีความน่าจะเป็นเบื้องต้น

2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.4.1 เครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ AVERY

2.4.2 เครื่องทดสอบแรงกระแทก ยี่ห้อ AVERY

2.4.3 เครื่องทดสอบความแข็งบริเนลล์ ยี่ห้อ FRANK

2.4.4 เครื่องทดสอบความแข็งรอกเวลล์

2.4.5 กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบโครงสร้างภายในวัสดุ

2.4.6 อุปกรณ์ตรวจสอบคาร์บอนและสเปคโตรสโคป

3. ผลการทดสอบ

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

ผลการทดสอบความแข็งแรงทางดึง

ค่าเฉลี่ย 208.17 นิวตัน/มม²

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm$ 11.87 นิวตัน/มม²

ผลการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก

ค่าเฉลี่ย 41.00 นิวตัน-ม.

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ± 2.35 นิวตัน-ม.

ผลการทดสอบความแข็ง

บริเนลล์ H_B 210.16 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ± 9.26

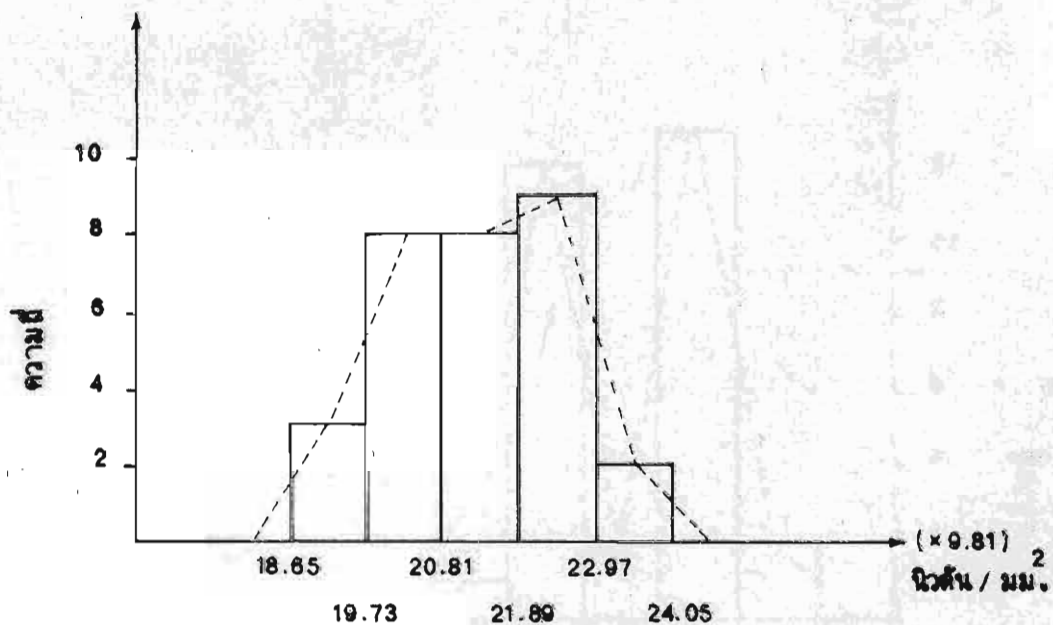
รอกเวลล์ R_B 97.95 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ± 1.28

ผลการทดสอบการยืดตัว

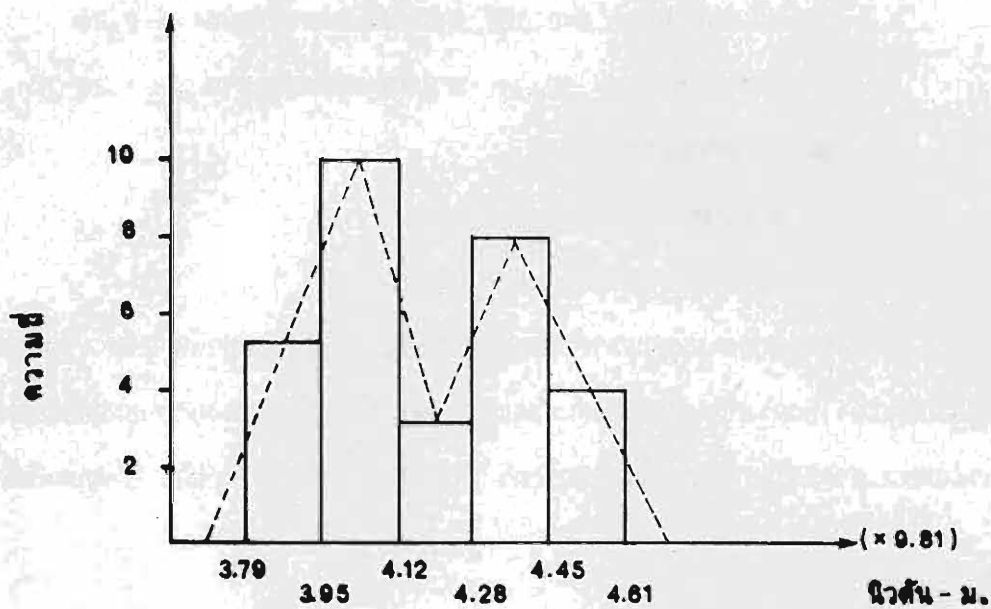
ค่าเฉลี่ย 1.12 เปอร์เซ็นต์

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ± 0.17

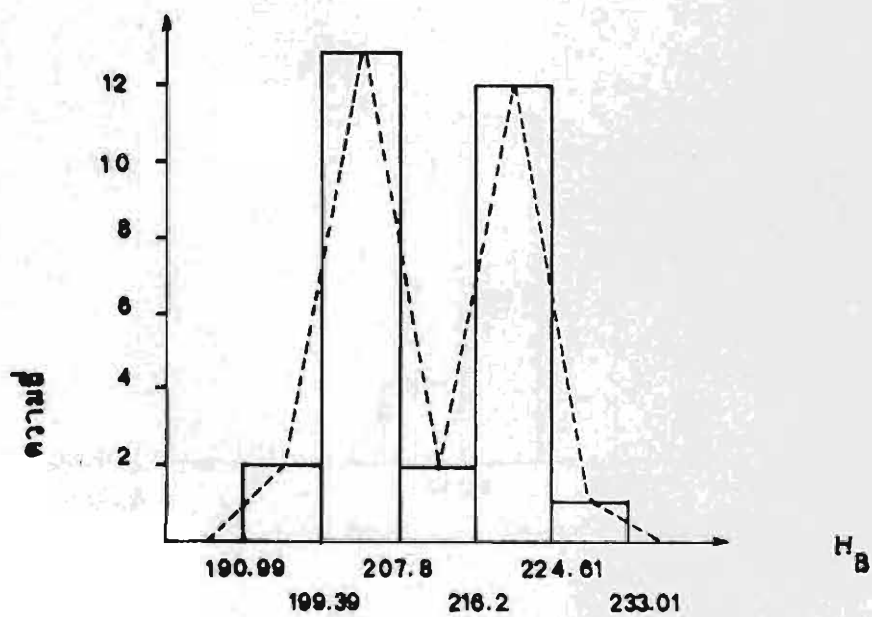
การทดสอบข้อสมมติฐานว่าการกระจายของข้อมูลเป็นแบบปกติหรือไม่ เริ่มแรกโดยประมาณใช้ฮิสโตแกรมซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และผลของการทดสอบแรงดึงแรงกระแทก ความแข็ง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ดังรูปที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ



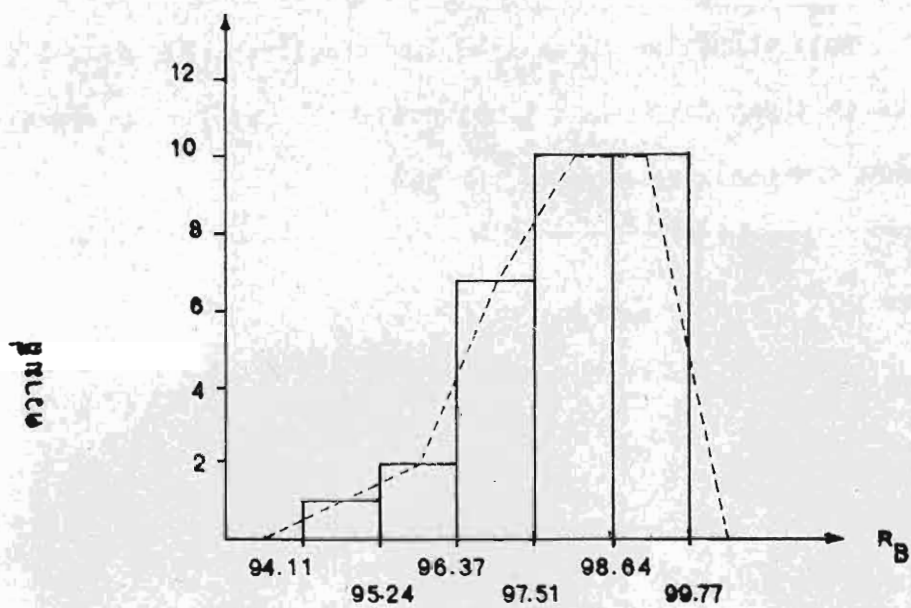
รูปที่ 1 แสดงฮิสโตแกรมความแข็งแรงทางดึงของเหล็กหล่อ



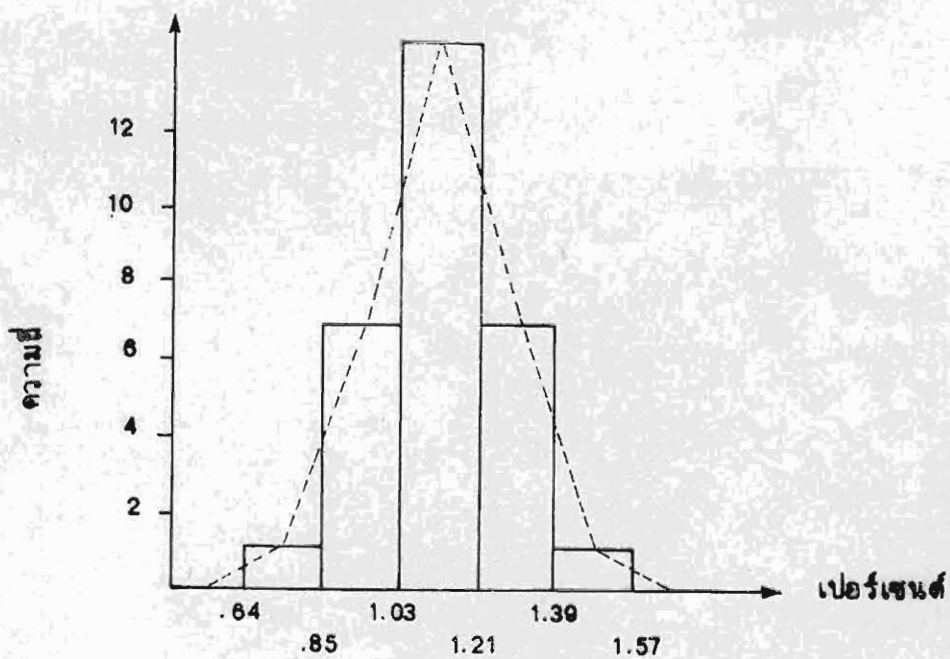
รูปที่ 2 แสดงฮิสโตแกรมความทนต่อแรงกระแทกของเหล็กหล่อ



รูปที่ 3 แสดงฮิสโตแกรมความแข็งบริเนลล์ของเหล็กหล่อ



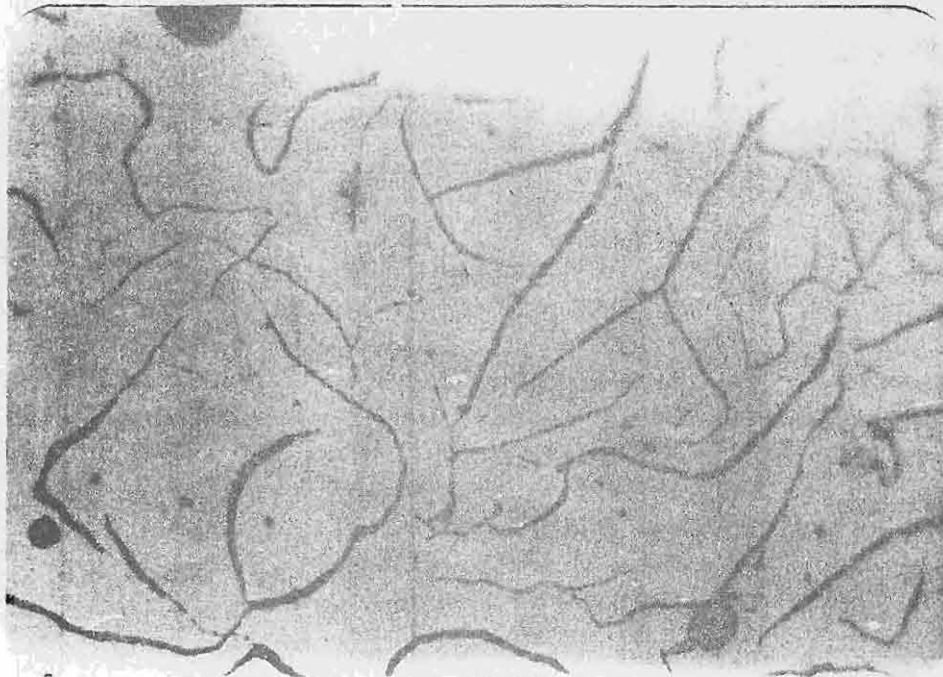
รูปที่ 4 ฮิสโตแกรมของความแข็งแรงคเวลล์บี



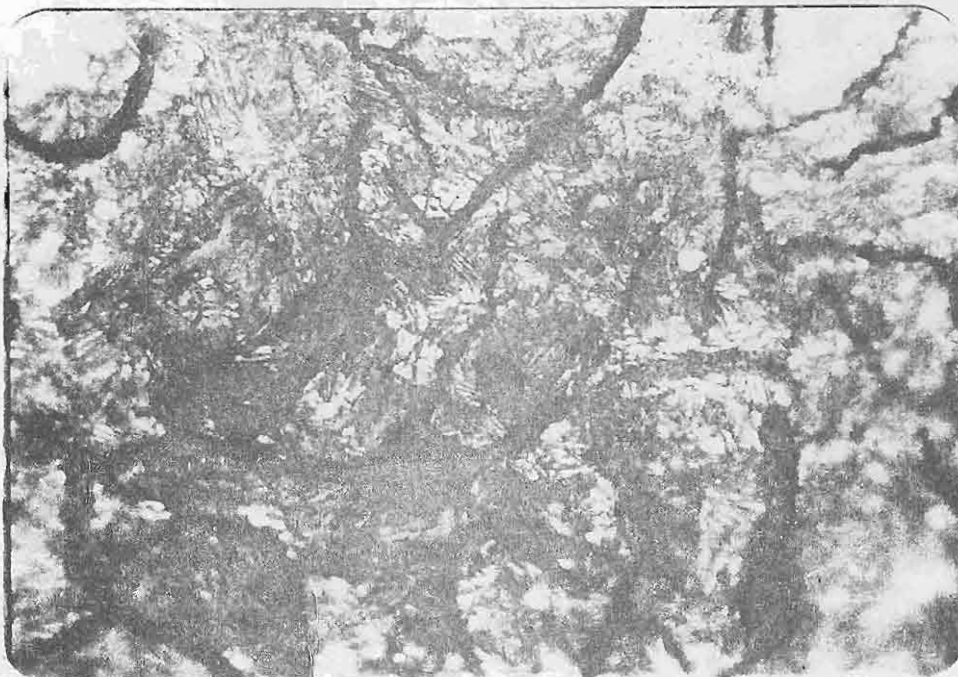
รูปที่ 5 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์การยึดตัว

3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างภายในวัสดุ

พบว่า จะมีกราไฟท์ (Graphite) แบบ Flake Type A Size 4 จำนวน Pearlite 99 % และ Carbides 1 % และมีกราไฟท์ C แทรกอยู่ทำให้เหล็กหล่อชุดนี้ ไม่ใช่เหล็กหล่อเทาคุณภาพดีนัก ดังรูปที่ 6 และ รูปที่ 7



รูปที่ 6 ชิ้นงานทดสอบที่ไม่กัดกรด (Unetched Specimen)



รูปที่ 7 ชิ้นงานทดสอบที่กัดกรดแล้ว (Etched specimen)

3.3 จากการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของธาตุที่สำคัญ ในเหล็กหล่อเทา จำนวน 5

ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน (C), ซิลิกอน (Si), แมงกานีส (Mn), ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน หรือซัลเฟอร์ (S) ดังนี้

โรงงานสินพื้นเมือง

โรงงานชาณุไธเหล็ก

C = 3.27 %

C = 3.31 %

Si = 2.35 %

Si = 2.92 %

Mn = 0.20 %

Mn = 0.245 %

P = 0.075 %

P = 0.097 %

S = 0.113 %

S = 0.063 %

ซึ่งเลือกทดสอบชิ้นงานทดสอบ 1 ในจำนวน 30 ชิ้น และเป็นเหล็กที่เทออกมาจากเตาเดียวกัน เบ้าเดียวกันในเวลาเดียวกันของแต่ละโรงงาน เลือกไปทดสอบชิ้นเดียวกันจะมีส่วนผสมเหมือนกัน จึงเป็นที่เชื่อแน่ว่าส่วนผสมในวัสดุเหล็กหล่อในเตาเดียวกันย่อมมีส่วนผสมเช่นเดียวกันด้วย ผลการวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์คาร์บอนดีเทอมิเนเตอร์ และสเปกโตรสโคปได้ผลดังนี้

คาร์บอน 3.27 %, 3.31 % อยู่ในเกณฑ์ของเหล็กหล่อพดี คือ เปอร์เซ็นต์คาร์บอนของเหล็กหล่อเทาจะอยู่ระหว่าง 2-4 %

ซิลิกอน 2.35 %, 2.95 % จะอยู่ในช่วงที่ทำให้เหล็กยังพอมีความแข็งแรงคืออยู่ คือ ถ้าปริมาณซิลิกอนไม่เกิน 3.5 % จะยังคงสภาพความแข็งได้ดี

แมงกานีส 0.2 %, 0.245 % มีน้อยกว่า 0.5 % จะยังไม่มีผลต่อเหล็กหล่อชุดนี้นัก

ฟอสฟอรัส 0.075 %, 0.097 % จะมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ปกติที่มีในเหล็กหล่อเทา ไม่มีผลต่อเหล็กมากนัก

ซัลเฟอร์ 0.113 %, 0.063 % ที่ยอมให้มีซัลเฟอร์ได้ในเหล็กหล่อไม่เกิน 0.15 % จึงได้ว่าปริมาณซัลไฟด์ยูเทคติก มีปริมาณน้อยไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล

$$\text{Carbon Equivalent} = \text{TOTAL C \%} + \frac{1}{3} (\text{Si} + \text{P})$$

$$= 3.27 + \frac{1}{3} (2.35 + 0.075)$$

$$= 4.08$$

จากการตรวจสอบโครงสร้างภายในของเหล็กหล่อ จะเห็นว่า จะมีกราไฟท์กระจาย เป็นแบบ Flake เหล็กหล่อนี้จะเป็นเหล็กหล่อเทาแบบ Flake graphite มีพื้นของโครงสร้างเป็นแบบเพอไลต์ (pearlite)

การกระจายของกราไฟท์จะเป็นแบบกราไฟท์ตามมาตรฐาน A โดยมีกราไฟท์ C แทรกอยู่ ทำให้เหล็กหล่อชุดนี้ไม่ใช่เหล็กหล่อเทาคุณภาพคืบนัก ถ้าจะให้ดีที่สุดควรมีเฉพาะกราไฟท์แบบ A เท่านั้น เมื่อเทียบแต่ละชุด คือ ตัวที่ 9, 14, 21 จะมีลักษณะของการกระจายของกราไฟท์ใกล้เคียงกันซึ่งจะมีผลทำให้คุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกัน ซึ่งสังเกตได้จากข้อมูลความแข็ง (H_B) มีค่าใกล้เคียงกันมาก

4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบซึ่งพอจะสรุปคุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อจากโรงงานสินหินเมือง จังหวัดขอนแก่น ได้ดังนี้

ความแข็งแรงทางดึง (ที่ความเชื่อมั่น 95 %)

เท่ากับ 208.17 ± 12.11 นิวตัน/มม²

ความแข็งแรงรอกเวลสเกลปี (ที่ความเชื่อมั่น 95 %)

เท่ากับ $97.95 \pm 1.28 R_B$

เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (ที่ความเชื่อมั่น 95 %)

เท่ากับ 1.21 ± 0.17 %

ความแข็งบริเนลล์ (โดยประมาณ)

เท่ากับ $210.16 \pm 9.26 H_B$

ความทนต่อแรงกระแทก (โดยประมาณ)

เท่ากับ 41.00 ± 2.35 นิวตัน-ม.

ปริมาณส่วนผสมของธาตุในเนื้อเหล็กหล่อได้จากการสุ่มตัวอย่าง 1 ตัวอย่างจาก โรงงานสินหินเมือง ได้ค่าดังนี้ 3.27 % C, 2.35 % Si, 0.2 % Mn, 0.075 % P, 0.113 % S คุณสมบัติทางกล และโครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อจากโรงงานนี้สามารถที่จะถือได้ว่าเป็น เกณฑ์ของเหล็กหล่อสีเทา

สำหรับของโรงงานชาญไธเหล็กได้ข้อมูลจากการสุ่มตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ได้ค่าดังนี้ 3.13 % C, 2.92 % Si, Mn, 0.097 % P, 0.063 % S

เนื่องจากโรงงานสินหินเมืองและโรงหล่อชาญไธเหล็กเป็นโรงงานหล่อเหล็กขนาดเล็ก

จัดอยู่ในชั้นอุตสาหกรรมครอบครัว การควบคุมกระบวนการผลิตยังไม่มีการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมาตรฐาน เช่นไม่มีการควบคุมคุณสมบัติน้ำเหล็ก ผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อที่ได้จึงมีคุณภาพต่ำมีรูพรุนในเนื้อเหล็กมาก การนำไปใช้งานจึงเหมาะเฉพาะงานขนาดเล็กเท่านั้น หรืออาจเป็นงานขนาดปานกลาง เช่นฐานเครื่องจักรที่ไม่ได้รับแรงสั่นสะเทือนมากไปนัก ผู้ใช้จึงต้องตัดสินใจในพื้นฐานทางวิชาการให้มากยิ่งขึ้น

5. บรรณานุกรม

1. หริส สุตะบุตร, เคนยิ จิยอิวา, หล่อโลหะ. พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ.
สำนักพิมพ์ดวงกมล, 2527
2. พยूर เกศกราย, การหล่อโลหะภาคผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.
โปรเฟสชั่นแนลพับลิชชิง, 2523
3. ประกอบ บุญยงค์. โลหะวิทยา 1,2. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.
สำนักพิมพ์ประกอบเมโกร, 2520
4. ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา, สาราช รุติเกียรติพงศ์. วัสดุในงานวิศวกรรมเล่ม 1.
พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดเคชั่น, 2521
5. สำรวจ อินแวน. เอกสารประกอบการสอนวิชา Material Engineering.
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2529
6. The American Society For Testing and Materials, Ferrous Castings; Ferroalloys, Annual book of ASTM Standards, Easton. 1979

เอกสารอ้างอิง

1. "A Guide to Hydrologic Analysis Using S.C.S. Methods" by Richard H. Mc Guen, Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey 97632.
 2. "Hydrology of Agricultural Lands" by Harold O. Ogrosley, in Section 21 of Handbook of Applied Hydrology, Mc Graw Hill Book Comp. 1964.
 3. Victor Mockus "Hydraulic Engineer" U.S. Soil Conservation Service Section 21, Hydrology of Agricultural Lands, U.S. Government Printing office Washington D.C., 1972.
 4. "การจัดการสภาพแวดล้อมน้ำพอง" จิรศักดิ์ จินดาโรจน์ สำนักงานพัฒนาแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
-