กระบวนการผลิตเหล็กหล่อกราไฟต์เบไนต์ (1)

รองศาสตราจารย์มนัส สถิรจินดา *
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อินทรานนท์ **
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริทรรศน์ พันธุบรรยงก์ *
นายเสริมพันธ์ แปลกสิริ *

* ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กหล่อในประเทศไทยได้ดำเนินการมาเป็นระยะเวลาหลายสิบปีแล้ว แต่อัตราการพัฒนาเป็นไปอย่างล่าช้า เนื่องจากความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อที่มีคุณภาพสูงมีน้อย แต่ในปัจจุบันตลาดของผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อคุณภาพสูงและเหล็กกล้าซึ่งได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลพื้นฐาน เครื่องจักรกลการเกษตร รถยนต์ และจักรยานยนต์ ขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งเสริมจากนโยบายของรัฐโดยการบังคับให้มีการใช้ชิ้นส่วนรถยนต์และรถจักรยานยนต์ที่ผลิตขึ้นภายในประเทศ (Domestic parts) ในอัตราสูงถึง 45 50% ขึ้นไป ประกอบอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นของประเทศไทยมีแนวโน้มขยายตัวมากขึ้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตผลิตภัณฑ์เกษตรในปริมาณสูงและต้นทุนต่ำ ดังนั้นความจำเป็นในการใช้ชิ้นส่วนประเภทเหล็กหล่อและเหล็กกล้าคุณภาพสูงจึงมีมากขึ้น

เหล็กหล่อกราไฟต์กลมเป็นเหล็กหล่อที่มีคุณภาพสูง มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเหล็กหล่อเหนียว มีคุณสมบัติทางกลดีมาก สามารถใช้แทนเหล็กกล้าในการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้เป็นจำนวนมากในราคาต้นทุนที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ เหล็กหล่อยังมีข้อดีที่เหนือกว่าเหล็กกล้าอีกประการหนึ่งคือ สามารถหล่อหลอมขึ้นรูปชิ้นงานที่ซับซ้อนได้ดีกว่า ในประเทศพัฒนาแล้วทั้งสหรัฐอเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่น จึงได้มีการค้นคว้าและวิจัยทางด้านกระบวนการผลิตและการทดสอบคุณสมบัติเหล็กหล่อกันมากในช่วงทศวรรษนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กหล่อกราไฟต์กลมเนื้อพื้นเบไนต์เป็นเหล็กหล่อที่มีความแข็งแรงทนทานสูง อัตราการยืดตัวพอเหมาะกับการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ได้มากทั้งในการผลิตชิ้นส่วนและประยุกต์ใช้ในการเก็บของเสียจากเตาปฏิกรณ์ปรมาณูและอุปกรณ์นิวเคลียร์ต่าง ๆ

คณะผู้ดำเนินการวิจัยเล็งเห็นว่า ปัจจุบันประเทศไทยยังขาดการค้นคว้าและพัฒนาทางด้านกระบวนการผลิตเหล็กหล่อกราไฟต์กลมเนื้อพื้นเบไนต์ดังกล่าว จึงมีความประสงค์ที่จะดำเนินการวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตที่เหมาะสม เพื่อสามารถเผยแพร่เป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมเหล็กหล่อในประเทศไทยต่อไป

วิธีการวิจัย

1. สำรวจความต้องการเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รถยนต์ และรถจักรยานยนต์ที่สามารถใช้เหล็กหล่อกราไฟต์กลมเนื้อพื้นเบไนต์แทนได้ รวมทั้งราคาต้นทุนของวัสดุดังกล่าว เพื่อให้ทราบต้นทุนที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2. ทดลองผลิตเหล็กหล่อกราไฟต์กลมเนื้อพื้นเบไนต์ เพื่อหาส่วนผสมของโลหะเจือที่จะให้คุณสมบัติเหมาะสมในการใช้งาน

3. ทดลองใช้กระบวนการอบความร้อนเพื่อหาช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กหล่อดังกล่าว

4. ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลที่จำเป็นในการใช้งาน ได้แก่ความต้านแรงดึง อัตราการยืดตัว ความแข็ง ความทนทานต่อแรงกระแทก

5. สรุปกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ส่วนผสม และกรรมวิธีอบความร้อนที่ถูกต้อง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เตาหลอมโลหะ แบบเหนี่ยวนำความถี่สูง
2. เตาอบชุบโลหะไฟฟ้า
3. เครื่องทดสอบแรงดึง UTS
4. เครื่องทดสอบความแข็ง
5. เครื่องทดสอบแรงกระแทก
6. ไมโครคอมพิวเตอร์ในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล
7. เครื่องวิเคราะห์ส่วนผสม Vacuum Emission Spectro Analyser

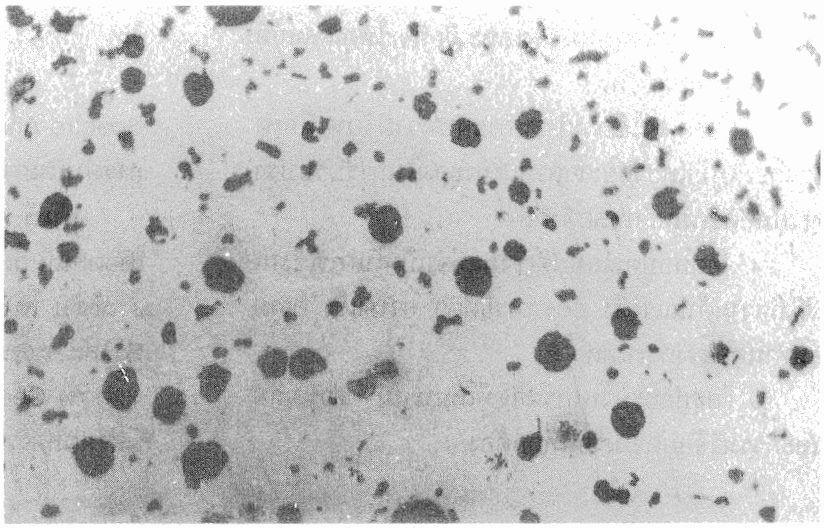
การดำเนินการวิจัย

ขั้นที่ 1 ทำการหลอมเหล็กหล่อกราไฟต์กลม โดยผสมนิเกิ้ล (Ni) 5 ระดับ และโมลิบดีนัม (Mo) 3 ระดับ โดยใช้เหล็กดิบที่มีส่วนผสม 3.6% C, 0.005% S และ 0.02% P Nodulizer ที่มีส่วนผสม 5-6% Mg, 1.2-1.7% Ce และ 46-50% Si กับ Inoculant Fe-Si ซึ่งมีส่วนผสม 73-78% Si

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อจากการวิเคราะห์

ส่วนผสม / การหล่อครั้งที่	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Mg
1	3.339	2.764	0.0447	0.0275	0.0066	0.5992	0.0325	0.1130	0.0144
2	3.375	2.511	0.0554	0.0262	0.0070	1.0270	–	0.0944	0.0364
3	3.500	2.827	0.0394	0.0282	0.0079	1.841	0.0015	0.1158	0.0505
4	3.198	2.572	0.0299	0.0287	0.0083	2.914	0.0155	0.1156	0.0458
5	3.279	2.677	0.0266	0.0292	0.0080	3.867	0.0051	0.1192	0.0747
6	3.389	2.456	0.0289	0.0263	0.0071	0.7476	0.0056	0.3196	0.0506
7	3.556	2.587	0.0266	0.082	0.0061	1.069	–	0.3304	0.0406
8	3.576	2.224	0.0258	0.0314	0.0078	1.884	0.0008	0.3249	0.0670
9	3.541	2.884	0.0125	0.0297	0.0065	2.864	–	0.3368	0.0597
10	3.810	2.451	0.0033	0.0279	0.0061	4.424	–	0.3108	0.0567
11	3.562	2.559	0.0230	0.0304	0.0058	0.7490	–	0.5305	0.0461
12	3.712	2.553	0.0251	0.0282	0.0116	1.033	0.0010	0.4819	0.0517
13	3.638	2.588	0.0270	0.0296	0.0044	2.031	–	0.5208	0.0341
14	3.652	2.646	0.0202	0.0297	0.0054	2.961	0.0006	0.5418	0.0363
15	3.598	2.664	0.0185	0.0324	0.0068	4.699	0.000	0.5832	0.0477

การหลอมเหล็กนี้ใช้เตาหลอมไฟฟ้ากระแสเหนี่ยวนำ หลอมครั้งละ 20 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 1400-1450° ซ. การผสม Nodulizer ใช้วิธี Plunging ครั้งละ 500 กรัม จากนั้นจึงผสม Inoculant ในปริมาณ 120 กรัม ปริมาณของนิเกิ้ลที่ใช้คือ 0.5, 1, 2, 3, และ 5% ส่วนโมลิบดีนัมใช้ 0.1, 0.3 และ 0.5%



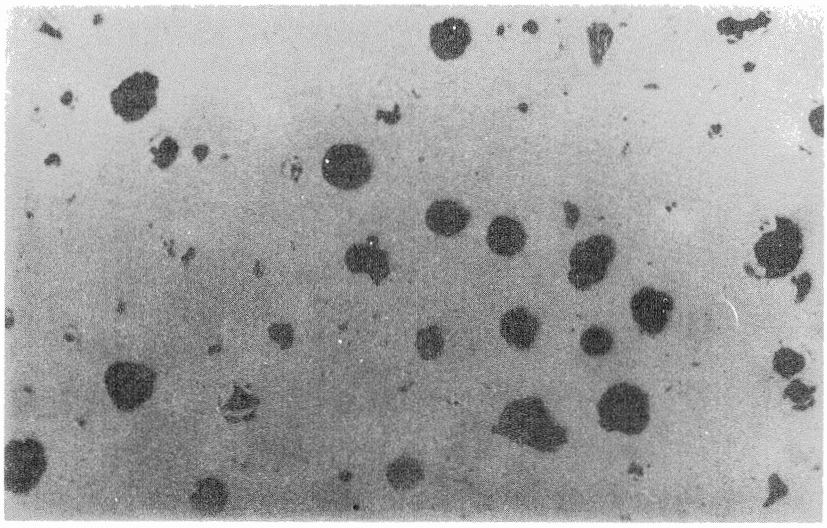
No etch. 50 x

ขั้นที่ 2 นำตัวอย่างเหล็กที่หลอมทุกครั้งไปวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมีโดย Vacuum Emission Spectro Analyser ได้ส่วนผสมดังตารางที่ 1

4% Nital etch. 100 x

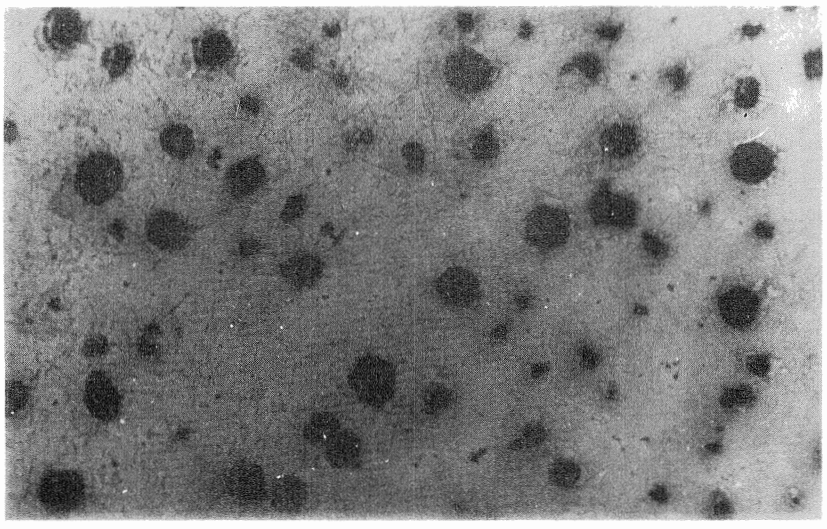
รูปที่ 1 การหล่อครั้งที่ 1 0.5992% Ni, 0.1130% Mo

ขั้นที่ 3 นำตัวอย่างที่ได้จากการหลอมมาตัดเป็นชิ้นเพื่อศึกษาจุลโครงสร้างพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเนื้อพื้น (matrix) เมื่อปริมาณของ Ni และ Mo เปลี่ยนไป



No etch. 100 x

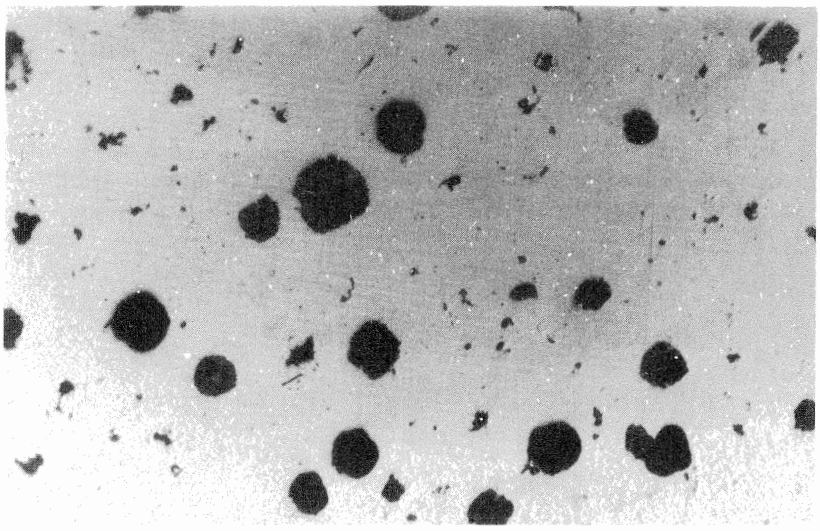
รูปถ่ายที่ 1, 2, 3 แสดงโครงสร้างของเนื้อพื้นเมื่อปริมาณของ Ni เปลี่ยนไปจาก 0.6-4% และ Mo เปลี่ยนไปจาก 0.1-0.3%



4% Nital etch. 100 x

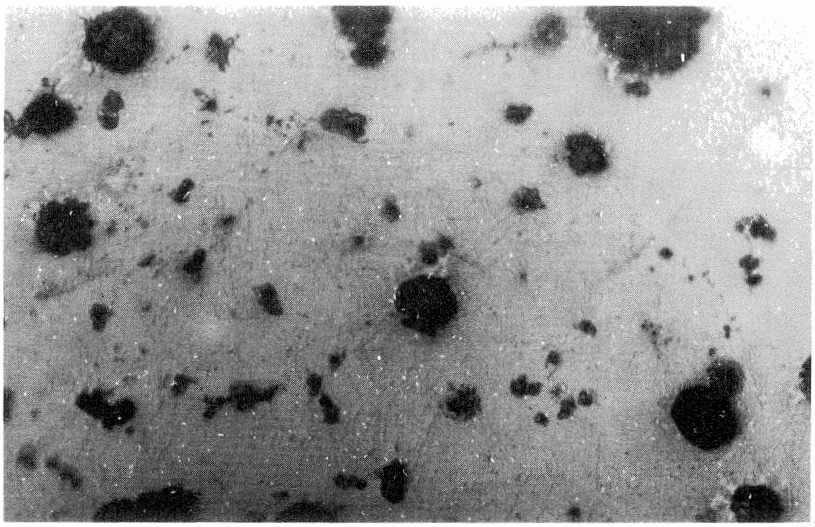
รูปที่ 2 การหล่อครั้งที่ 5 3.867% Ni, 0.1192% Mo

ขั้นที่ 4 นำตัวอย่างชิ้นทดลองไปตัดและทดสอบคุณสมบัติเชิงกลในสภาพการหล่อ (As-cast) อีกส่วนหนึ่งจะนำไปทำการอบชุบโดยเปลี่ยนอุณหภูมิด้วยกระบวนการ Austempering โดยใช้อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 250° ซ 300° ซ และ 350° ซ เพื่อทำการเปลี่ยนโครงสร้างเนื้อพื้น แล้วทดสอบคุณสมบัติเชิงกลต่อไป การทดลองขั้นนี้อยู่ระหว่างการดำเนินการ



No etch. 100 x

นอกจากนี้ยังได้ทำการสำรวจความต้องการเชิงปริมาณและคุณภาพของวัสดุเครื่องจักรกล รถยนต์และรถจักรยานยานต์ ที่สามารถใช้เหล็กหล่อกราไฟต์กลม



4% Nital etch. 100 x

รูปที่ 3 การหล่อครั้งที่ 10 4.424% Ni, 0.3108% Mo

เนื้อพื้นเบไนต์แทนได้ รวมทั้งราคาของวัสดุดังกล่าว ซึ่งอยู่ระหว่างดำเนินการเช่นกัน

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองช่วงแรก

1. รูปร่างของกราไฟต์ในการหล่อครั้งที่ 1 (รูปที่ 1) มีลักษณะเป็นเกล็ด (flake) เนื่องจากมีปริมาณของ Mg ค่อนข้างต่ำ (0.0144%) Mg จะเป็นตัวที่ทำให้รูปทรงของกราไฟต์อยู่ในลักษณะกลม และควรมีปริมาณตั้งแต่ 0.03% ขึ้นไป[1]

2. โครงสร้างของเนื้อพื้นจะมีการเปลี่ยนแปลงจากเฟอไรต์ - เพียร์ไลต์ ไปเป็นเบไนต์ในขณะที่ส่วนผสมของ Ni และ Mo มีปริมาณสูงขึ้น (จากรูปที่ 1-3)

3. เหล็กหล่อกราไฟต์กลมที่ผ่านการ Austempering เป็นเบไนต์สามารถใช้หล่อชิ้นส่วนรถยนต์บริเวณ Front suspension โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของ Ball joint socket แทนเหล็กคาร์บอน S30C ได้ดี โดยมีความสามารถในการรับการต้านแรงดึงมากกว่า S30C ถึง 50% และทนทานต่อแรงกระแทกได้โดยระดับน้ำหนักตกกระแทกสูงกว่า S30C ประมาณ 10% และมีน้ำหนักเบากว่า S30C 9%[2]

ในรายงานฉบับที่ 2 จะได้เสนอผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ต่อไปในวารสารนี้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2531 และได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากฝ่ายวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตลอดจนศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

1. PARITUD BHANDHUBANYONG : METALLURGICAL STUDY ON FATIGUE AND FRACTURE TOUGHNESS OF CAST IRON; DOCTURAL DISSERTATION; THE UNIVERSITY OF TOKYO, 1983

2. F. RYUUKA, Y. TORII, Y. UEDA, M. TAKITA:
PRODUCTION OF ADI AUTOMOBILE PART; IMONO; JOURNAL OF THE JAPAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY, VOL. 60 (1988), OCT., P.615-618