



การลดปัญหาทางานเสียจากทรายได้แบบของชิ้นส่วนปั้มผลิตจากเหล็กหล่อธาตุผสมสูง
Ni-Resist Type 1

นางสาวหทัยวรรณ เหล่าวัลลภ

โครงการวิจัยอุตสาหกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2557

การลดปัญหางานเสียจากทรายใต้แบบของชิ้นส่วนปั๊ม
ผลิตจากเหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist Type 1

นางสาวหทัยวรรณ เหล่าวัลลภ วศ.บ. (วิศวกรรมวัสดุ)

โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัยอุตสาหกรรม

..... ประธานกรรมการ โครงการวิจัยอุตสาหกรรม
(ผศ. ดร. ไชยา คำคำ)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย
(ผศ. ดร. สมบุญ เจริญวิไลศิริ) อุตสาหกรรม

..... กรรมการ
(ดร. ศุภฤกษ์ บุญเทียร)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อ ครงงานวิจัย	การลดปัญหาทางานเสียจากทรายใส่แบบของชิ้นส่วนปั้มผลิตจากเหล็กหล่อ ธาตุผสมสูง Ni-Resist Type 1
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นางสาวหทัยวรรณ เหล่าวัลลภ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโลหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

ครงงานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาทางานเสียของโรงงานหล่อโลหะและพัฒนาคุณภาพของชิ้นงานเหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist type 1 ที่มีปริมาณนิกเกิลสูง (High Nickel) โดยให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาทรายใส่แบบแตกของชิ้นส่วนปั้มคู่น้ำมันดิบ ปัญหาทรายใส่แบบแตกมีสาเหตุหลักมาจากสมบัติของทราย ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน ความร้อนและความแข็งแรง ขณะที่ทรายได้รับความร้อนจากน้ำโลหะหลอมเหลว ทรายจะเกิดจากการหดหรือขยายตัว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเฟสของทรายซิลิกา ทำให้ใส่แบบแตกและน้ำโลหะเข้าแทรกในเนื้อทรายใส่แบบ และเกิดปัญหาเหล็กแทรกเข้าเนื้อทรายในที่สุด การทดลองนี้ใช้ทรายซิลิกาเคลือบเรซินทั้งหมด 5 ชนิด ดังนี้ ทรายธรรมชาติเคลือบเรซินชนิด A 2% โดยน้ำหนัก ทรายธรรมชาติเคลือบเรซินชนิด A 2.5% โดยน้ำหนัก ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม (Reclaimed sand) เคลือบเรซินชนิด B 2.0% โดยน้ำหนัก ทรายรีเคลมเคลือบเรซินชนิด B 2.5% โดยน้ำหนัก และทรายสังเคราะห์ (Cerabead) เคลือบเรซินชนิด A 2% โดยน้ำหนัก เพื่อผลิตทรายใส่แบบ และนำไปหล่อแบบที่อุณหภูมิควบคุม 1490°C - 1500°C และ 1510°C - 1520°C การทดลองทำให้ทราบว่าทรายสังเคราะห์สามารถลดปัญหาใส่แบบแตกได้ดีที่สุด รองลงมาคือทรายรีเคลม ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลมและทรายธรรมชาติ ตามลำดับแต่ทรายสังเคราะห์มีราคาสูง ในการผลิตจริงต้องคำนึงถึงแง่เศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย ดังนั้นทรายรีเคลมเคลือบเรซินชนิด B 2.5% โดยน้ำหนัก จึงเหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาใส่แบบแตกนี้

คำสำคัญ: เหล็กหล่อ / นิกเกิลสูง / เหล็กหล่อธาตุผสมสูง / ทรายใส่แบบ / ทรายซิลิกา / การขยายตัวทางความร้อน

Project Title	The Reduction on Sand Core Defect in Ni-Resist Type 1 Impeller Casting
Project Credits	6
Candidate	Miss Hataiwan Laowanlop
Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Sombun Charoenvilaisiri
Program	Master of Engineering
Field of Study	Metallurgical Engineering
Department	Production Engineering
Faculty	Engineering
Academic Year	2014

Abstract

This project was initiated for the purposes of solving the defect problems of foundry shop and developing the quality of Ni-Resist type 1 cast iron (High Ni). This project focused on solving sand core crack problem of Electric Submersible pump's part. The factors of silica sand core crack problem were properties of sand which were thermal expansion and sand's strength. When sand was heated from molten metal, sand would shrink or expand due to phase changing in silica sand. This caused sand core to crack and the molten metal flowed into the cracked sand core. In this study 5 types of resin coated sands were used to make sand core; natural sand with resin A 2% by wt, natural sand with resin A 2.5% by wt., natural sand and reclaimed sand with resin type B 2% by wt, reclaimed sand with resin type B 2.5% by wt., and artificial sand (Cerabead) with resin type A 2% by wt.

Then, sand core were heated by pouring molten metal at 1490°C -1500°C and 1510°C - 1520°C. The results showed that artificial sand was the best solution for reducing sand core crack problem followed by reclaimed sand, natural sand with reclaimed sand and natural sand, respectively. However, the price of artificial sand is higher than the reclaimed sand. Therefore, the reclaimed sand with resin type B 2.5% by wt. is the best choice for solving this problem in business condition.

Keywords: Cast Iron / High Nickel / High Alloys Casting / Sand Core / Silica Sand / Thermal Expansion

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยอุตสาหกรรมนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะกล่าวได้ทั้งหมด ผู้มีพระคุณท่านแรกที่ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคือ ผศ.ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ เสียสละเวลา และผลักดันจนทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในพระคุณท่านอย่างมาก ท่านที่สองคือ ผศ.ดร.ไชยา คำคำ ประธานกรรมการโครงการวิจัยและท่านที่สาม ดร.ศุภฤกษ์ บุญเทียร กรรมการสอบโครงการวิจัย ผู้ให้คำแนะนำและสละเวลา

ขอขอบพระคุณ Mr. Gordon Holland Mr. Darrell Brooks และคุณศรีไทย ศรีสายชล ผู้ให้ความอนุเคราะห์ให้โอกาสในการทำโครงการวิจัยกับบริษัทเบเกอร์ฮิวส์ เมนูเฟลคเจอร์ริง ประเทศไทย ขอขอบคุณคุณคุณฉัฐนิชา ออบเชย ผู้ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง ขอขอบคุณ Mr. Sun Chin Yuan ผู้ให้คำปรึกษา ขอขอบคุณพนักงานบริษัทเบเกอร์ฮิวส์ เมนูเฟลคเจอร์ริง ประเทศไทย ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจ ขอขอบคุณคุณชนะ เรืองรังสี คุณสรายุทธ ทองยอด ผู้ช่วยสืบค้นข้อมูลและแลกเปลี่ยนความรู้

นอกจากนี้ ขอขอบคุณคุณคุณฉัฐนิชา กาญจนฤทธาภรณ์ คุณอภิศักดิ์ ทองเสนห์ และเพื่อนร่วมชั้น รุ่น 8.5 สาขาวิศวกรรมโลหการ ผู้ให้คำปรึกษาและให้การช่วยเหลือตลอดการศึกษา ขอขอบพระคุณครอบครัวที่สนับสนุนในการศึกษาเป็นอย่างดี และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิศวกรรมโลหการทุกท่านที่อบรมสั่งสอนให้คำแนะนำมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฌ
รายการสัญลักษณ์	ฎ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฏ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
2. ทฤษฎี/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เหล็กหล่อ	4
2.1.1 ประเภทของเหล็กหล่อ	4
2.1.2 ลักษณะแกรไฟต์ในเหล็กหล่อสีเทา	11
2.2 เหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist	12
2.2.1 เหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์แผ่น	13
2.2.2 เหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์กลม	14
2.3 อิทธิพลของธาตุผสมในเหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist	15
2.4 สมบัติของเหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist	16
2.5 ปัญหางานหล่อ	17
2.5.1 น้ำโลหะแทรกเข้าเนื้อทราย	17

2.5.2	ไส้แบบเข็อน	17
2.5.3	รูพรุน	18
2.5.4	โพรงที่เกิดจากการหดตัว	19
2.5.5	น้ำโลหะเข้าไม่ถึง (Misrun) และน้ำโลหะแข็งปิดทาง (Cold Shut)	20
2.6	ทรายไส้แบบ	21
2.6.1	ส่วนประกอบหลักของทรายไส้แบบ	21
2.6.2	การทำทรายไส้แบบ	21
2.6.3	ชนิดของทรายสำหรับทำไส้แบบ	22
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
3.	การดำเนินงานวิจัย	28
3.1	การระบุปัญหา	28
3.1.1	การเลือกรุ่นงาน	28
3.1.2	เลือกปัญหางานเสีย	29
3.2	การวิเคราะห์หาสาเหตุ	31
3.2.1	การเก็บข้อมูลงานเสีย	31
3.2.2	การตัดชิ้นงาน	35
3.2.3	การวิเคราะห์สาเหตุ	36
3.3	การเตรียมการทดลอง	37
3.3.1	การเตรียมไส้แบบ	37
3.3.2	การเตรียมกระบวนการหล่อ	38
3.4	การทดลอง	40
3.4.1	การตรวจสอบสมบัติของทราย	40
3.4.2	การทดลองทรายไส้แบบ	41
4.	ผลการดำเนินงานวิจัย	43
4.1	ผลการตรวจสอบสมบัติของทราย	43
4.1.1	ผลการตรวจสอบรูปร่างของเม็ดทราย	43
4.1.2	ผลการตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของเม็ดทราย	44
4.1.3	ผลการตรวจสอบค่าการขยายตัวทางความร้อนของทราย	45

4.1.4	ผลการตรวจสอบค่าความแข็งแรงของทราย	46
4.2	ผลการทดลองทรายไส้แบบ	48
4.2.1	ผลการตรวจสอบขนาดไส้แบบตามแบบ	48
4.2.2	ผลการทดลองเปลี่ยนส่วนผสมและชนิดของทรายไส้แบบ	48
4.2.3	ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิการเท	50
4.2.4	การขยายผลนำไปใช้ในการผลิต	52
5.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	53
5.1	สรุปผลการทดลอง	53
5.2	ข้อเสนอแนะหรือข้อแนะนำเพื่อศึกษาเพิ่มเติม	54
	เอกสารอ้างอิง	55
	ประวัติผู้วิจัย	56

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์แผ่น (% โดยน้ำหนัก)	13
2.2	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์กลม (% โดยน้ำหนัก)	14
3.1	ตารางแจกแจงปัญหาของงานรุ่น 400D ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงสิงหาคม	30
3.2	รายละเอียดการทดลองเปลี่ยนส่วนผสมและชนิดของทราย	42
4.1	ค่ามาตรฐานเอเอฟเอสของทรายแต่ละชนิด	44
4.2	รายละเอียดและสมบัติของทรายแต่ละชนิด	46
4.3	ผลการทดลองทรายใส่แบบ อุณหภูมิการเท 1490 - 1500°C	48
4.4	ผลการทดลองทรายใส่แบบ อุณหภูมิการเท 1510 - 1520°C ครั้งที่ 1	50
4.5	ผลการทดลองทรายใส่แบบ อุณหภูมิการเท 1510 - 1520°C ครั้งที่ 2	51

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า	
2.1	โครงสร้างพื้นฐานและกระบวนการเกิดโครงสร้าง	5
2.2	โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อสีขาว ถ่ายที่กำลังขยาย 100 เท่า	6
2.3	โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อสีขาว ถ่ายที่กำลังขยาย 1000 เท่า	6
2.4	โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อสีเทา	7
2.5	โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม ถ่ายที่กำลังขยาย 100 เท่า	8
2.6	แกรไฟต์ตัวหนอนถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์	8
2.7	แกรไฟต์ตัวหนอนถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM)	9
2.8	โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่ออบเหนียว ถ่ายที่กำลังขยาย 100 เท่า	9
2.9	โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อเหนียวอสเทมเปอร์ ถ่ายที่กำลังขยาย 200 เท่า	10
2.10	การแบ่งประเภทของเหล็กหล่อธาตุผสมสูงหรือเหล็กหล่อพิเศษ	11
2.11	ลักษณะแกรไฟต์เหล็กหล่อสีเทา 5 แบบ	12
2.12	ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของแกรไฟต์แผ่นและคาร์ไบด์ในเนื้อพื้นอสเทนไนท์ (ซ้าย) และโครงสร้างจุลภาคของแกรไฟต์กลมและคาร์ไบด์ในเนื้อพื้นอสเทนไนท์ (ขวา)	13
2.13	พฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กหล่อใต้น้ำทะเล ความลึก 240 เมตร	16
2.14	ปัญหาน้ำโลหะแทรกเข้าในเนื้อไส้แบบ ชี้นงานเหล็กหล่อ Ni-Resist	17
2.15	ปัญหาไส้แบบเขี้ยว ชี้นงานเหล็กหล่อ Ni-Resist	18
2.16	ปัญหาทรูพูนบนชี้นงานเหล็กหล่อ Ni-Resist	19
2.17	ปัญหาโพรงหดตัวชี้นงานเหล็กหล่อ Ni-Resist	20
2.18	ปัญหาน้ำโลหะเข้าไม่ถึงของชี้นงานเหล็กหล่อ Ni-Resist	21
2.19	ระบบทางเดินน้ำโลหะของการทดลอง Step Cone Test	24
2.20	กราฟการขยายตัวของทรายซิลิกา	25
2.21	อุณหภูมิไส้แบบ ณ พื้นที่สัมผัส ขณะที่น้ำโลหะแข็งตัวที่ 25%	25
2.22	กราฟอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของทราย	26
2.23	แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของทรายซิลิกาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง Step Cone Test	27
3.1	ปริมาณการผลิตและมูลค่าของเสียของโรงงานในปี พ.ศ. 2556	28
3.2	ปัญหางานเสียของงานรุ่น 400D	29
3.3	ปัญหางานเสียของงานรุ่น 400D รายเดือน ตั้งแต่ มกราคมถึงสิงหาคม เป้าหมายและการคาดการณ์งานเสียในอนาคต	31

3.4	รูปตัวอย่างใบตรวจสอบและบันทึกลักษณะชิ้นงานเสีย	32
3.5	รูปตัวอย่างชิ้นงานก่อนตัดทางน้ำและตำแหน่งชิ้นงาน	33
3.6	รูปตัวอย่างชิ้นงานและตำแหน่งของช่องใบพัด	33
3.7	ตำแหน่งใส่แบบแตกบนชิ้นงาน	34
3.8	รูปเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานเสียจากปัญหาใส่แบบแตก (ซ้าย) และชิ้นงานปกติ (ขวา)	35
3.9	ผิวเหล็กบริเวณปกติและผิวเหล็กที่แทรกตรงรอยแตก	35
3.10	เครื่องฉีดทรายใส่แบบ	37
3.11	กระบวนการทำทรายใส่แบบ	38
3.12	กระบวนการหล่อ	39
3.13	สำหรับตรวจการขยายตัวทางความร้อนของทราย (Dilatometer)	40
3.14	เครื่องมือสำหรับวัดความแข็งแรงของทรายที่อุณหภูมิสูง	41
4.1	รูปขยายของเม็ดทรายแต่ละชนิด	43
4.2	การกระจายตัวของทรายแต่ละชนิด	44
4.3	ค่าการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของทรายแต่ละชนิด	45
4.4	ความแข็งแรงของทรายแต่ละชนิด	47
4.5	ผลการทดลองใส่แบบ อุณหภูมิการเท 1490 - 1500°C	49
4.6	ผลการทดลองทรายใส่แบบ อุณหภูมิการเท 1510 - 1520°C ครั้งที่ 1	50
4.7	ผลการทดลองทรายใส่แบบ อุณหภูมิการเท 1510 - 1520°C ครั้งที่ 2	51
4.8	งานเสียจากปัญหาใส่แบบแตกลดลงในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557	52

รายการสัญลักษณ์

cm.	=	เซนติเมตร
F	=	ฟาเรนไฮต์
°C	=	องศาเซลเซียส
%	=	ร้อยละ
γ	=	แกมมา
α	=	อัลฟา

ประมวลศัพท์และคำย่อ

Alloys Cast Iron	=	เหล็กหล่อผสม
Alpha Quartz	=	อัลฟาควอartz
Artificial Sand	=	ทรายสังเคราะห์
Aluminum	=	อลูมิเนียม
ASTM	=	American Society for Testing and Materials
Austempered Ductile Iron	=	เหล็กหล่อเหนียวออสเทมเปอร์
Beta Quartz	=	เบต้าควอartz
Carbide	=	คาร์ไบด์
Carbon	=	คาร์บอน
Cementile	=	ซีเมนต์ไคท์
Cerabead	=	ทรายสังเคราะห์ชนิดหนึ่ง
CNC	=	เครื่องกลึง
Cold shut	=	การเกิดรอยแหงที่ผิวงาน
Compacted Graphite	=	เหล็กหล่อแกรไฟต์ตัวหนอน
Computer Casting Simulation	=	การจำลองทางคอมพิวเตอร์
Cristobalite	=	คริสโตบาไลท์
Dilatometer	=	เครื่องมือชนิดหนึ่ง สำหรับตรวจการขยายตัวของทราย
Fe-Fe ₃ C	=	เหล็กและคาร์ไบด์
Fe-Gr	=	เหล็กและแกรไฟต์
Ferrite	=	เฟอร์ไรท์
Flakes	=	แผ่น
Graphite	=	แกรไฟต์
Gray Cast Iron	=	เหล็กหล่อแกรไฟต์สีเทา
Hot spot	=	จุดร้อน
Malleable Cast Iron	=	เหล็กหล่ออบเหนียว
Manganese	=	แมงกานีส
MAGMASoft	=	โปรแกรมแมกมา
Metastable	=	ระบบการแข็งตัวของน้ำโลหะแบบเมตาสเตเบิล
Misrun	=	น้ำโลหะเข้าไม่เต็มแบบ
Ni-Resist	=	เหล็กหล่อธาตุที่มีส่วนผสมของนิกเกิลสูง

Nodular Cast Iron	=	เหล็กหล่อเกรไฟต์กลม
Pearlite	=	เพิร์ลไลท์
Phosphorus	=	ฟอสฟอรัส
Reclaimed sand	=	ทรายรีเคลม
SEM	=	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning Electron Microscope
Silicon	=	ซิลิกอน
SiO ₂	=	ทรายซิลิกา
Special Cast Iron	=	เหล็กหล่อพิเศษ
Sulfur	=	ซัลเฟอร์
Solidification	=	การแข็งตัวของเหลวเป็นของแข็ง
Spheroidal Graphite Cast Iron	=	เหล็กหล่อเกรไฟต์กลม
Steel	=	เหล็กเหนียว
Steel Cast	=	เหล็กเหนียวหล่อ
Stable	=	ระบบการแข็งตัวของน้ำโลหะแบบสเตเบิล
Strain	=	ความเครียด
Strength	=	ความแข็งแรง
Tensile Failure	=	ความเสียหายจากแรงดึง
Tensile Strength	=	ความทนต่อการดึง
Thermodynamics	=	อุณหพลศาสตร์
Tridymite	=	ไตรคาไมท์
Veining	=	ครีป
White Cast Iron	=	เหล็กหล่อเกรไฟต์สีขาว

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมหล่อโลหะในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างมากเพื่อผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์รองรับให้ทันกับการเติบโตที่รวดเร็วของอุตสาหกรรมไฟฟ้า อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ซึ่งล้วนเป็นอุตสาหกรรมหลักที่ทำรายได้ให้กับประเทศและมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความต้องการชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ผลิตจากเหล็กหล่อธาตุผสมสูงหรือเหล็กหล่อพิเศษ ชนิด Ni-Resist type 1 ถูกใช้อย่างมากในการผลิตชิ้นส่วนปั๊มคูดน้ำมันดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ไม่เพียงแต่ในประเทศไทยเท่านั้น แต่ยังมีการส่งออกงานหล่อออกไปต่างประเทศอีกด้วย อย่างไรก็ตาม โรงงานยังคงประสบปัญหาทางด้านคุณภาพ ส่งผลให้ไม่สามารถได้ผลผลิตตามต้องการและเกิดความสูญเสียเปล่ากับงานเสียที่เกิดขึ้น

เหล็กหล่อธาตุผสมสูง ชนิด Ni-Resist type 1 มีความพิเศษ กว่าเหล็กหล่อธรรมดา คือมีการเติม निकิล และโลหะผสมชนิดอื่นตามที่มาตรฐานกำหนด ในปริมาณมากกว่าเหล็กหล่อธรรมดา เพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษเหมาะสมต่อการใช้งานในสถานะที่มีการกัดกร่อนและกัดเซาะ ในการผลิตเหล็กชนิดนี้ นอกจากควบคุมส่วนผสมทางเคมีให้ได้ตามมาตรฐานแล้ว การควบคุมกระบวนการหล่อและคุณภาพของทรายใส่แบบเป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน ปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานหล่อ ซึ่งโรงงานแต่ละแห่ง มีการปฏิบัติงานและควบคุมปัจจัยการผลิตที่ต่างกันออกไป

ดังนั้น การแก้ปัญหางานหล่อ จึงต้องมีการวิเคราะห์จากการผลิตจริง โดยเริ่มจากการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น เก็บข้อมูลการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการต่างๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหางานเสีย ใช้ความรู้ทางโลหะวิทยาแก้ไขปัญหา ทำการทดลองเทหล่อและสรุปผล

เนื่องจากความต้องการชิ้นงานเหล็กหล่อธาตุผสมสูง ชนิด Ni-Resist type 1 เพิ่มขึ้นอย่างมาก ปัญหางานเสียเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องแก้ไข แต่งานวิจัยที่เพื่อแก้ปัญหางานเสียของเหล็กหล่อชนิดนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่จะทำการแก้ไขปัญหางานหล่อในปัจจุบัน ลดปริมาณงานเสีย ลดค่าใช้จ่าย เพิ่มกำไรให้กับโรงงานและใช้เป็นแนวทางการแก้ปัญหางานในอนาคต เพื่อให้เกิดประโยชน์กับโรงงานและผู้สนใจอย่างแท้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อลดปริมาณงานเสียจากการหล่อเหล็กหล่อธาตุผสมสูง ชนิด Ni-Resist type 1 ลง 20% โดยปริมาณ จากเดิม
2. เพื่อเพิ่มผลผลิตและผลกำไรให้โรงงาน จากการลดปริมาณของเสียและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการแก้ไข
3. เพื่อศึกษาถึงปัญหาและสาเหตุของงานเสีย
4. เพื่อใช้เป็นแนวทางการแก้ปัญหาทางงานเสียและเพิ่มคุณภาพชิ้นงานหล่อในอนาคต

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาลักษณะของงานเสียที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนปั๊มผลิตจากเหล็กหล่อธาตุผสมสูง ชนิด Ni-Resist Type 1
2. ศึกษาการปัญหาจากทรายใส่แบบที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน
3. ให้แนวทางการแก้ไขปัญหางานเสียจากทรายใส่แบบ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. การรวบรวม สรุปรูปข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวกับกระบวนการหล่อและการผลิตใส่แบบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและทำการทดลอง
2. การรวบรวมและสรุปรูปข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับปัญหาของเหล็กหล่อธาตุผสมสูงในโรงงาน โดยเริ่มต้นเก็บข้อมูลใหม่อย่างถูกต้อง
3. ศึกษาความรู้และค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับงานหล่อเหล็กหล่อธาตุผสมสูงจากหนังสือและวารสารทางวิชาการ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และแก้ปัญหา
4. สรุปรูปผลที่ได้จากการวิจัยและเสนอแนะวิธีการควบคุมคุณภาพงานหล่อเพื่อป้องกันการเกิดปัญหา

1.5 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ลดปริมาณของเสียจากการหล่อลงอย่างน้อย 20% โดยปริมาณ จากเดิม
2. มีความเข้าใจกระบวนการผลิตเหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist Type 1
3. สามารถวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุของปัญหางานหล่อ
4. เพิ่มผลิตและผลกำไรให้กับโรงงาน จากการลดปริมาณของเสียและค่าลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการแก้ไข
5. ใช้เป็นแนวทางการแก้ปัญหางานเสียและเพิ่มคุณภาพชิ้นงานหล่อในอนาคต
6. ได้ประโยชน์จากการปฏิบัติงานจริง

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

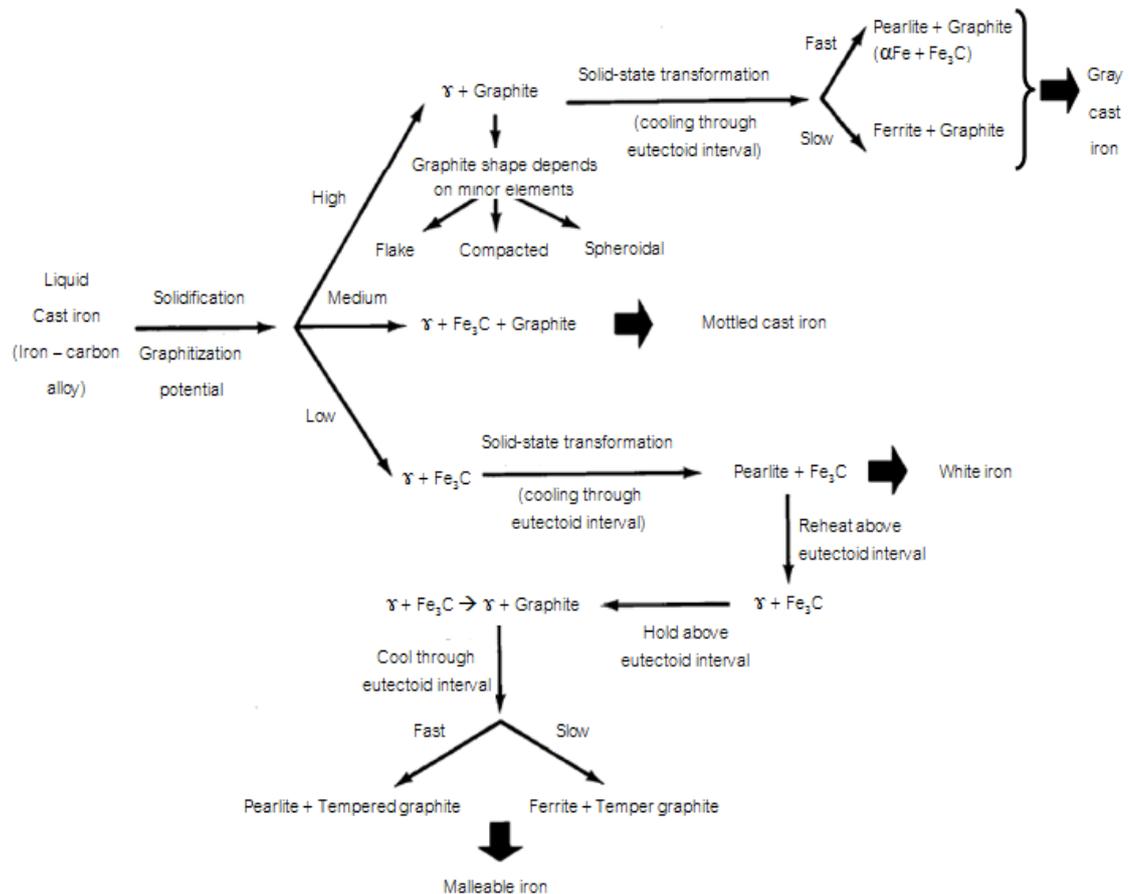
2.1 เหล็กหล่อ

เหล็กหล่อเป็นโลหะที่มีส่วนผสมหลักประกอบด้วยเหล็ก คาร์บอน (Carbon) ซิลิกอน (Silicon) แมงกานีส (Manganese) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) และซัลเฟอร์ (Sulfur) สิ่งที่ทำให้เหล็กหล่อต่างจากเหล็กเหนียว (Steel) คือ ปริมาณคาร์บอนและซิลิกอนของเหล็กหล่อมักจะมากกว่าเหล็กเหนียว โดยมีปริมาณคาร์บอน มากกว่า 2 % ของน้ำหนัก ปัจจุบันมีการเติมธาตุผสมต่างๆ เพื่อให้เหล็กหล่อมีสสมบัติดีขึ้น และเหมาะสมต่อการใช้งาน ทำให้เหล็กหล่อถูกพัฒนาและนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง [1]

2.1.1 ประเภทของเหล็กหล่อ

การแข็งตัว (Solidification) ของเหล็กหล่อเป็นไปตามกฎอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) มี 2 ระบบ คือ เมตาสเตเบิ้ล (Metastable) Fe-Fe₃C และสเตเบิ้ล (Stable) Fe-Gr โครงสร้างของเหล็กหล่อเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย ประกอบด้วย ความสามารถในการเกิดแกรไฟต์ (Graphite) และอัตราการเย็นตัว ความสามารถในการเกิดแกรไฟต์ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเกิดนิวเคลียสและส่วนผสมทางเคมี หากความสามารถในการเกิดแกรไฟต์มาก จะทำให้ได้โครงสร้างเหล็กและแกรไฟต์ แต่ถ้าความสามารถในการเกิดแกรไฟต์ต่ำ จะทำให้ได้โครงสร้างเหล็กและคาร์ไบด์ (Carbide) การเกิดโครงสร้างและกระบวนการตามที่กล่าวข้างต้น [1] แสดงในรูปที่ 2.1

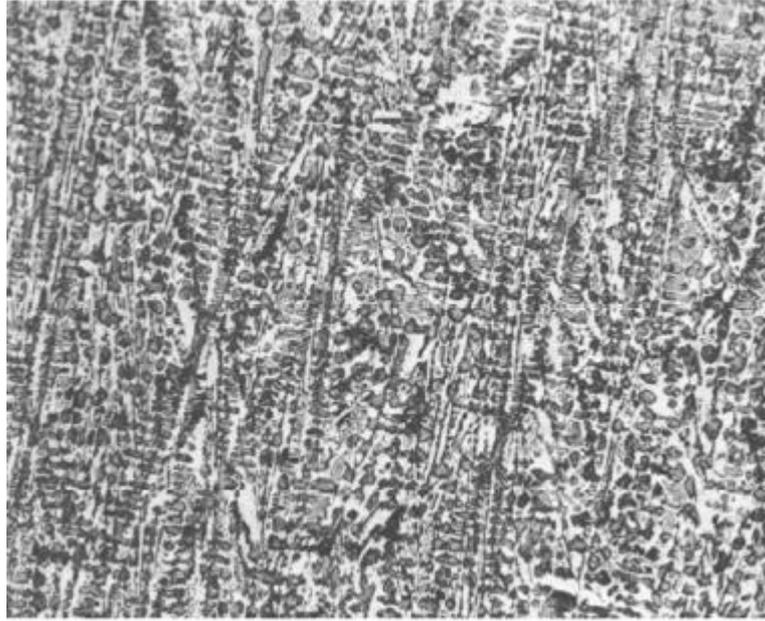
การแยกประเภทของเหล็กหล่อโดยทั่วไป สามารถแบ่งได้จากส่วนผสม การเย็นตัว การอบชุบหลังการหล่อ อัตราการเย็นตัว ธาตุที่ผสม การแยกประเภทตามโครงสร้างและการลักษณะรวมตัวของคาร์บอน เป็นวิธีที่นิยมที่สุด โดยแบ่งได้ 7 ประเภท ดังนี้ เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron) เหล็กหล่อสีเทา (Gray Cast Iron) เหล็กหล่อแกรไฟต์กลม (Spheroidal Graphite Cast Iron or Nodular Cast Iron) เหล็กหล่อแกรไฟต์ตัวหนอน (Compacted Graphite) เหล็กหล่ออบเหนียว (Malleable Cast Iron) เหล็กหล่อเหนียวออสเทมเปอร์ (Austempered Ductile Iron) และเหล็กหล่อผสมหรือเหล็กหล่อพิเศษ (Alloys or Special Cast Iron) [2, 3]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานและกระบวนการเกิดโครงสร้าง [1]

1. เหล็กหล่อสีขาว

เหล็กหล่อสีขาวมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอยู่ประมาณ 1.7 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป (โดยน้ำหนัก) มีเนื้อเหล็กเป็นสีขาว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสถานะหลอมเหลวเป็นสถานะของแข็งแบบเมตาสเทบิลทำให้คาร์บอนที่ผสมอยู่แทรกตัวรวมในเนื้อเหล็กอยู่ในรูปของเหล็กคาร์ไบด์หรือซีเมนไต์ (Cementite, Fe_3C) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3 โครงสร้างแบบนี้จะทำให้เหล็กมีสมบัติแข็ง เปราะ แตกหักง่าย การใช้งานส่วนมากมักนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนที่ต้องทนต่อการเสียดสีและไม่มีการกระแทกมาก เช่น ใบพัดเครื่องยิงทราย อุปกรณ์การบด งานเจียรนัยเพชร เป็นต้น [3]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างจุลภาคของเนื้อกล้ามเนื้อลาย ถ่ายที่กำลังขยาย 100 เท่า [1]



รูปที่ 2.3 โครงสร้างจุลภาคของเนื้อกล้ามเนื้อลาย ถ่ายที่กำลังขยาย 1000 เท่า [1]

2. เหล็กหล่อสีเทา

เหล็กหล่อสีเทามีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนประมาณ 2.5 – 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่คาร์บอนจะเกิดขึ้นเนื่องจากยื่นตัวแบบสเตเบิ้ล ทำให้คาร์บอนส่วนใหญ่แยกตัวออกมารวมกันในรูปของคาร์บอนบริสุทธิ์เป็นแผ่นหรือเกล็ด (Flakes) ซึ่งเรียกว่า แกรไฟต์ เมื่อนำไปตีหักจึงเห็นรอยหักเป็นสีเทา คาร์บอนยังมีเหลืออยู่ในรูปของสารประกอบในเนื้อเหล็กด้วย เหมือนเหล็กหล่อสีขาว เรียกว่า ซีเมนไต์ โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูปที่ 2.4

เหล็กหล่อชนิดนี้ยังมีส่วนผสมของธาตุอื่น สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ธาตุที่ช่วยให้เกิดแกรไฟต์ ได้แก่ ซิลิกอน ฟอสฟอรัส อลูมิเนียม (Aluminum) นิกเกิล ทองแดง และธาตุที่รวมตัวกับคาร์บอนเกิดเป็นคาร์ไบด์ ได้แก่ แมงกานีส โครเมียม ทั้งสแตน ธาตุกลุ่มหลังทำให้เกิดเป็นเหล็กหล่อเทาได้ยาก สมบัติของเหล็กหล่อเทา คือ ขึ้นรูปง่าย อัตราการขยายตัวน้อย มีความต้านทานแรงอัดและรับแรงสั่นได้ดี นิยมนำมาใช้ทำแท่นรองเครื่องจักร [3]



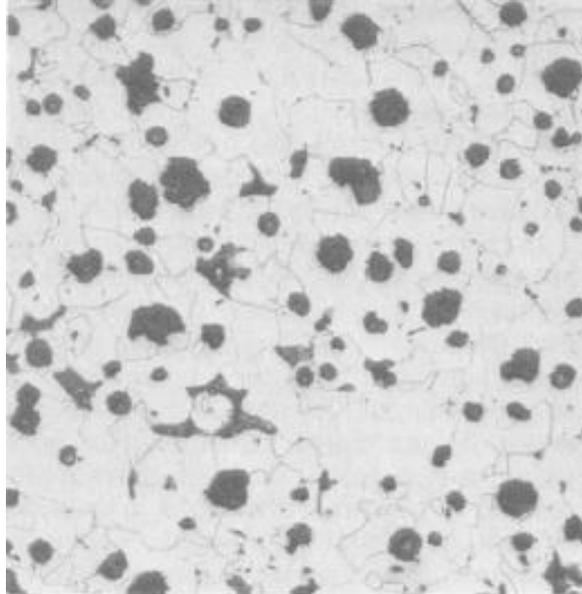
รูปที่ 2.4 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อสีเทา [1]

3. เหล็กหล่อกราไฟต์กลม

เหล็กชนิดนี้มีแกรไฟต์ตกลักษณะกลมตกลมผลึกในเนื้อของเหล็ก ซึ่งต่างจากเหล็กหล่อเทาที่มีกราไฟต์อยู่ในลักษณะเส้นยาว การเกิดแกรไฟต์กลมนี้เป็นผลมาจากการใช้ธาตุผสม แมกนีเซียมและนิกเกิลเติมลงในน้ำโลหะ โครงสร้างเนื้อพื้นของเหล็กหล่อแกรไฟต์กลมคือเฟอร์ไรท์ (Ferrite) และเพิร์ลไลท์ (Pearlite) โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูปที่ 2.5

สมบัติของเหล็กหล่อแกรไฟต์กลมคือเหนียวและสามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่าเหล็กหล่อสีเทา สามารถนำไปชุบแข็งได้ ความแข็งและความเปราะน้อยกว่าเหล็กหล่อสีเทา ทนการสึกหรอ ทนความ

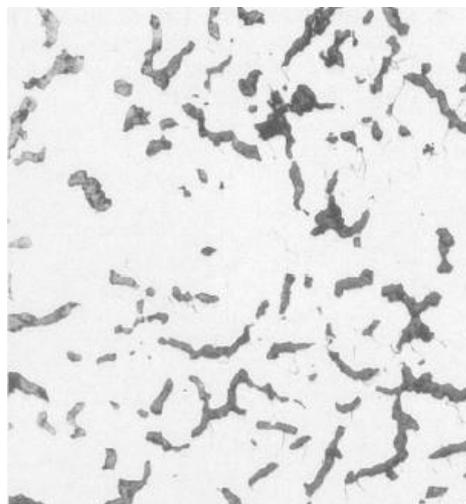
ร้อน สามารถนำไปตีขึ้นรูปได้และสามารถรับแรงกระแทกได้ดี มักนิยมนำไปใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เครื่องมือการเกษตร ท่อส่งน้ำ โครงสร้างเครื่องจักรขนาดใหญ่ [3]



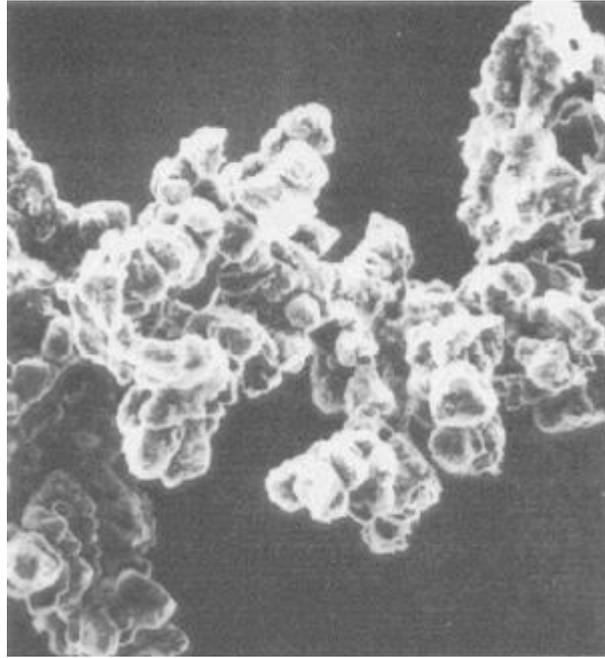
รูปที่ 2.5 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม [1]

4. เหล็กหล่อแกรไฟต์ตัวหนอน

โครงสร้างของเหล็กหล่อแกรไฟต์ตัวหนอน คือ แกรไฟต์มีลักษณะเป็นตัวหนอน แตกต่างจากเหล็กหล่อแกรไฟต์กลมเพียงลักษณะของแกรไฟต์เท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 เหล็กชนิดนี้มี ความต้านทานแรงดึงได้ดีกว่าเหล็กหล่อสีเทาแต่ความเหนียวจะน้อยกว่าเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม นิยม ใช้ทำเฟือง คุมเบรก ท่อไอเสีย [3]



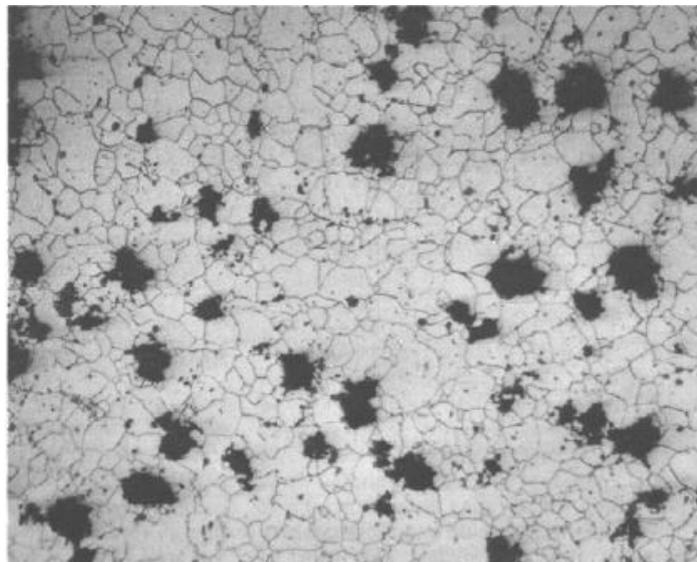
รูปที่ 2.6 แกรไฟต์ตัวหนอนถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ [1]



รูปที่ 2.7 แกรไฟต์ตัวหนอนถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) [1]

5. เหล็กหล่ออบเหนียว

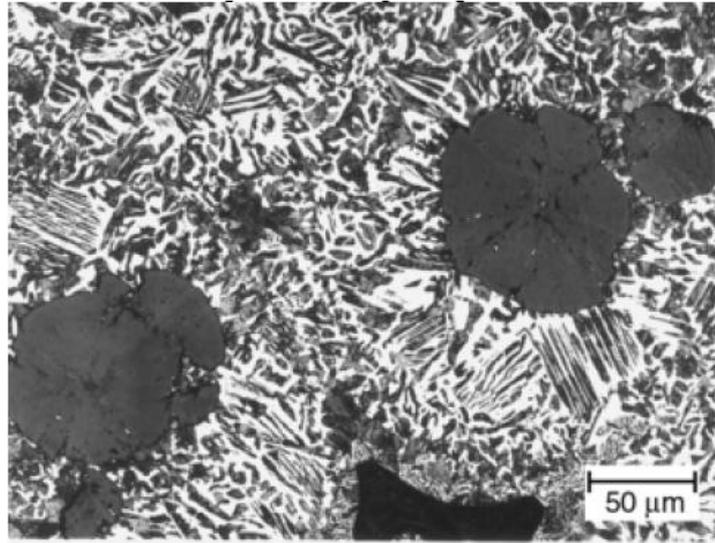
เหล็กหล่ออบเหนียวทำมาจากเหล็กหล่อสีขาว นำมาอบด้วยความร้อน จนซีเมนต์ไต์เกิดการแตกตัว แยกออกมาเป็นออสเทนไนต์และแกรไฟต์ และควบคุมการเย็นตัว จะทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลง มีสมบัติการทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่าเหล็กหล่อสีเทา มีความเค้นแรงดึงสูงสุดสูงกว่าเหล็กหล่อสีเทา และสีขาว แต่ต่ำกว่าเหล็กหล่อแกรไฟต์กลมเล็กน้อย สมบัติคล้ายเหล็กกล้า สามารถเปลี่ยนแปลงความเหนียวและความแข็งได้จากการทำอบชุบด้วยความร้อน [3] โครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่ออบเหนียว ถ่ายที่กำลังขยาย 100 เท่า [1]

6. เหล็กหล่อเหนียวออสเทมเปอร์

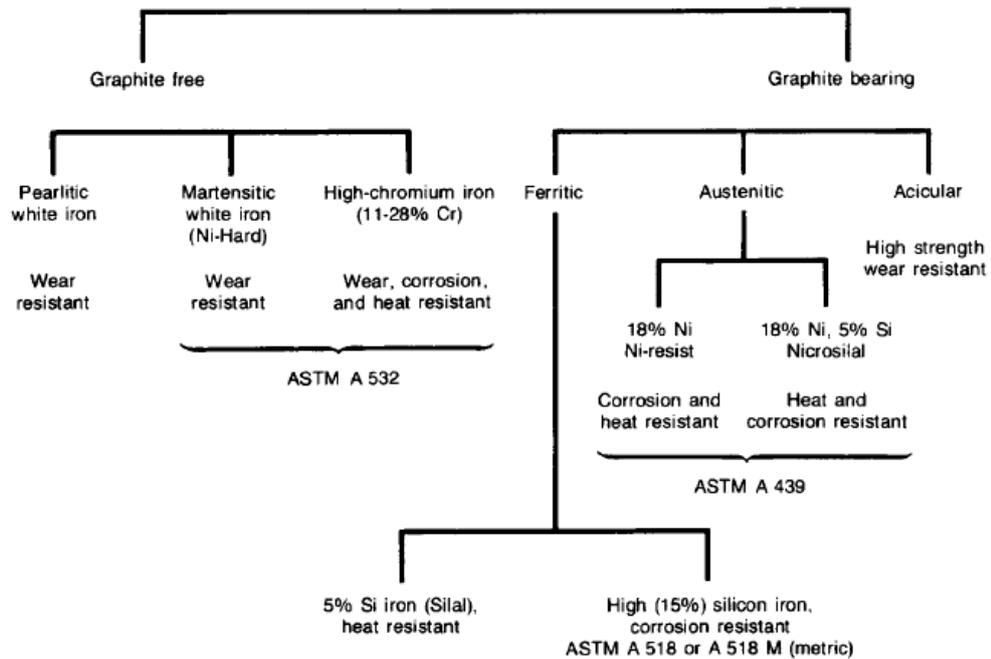
เหล็กหล่อหล่อชนิดนี้เป็นการนำเหล็กหล่อเกรไฟต์กลมมาผ่านกระบวนการออสเทมเปอร์ริง (Austempering) ทำให้โครงสร้างเนื้อพื้นกลายเป็นเบนไนท์ (Bainite) เหล็กหล่อเหนียวออสเทมเปอร์ จึงมีความแข็งสูงมาก เทียบเท่าได้กับเหล็กเหนียวหล่อ [2] ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อเหนียวออสเทมเปอร์ [1]

7. เหล็กหล่อธาตุผสมสูงหรือเหล็กหล่อพิเศษ

การผลิตเหล็กหล่อธาตุผสมสูงหรือเหล็กหล่อพิเศษมีความแตกต่างจากเหล็กหล่อทั่วไป คือ มีการเติมธาตุผสมในปริมาณมากกว่า 3% (โดยน้ำหนัก) เพื่อเพิ่มสมบัติพิเศษให้เป็นที่ไปตามต้องการ เช่น เหล็กหล่อผสมทนความร้อนสูง เหล็กหล่อผสมทนการเสียดสีสูง เหล็กหล่อผสมทนต่อการกัดกร่อน การแบ่งประเภทของเหล็กหล่อพิเศษ แสดงในรูปที่ 2.10

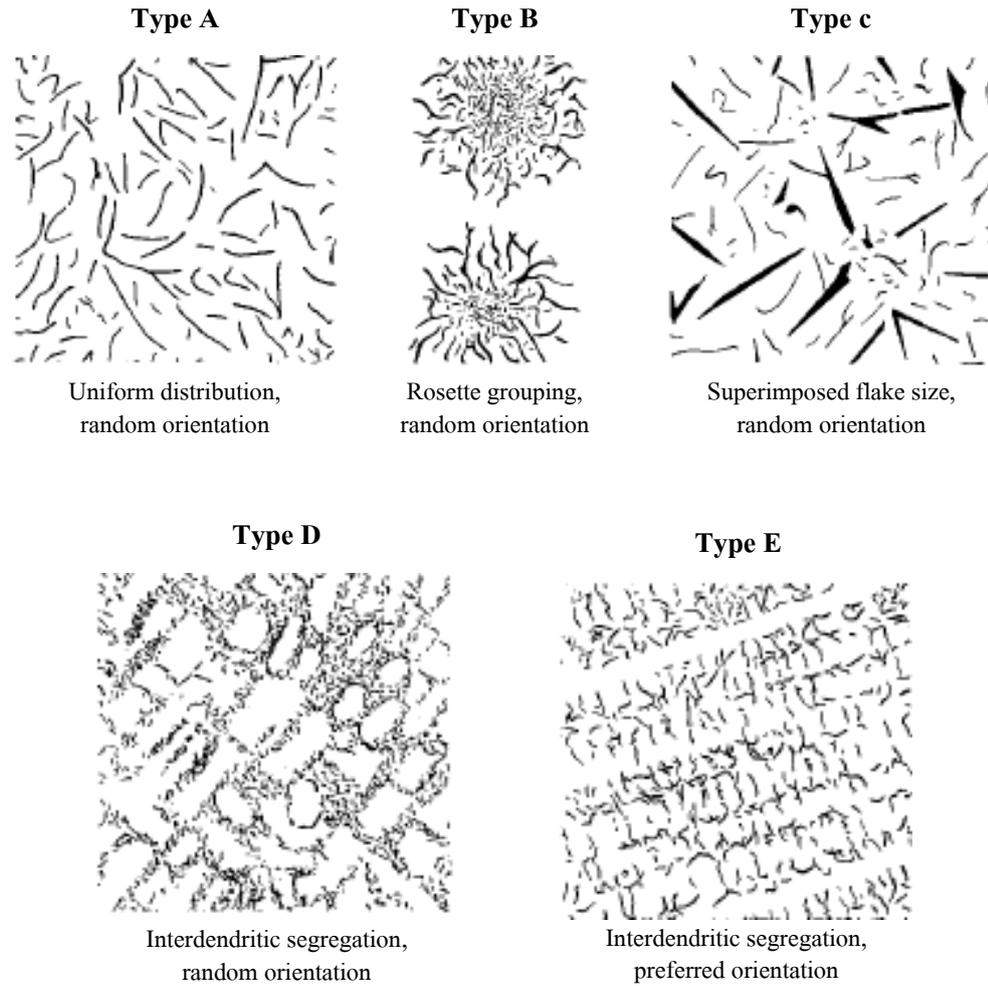


รูปที่ 2.10 การแบ่งประเภทของเหล็กหล่อธาตุผสมสูงหรือเหล็กหล่อพิเศษ [1]

2.1.2 ลักษณะแกรไฟต์ในเหล็กหล่อสีเทา

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อสีเทา ประกอบด้วยเนื้อพื้นเฟอร์ไรต์ไลต์และแกรไฟต์เกล็ด อัตราการเย็นตัวเป็นเรื่องสำคัญต่อปริมาณ ขนาด และการกระจายตัวของแกรไฟต์ หากอัตราการเย็นตัวเร็วมาก จะทำให้คาร์บอนเกิดเป็นคาร์ไบด์จำนวนมาก หากอัตราการเย็นตัวอยู่ในระดับปานกลาง คาร์บอนจะเกิดได้ใน 2 รูปแบบ คือ คาร์ไบด์และแกรไฟต์ หากอัตราการเย็นตัวช้ามาก เพราะปริมาณซิลิกอนและคาร์บอนมาก จะทำให้เกิดโครงสร้างเฟอร์ไรต์และเฟอร์ไรต์ไลต์ที่เนื้อพื้นและแกรไฟต์เกล็ดแบบหยาบ

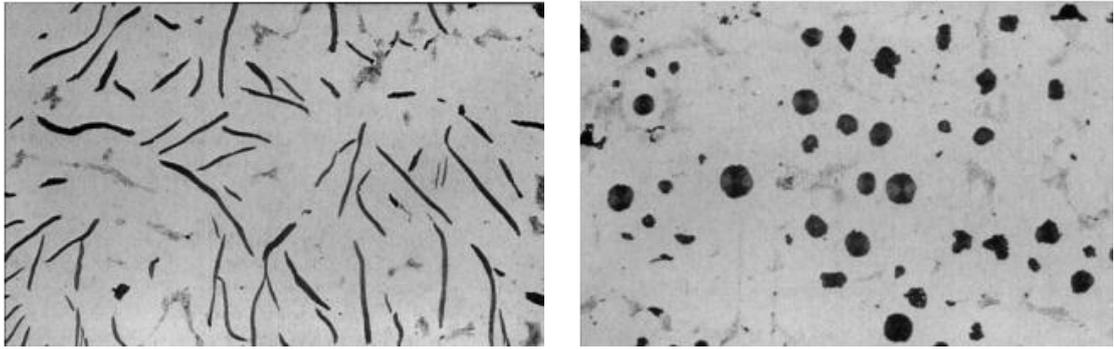
ลักษณะแกรไฟต์ในเหล็กหล่อสีเทา แบ่งได้ 5 แบบ กำหนดเป็นตัวอักษร A ถึง E ดังรูปที่ 2.11 แกรไฟต์แบบ A เกล็ดแกรไฟต์กระจายสม่ำเสมอเป็นรูปแบบที่ต้องการ แบบ B เกล็ดแกรไฟต์คล้ายดอกกุหลาบ เกิดจากการเย็นตัวอย่างฉับพลัน มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ แบบ C เกล็ดแกรไฟต์ทับกัน มีความต้านทานแรงดึงต่ำแต่ความสามารถในการกลึงดี แบบ D เกล็ดแกรไฟต์เป็นกลุ่มคล้ายกิ่งไม้ เนื้อพื้นเป็นเฟอร์ไรต์ทำให้ความแข็งแรงต่ำ แบบ E เกล็ดแกรไฟต์เป็นกลุ่มคล้ายกิ่งไม้แต่มีการกระจายตัวมากกว่าแบบ D ทั้งแบบ D และ E ทำให้เหล็กเปราะและแตกหักง่าย [1]



รูปที่ 2.11 ลักษณะแกรไฟต์เหล็กหล่อสีเทา 5 แบบ [1]

2.2 เหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist

เหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist เป็นเหล็กหล่อที่มีธาตุ निकิลผสมอยู่เพียงพอที่จะทำให้โครงสร้างเนื้อพื้นเป็นอสเทนไนท์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม จากลักษณะรูปร่างของแกรไฟต์ คือ แกรไฟต์แผ่นและแกรไฟต์กลม เหล็กหล่อ Ni-Resist มีสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนและทนต่อความร้อน ลักษณะพิเศษของเหล็กหล่อทั้ง 2 กลุ่ม เป็นอิทธิพลของธาตุผสมที่เติมเข้าไป โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อแกรไฟต์แผ่นและเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของแกรไฟต์แผ่นและคาร์ไบด์ในเนื้อพื้นออสเทนไนท์ (ซ้าย) และโครงสร้างจุลภาคของแกรไฟต์กลมและคาร์ไบด์ในเนื้อพื้นออสเทนไนท์ (ขวา) [4]

2.2.1 เหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์แผ่น (Flake Graphite Alloys)

เหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์แผ่นสามารถแบ่งได้ 10 ชนิด มีส่วนผสมทางเคมีต่างกัันดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์แผ่น (% โดยน้ำหนัก) [4]

ชื่อทั่วไป	ASTM A436-84	ส่วนผสมทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)						
		Ni	Cr	Si	Cu	Mn	C max	Other
NiMn 13 7	-	12-14	2 max	1.5-3	-	6-7	3	-
Ni-Resist 1	Type 1	13.5-17.5	1.5-2.5	1-2.8	5.5-7.5	0.5-1.5	3	-
Ni-Resist 1b	Type 1 b	13.5-17.5	2.5-3.5	1-2.8	5.5-7.5	0.5-1.5	3	-
Ni-Resist 2	Type 2	18-22	1.5-2.5	1-2.8	.5 max	0.5-1.5	3	-
Ni-Resist 2b	Type 2b	18-22	3-6	1-2.8	5 max	0.5-1.5	3	-
Nicrosilal	-	18-22	1.5-4.5	3.5-5.5	-	0.5-1.5	2.5	-
Ni-Resist 3	Type 3	28-32	2.5-3.5	1-2	.5 max	0.5-1.5	2.6	-
Ni-Resist 4	Type 4	29-22	4.5-5.5	5-6	.5 max	0.5-1.5	2.6	-
Ni-Resist 5	Type 5	34-36	.1 max	1-2	.5 max	0.5-1.5	2.4	-
Ni-Resist 6	Type 6	18-22	1-2	1.5-2.5	3.5-5.5	0.5-1.5	3	1 Mo

สมบัติเด่นของเหล็ก Ni-Resist แกรไฟต์แผ่นแต่ละชนิด

Ni-Resist Type 1 มีความต้านทานการกัดกร่อนและต้านทานการสึกหรอ

Ni-Resist Type 1b สมบัติคล้าย Ni-Resist Type 1 แต่ความต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่า ปริมาณโครเมียมที่สูงกว่า ทำให้เหล็กชนิดนี้ แข็งแรงมากกว่า

Ni-Resist Type 2 มีปริมาณนิกเกิลสูงกว่า ทำให้มีสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่าในสภาวะต่าง

Ni-Resist Type 2b มีความแข็งแรง ทนการกัดกร่อน ทนการเสียดสี

Nicrosilal มีความต้านทานการกัดกร่อนในกรดซัลฟิวริกเจือจาง นิยมใช้ทำปั๊ม วาล์ว

Ni-Resist 3 มีความต้านทานการกัดกร่อนในสภาวะที่มีไอหรือเป็นของเหลวที่สามารถกัดกร่อนได้

Ni-Resist 4 มีความต้านทานการยึดตัวได้อย่างดีเยี่ยม

Ni-Resist 5 มีการขยายตัวต่ำที่สุด นิยมนำไปทำเครื่องมือ

Ni-Resist 6 เป็นชนิดที่ไม่ได้ใช้ทั่วไป ใช้ทำปั๊มและวาล์วที่ใช้งานในสภาวะกัดกร่อน

2.2.2 เหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์กลม

เหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์กลม สามารถแบ่งได้ 14 ชนิด มีส่วนผสมทางเคมีต่างกันดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์กลม (% โดยน้ำหนัก) [4]

ชื่อทั่วไป	ASTM A439-83 A571-84	ส่วนผสมทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)						
		Ni	Cr	Si	Cu	Mn	C max	Other
NiResist D-2	Type D-2	18-22	1.75- 2.75	1-3	.5 max	.7-1.25	3	-
NiResist D-2W	-	18-22	1.5-2.2	1.5-2-2	.5 max	.5-1.5	3	.12- 20Nb
NiResist D-2B	Type D-2B	18-22	2.75-4	1.5-3	.5 max	.7-1.25	3	-
Nicrosilal Spheronic	-	18-22	1-2.5	4.5-5.5	.5 max	.5-1.5	3	-
NiResist D-2C	Type D-2C	21-24	0.5max	1-3	.5 max	1.8-2.4	2.9	-
NiResist D-2M	Type D-2M	22-24	0.2max	1.5-2.5	.5 max	3.75-4.5	2.6	-
NiResist D-3A	Type D-3A	28-32	1-1.5	1-2.8	.5 max	1 max	2.6	-
NiResist D-3	Type D-3	28-32	2.5-3.5	1-2.8	.5 max	1 max	2.6	-
NiResist D-4A	-	29-32	1.5-2.5	4-6	.5 max	.5-1.5	2.6	-
NiResist D-4	Type D-4	0-32	4.5-5.5	5-6	.5 max	1 max	2.6	-
NiResist D-5	Type D-5	0-36	0.1max	1-2.8	.5 max	1 max	2.4	-
NiResist D-5B	Type D-5B	34-36	2-3	1-2.8	.5 max	1 max	2.4	-
NiResist D-5S	Type D-5S	34-37	1.15- 2.25	4.9-5.5	.5 max	1 max	2.3	-
NiResist D-6	-	12-14	0.2	2-3	.5 max	6-7	3	-

สมบัติเด่นของเหล็ก Ni-Resist แกรไฟต์กลมแต่ละชนิด

Ni-Resist D-2 มีความต้านทานการกัดกร่อน กัดเซาะและเสียดสี สามารถใช้งานได้ถึงอุณหภูมิ 760 °C

Ni-Resist D-2W มีคุณสมบัติเหมือน D-2 แต่มีความสามารถในการเชื่อมมากกว่า

NiResist D-2B มีปริมาณ โครเมียมสูง ทำให้ต้านทานการกัดกร่อนและกัดเซาะได้ดีกว่า D-2

Nicrosilal Spheronic ถูกพัฒนาให้สามารถต้านทานการกัดกร่อนในกรดซัลฟูริกเจือจาง

NiResist D-2C นิยมนำไปทำปั๊ม วาล์ว มีความต้านทานการกัดกร่อนในสถานะที่เป็นไอ

NiResist D-2M สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ถึง -170 °C

NiResist D-3A ต้านทานการสึกหรอ มีการขยายตัวจากความร้อนอยู่ในระดับปานกลาง

NiResist D-3 มีความต้านทานการกัดกร่อนในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ต้านทานการกัดเซาะได้ดีเยี่ยมในสถานะไอและเกลือ

NiResist D-4A มีความต้านทานการกัดกร่อนดีมาก

NiResist D-4 มีความต้านทานการกัดกร่อน กัดเซาะ และทนความร้อน

NiResist D-5 มีการขยายตัวเมื่อโดนความร้อนต่ำ

NiResist D-5B การขยายตัวเมื่อโดนความร้อนต่ำ ทนความร้อน ทนการกัดกร่อน

NiResist D-5S มีความสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้

NiResist D-6 แม่เหล็กดูดไม่ติด สมบัติทางกายภาพดี

2.3 อิทธิพลของธาตุผสมในเหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist

ธาตุผสมแต่ละชนิดที่เติมในเหล็กหล่อ Ni-Resist จะมีอิทธิพลต่อโครงสร้างและสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ดังต่อไปนี้

1. คาร์บอน เป็นธาตุหลักเหล็กหล่อทุกชนิด คาร์บอนปริมาณสูงจะไปลดอุณหภูมิการแข็งตัว (Solidification Temperature) ช่วยปรับปรุงพฤติกรรมการหลอมเหลวและการเท ปริมาณคาร์บอนที่น้อย ทำให้เกิดคาร์ไบด์น้อยแต่ทำให้ความแข็งแรง (Strength) และความเหนียว (Toughness) มากขึ้น
2. ซิลิกอน เป็นธาตุอีกธาตุหนึ่งที่มีอยู่ในเหล็กหล่อเสมอ ซิลิกอนจะช่วยเรื่องการไหลของน้ำโลหะหลอมเหลว เป็นผลดีกับขึ้นงานหล่อโดยเฉพาะบริเวณที่มีความบาง นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงด้วย (High Temperature Corrosion Resistance) ซิลิกอนจะทำให้การเกิดคาร์ไบด์ลดลง
3. นิกเกิล เป็นธาตุที่กำหนดสมบัติพิเศษของเหล็กหล่อ Ni-Resist โดยเป็นธาตุพื้นฐานสำหรับรักษาสภาพโครงสร้างออสเทนไนท์และทำให้เกิดสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนและความต้านทานการเกิดออกซิเดชัน

4. โครเมียม มีส่วนช่วยในเรื่องการปรับปรุงความแข็งแรงและปรับปรุงความต้านทานการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น และยังทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความต้านทานการขูดขีด (Wear) และต้านทานการกัดกร่อนและกัดเซาะ (Corrosion/Erosion) โครเมียมเป็นตัวลดความเหนียว (Ductility) เนื่องจากทำให้เกิดคาร์ไบด์แข็งในปริมาณสูง โครเมียมที่สูงขึ้น ทำให้มีแนวโน้มของการเกิดรูพรุนในเนื้องานหล่อ (Micro-porosity) สูงขึ้นด้วย
5. คอปเปอร์ ช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนในสภาวะความเป็นกรดอ่อนๆ
6. แมงกานีส เป็นธาตุที่ไม่ช่วยในเรื่องความต้านทานการกัดกร่อน ความทนความร้อนสูงหรือสมบัติทางกล แต่อย่างไรก็ตาม แมงกานีสเป็นตัวช่วยทำให้ออสเทนไนต์เสถียร
7. แมกนีเซียม เป็นธาตุสำคัญที่ใช้เติมลงไปในเบ้าเท (Ladle) ทำให้เกิดแกรไฟต์กลม ใช้สำหรับทำเหล็กหล่อ Ni-Resist แกรไฟต์กลม [4]

2.4 สมบัติของเหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist

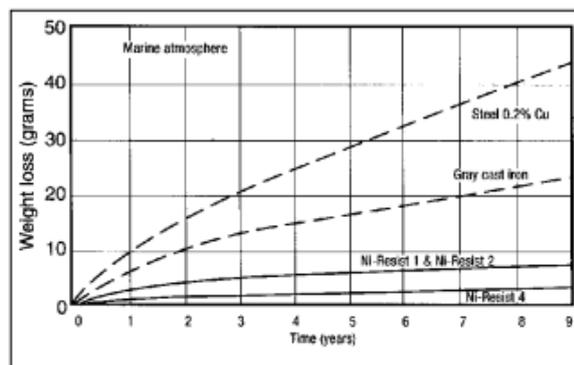
สมบัติของเหล็กหล่อธาตุผสมสูง Ni-Resist บางประการที่น่าสนใจ

สมบัติทางกล

- ความทนต่อการดึง (Tensile Strength) ขึ้นอยู่กับขนาด จำนวน และการกระจายตัวของแกรไฟต์ และสามารถเพิ่มความแข็งแรงได้จากลดคาร์บอนและซิลิกอน และเพิ่มโครเมียม
- ความทนต่อการกระแทก (Impact Strength) Ni Resist ชนิดแผ่นแกรไฟต์มีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กหล่อสีเทาธรรมดา

ความต้านทานการกัดกร่อนในสภาวะพิเศษ

- สภาวะใต้น้ำทะเล Ni-Resist มีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่าโลหะชนิดอื่น [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 พฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กหล่อใต้น้ำทะเล ความลึก 240 เมตร [4]

2.5 ปัญหางานหล่อ

2.5.1 น้ำโลหะแทรกเข้าเนื้อทราย

ลักษณะการเกิดปัญหาน้ำโลหะแทรกเข้าเนื้อทราย จะเกิดเมื่อน้ำโลหะหลอมเหลวแทรกเข้าไปในเนื้อทรายของแบบหล่อ หรือผิวของไส้แบบ มักจะเกิดกับส่วนที่สัมผัสกับอุณหภูมิสูง เช่น ส่วนมุมแหลมหรือเกิดกับไส้แบบที่มีขนาดเล็กหรือบาง [5] ดังแสดงในรูปที่ 2.14

วิธีการแก้ไข

- ใช้ทรายที่ทนความร้อนสูง
- ผสมเหล็กออกไซด์เข้ากับทราย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของทรายเมื่อโดนความร้อน
- กระทุ้งแบบทรายให้แน่น
- ใช้ทรายที่มีการกระจายของขนาดเม็ดกว้าง



รูปที่ 2.14 ปัญหาน้ำโลหะแทรกเข้าในเนื้อไส้แบบ ชิ้นงานเหล็กหล่อ Ni-Resist

2.5.2 ไส้แบบเขยื้อน

เกิดขึ้นจากไส้แบบถูกคั่นให้ลอยขึ้นโดยน้ำโลหะ ทำให้ผนังของชิ้นงานด้านบนบางหรืออาจจะโหว่ในบางกรณี ดังแสดงในรูปที่ 2.15

วิธีการแก้ไข

- ต้องคำนวณดูว่าป้าไส้แบบและตัวไส้แบบมีความแข็งแรงพอที่จะทนแรงลอยตัวได้หรือไม่ อาจเสริมไส้แบบด้วยเหล็กหรือทำให้ป้าไส้แบบแข็งแรงมากขึ้น
- ต้องยึดป้าไส้แบบกับแบบหล่อให้แน่นพอ
- สำหรับชิ้นงานหล่อขนาดใหญ่ ไส้แบบต้องรับแรงลอยตัวได้สูง จะต้องใช้หมุดปักยึดไว้จำนวนมาก [5]



รูปที่ 2.15 ปัญหาไส้แบบเขยื้อน ชิ้นงานเหล็กหล่อ Ni-Resist

2.5.3 รูพรุน

รูพรุนเป็นปัญหาที่พบบ่อยที่สุดในงานหล่อ รูพรุนที่เกิดอาจมีลักษณะที่ต่างกัน อาจเกิดที่ผิวงานหรืออาจเป็นโพรงภายใน มักเป็นโพรงกลมอยู่ใต้ผิวเล็กน้อย อาจมีสีที่ต่างกัน ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ในกรณีที่ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เหล็กหล่อจะเป็นสีดำ ลักษณะงานเสียแบบรูพรุนแสดงในรูปที่ 2.16

สาเหตุการเกิด แบ่งออกได้ 2 กลุ่มใหญ่ คือ เกิดจากแก๊สจากน้ำโลหะและเกิดจากแก๊สจากแบบหล่อ

- การหลอมเหลวมีการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน
- ปากเตาไม่แห้งพอ
- อุณหภูมิเตาต่ำ
- เเท้ชา
- แอ่งรับน้ำโลหะในระบบหล่อและระบบรูเข้าเป็ยก
- การปล่อยซึมของแบบหล่อไม่มากพอ
- แบบหล่อไม่แห้งพอ
- ความดันน้ำโลหะต่ำ

วิธีการแก้ไข

- รูพรุนมักเกิดขึ้นถ้าอุณหภูมิเตาต่ำ หรือเมื่อตำแหน่งของรูเทไม่เหมาะสม หรือใช้เวลานานเกินไป จึงต้องวางรูเทให้ถูกต้องและเทที่อุณหภูมิสูงพอและเทอย่างรวดเร็ว
- กรณีที่ไส้แบบปล่อยแก๊สออกได้ไม่มากพอ เพราะมีน้ำโลหะหุ้มไส้แบบไว้เกือบหมด ต้องทำรูให้แก๊สออกทางบ่าไส้แบบ
- ถ้าระดับน้ำโลหะในรูเตต่ำเกินไป ความดันของน้ำโลหะจะต่ำกว่าความดันของแก๊สในระบบหล่อ ต้องจัดให้มีความดันของน้ำโลหะสูงและเทอย่างรวดเร็ว [5]



รูปที่ 2.16 ปัญหาพูนบนชิ้นงานเหล็กหล่อ Ni-Resist

2.5.4 โพรงที่เกิดจากการหดตัว

ลักษณะโพรงที่เกิดจากการหดตัวเกิดจากการหดตัวของโลหะเมื่อแข็งตัว ภายในโพรงประกอบด้วยผลึกรูปกิ่งไม้ สาเหตุส่วนใหญ่มาจากการเกิดการเย็นตัวที่ไม่พร้อมกัน มักเกิดที่บริเวณที่แข็งตัวที่สุด เหล็กหล่อจะมีการหดตัวโดยเฉลี่ย 2% ของขนาด เมื่อแข็งตัว แต่จะขยายตัวเมื่อหนามากและจะกลับไปหดตัวถ้าหนาน้อย เหล็กหล่อที่มีคาร์บอน 3.4% โดยน้ำหนัก จะขยายตัวเมื่อแข็ง ถ้าความหนาเท่ากับ 25 มิลลิเมตร แต่ถ้าคาร์บอนต่ำจะกลายเป็นหดตัว ที่ความหนาเท่ากันนี้การใช้แบบหล่อทรายเปียก เหล็กหล่อจะตัวเมื่อแข็ง ดังรูปที่ 2.17

สาเหตุ

- อุณหภูมิเตต่ำเกินไป ทำให้รูสั่นแข็งตัวเร็ว จึงป้อนโลหะยาก
- ความสูงของรูสั่นน้อยเกินไป หรือเมื่อเทไม่ได้เพื่อให้มีโลหะในรูสั่นมากพอ
- วัสดุที่ใช้บรรจุเข้าเตามีสนิมและสิ่งเจือปนที่ไม่บริสุทธิ์
- การออกแบบรูสั่น ไม่ดีกับออกซิเจน
- น้ำโลหะทำปฏิกิริยากับออกทำให้หดตัวมากเมื่อแข็ง
- คอของรูสั่นเล็กไป
- ตำแหน่งของรูสั่น ไม่เหมาะสม ระยะที่ป้อนน้ำโลหะสูงเกินไป
- แบบหล่อทรายมีมุมแหลมและใส่แบบทำด้วยทรายที่บางและถูกล้อมรอบด้วยน้ำโลหะ ที่จุดดังกล่าวจะร้อนมากทำให้เป็นจุดร้อน (Hot spot) ทำให้เกิดโพรงเนื่องจากการหดตัว
- รูสั่นป้อนน้ำโลหะยากเพราะมีการเปลี่ยนแปลงความหนาอย่างกะทันหัน
- ชิ้นงานหล่อมีมุมแหลมเกินไป หรือส่วนที่ยื่นออกมามีขนาดเล็กมากเกินไป

วิธีการแก้ไข

- ต้องมีการจัดลำดับการแข็งตัวก่อนหลัง ให้เป็นไปทางที่รูสั่นทำงานได้ผลดีที่สุด ส่วนที่รับน้ำโลหะเข้าก่อนจะมีอุณหภูมิต่ำสุด และส่วนที่เต็มหลังสุดจะมีอุณหภูมิสูงสุด การวางรูสั่นไว้ส่วนที่เต็มหลังสุดเป็นเรื่องที่สำคัญ
- การใช้หุ่นเย็นบังคับให้น้ำโลหะแข็งตัวก่อนหรือหลังตามต้องการ ทำให้รูสั่นทำงานได้ดีขึ้น [5]



รูปที่ 2.17 ปัญหาโพรงหดตัวชิ้นงานเหล็กหล่อ Ni-Resist

2.5.5 น้ำโลหะเข้าไม่ถึง (Misrun) และน้ำโลหะแข็งปิดทาง (Cold Shut)

Misrun หมายถึงกรณีที่น้ำโลหะเข้าไม่เต็มแบบ Cold Shut หมายถึงการเกิดรอยแหงที่ผิวงาน หรือที่ผนังของงาน เนื่องจากน้ำโลหะสองสารมาบรรจบกันไม่ประสานกัน ดังรูปที่ 2.18

สาเหตุ

- ผนังบางเกินไป
- อุณหภูมิต่ำเกินไป
- เทช้าเกินไป
- น้ำโลหะเดินทางเข้าส่วนต่างความเร็วไม่เท่ากัน เพราะระบบรูเข้าไม่ดี
- ทางปล่อยแก๊สออกจากแบบหล่อไม่เพียงพอ
- ระบบรูสั้นไม่ดี

วิธีการแก้ไข

- อุณหภูมิเทต้องสูง
- เทให้เร็ว
- เพิ่มจำนวนทางเข้าและน้ำโลหะต้องเข้าจากหลายด้าน เพื่อจะได้เข้าสู่ส่วนต่างๆได้ในเวลาใกล้เคียงกัน
- เพิ่มทางปล่อยแก๊สออกจากแบบหล่อและการปล่อยแก๊สออกจากไส้แบบต้องเพียงพอ



รูปที่ 2.18 ปัญหาน้ำโลหะเข้าไม่ถึงของชิ้นงานเหล็กหล่อ Ni-Resist

2.6 ทรายไส้แบบ

ไส้แบบคือทรายที่ทำเป็นรูปร่าง ใ้วางลงในโพรงของแบบหล่อเพื่อกันไม่ให้โลหะเข้าสู่ส่วนของชิ้นงานที่ต้องการให้เป็นรูหรือช่องว่าง

2.6.1 ส่วนประกอบหลักของทรายไส้แบบ

1. ทราย หลักการเลือกใช้ทราย ต้องพิจารณาถึง สมบัติทนความร้อน มีสมบัติการยุบตัวเองได้ดี เพื่อความสะดวกในการทำความสะอาด โดยปกติแล้ว ทรายไส้แบบจะทำจากทรายแก้ว การเลือกทรายควรเลือกที่มีขนาดเม็ดสม่ำเสมอ
2. ตัวประสาน (Binder) เป็นตัวยึดให้เม็ดทรายเกาะกันได้ เป็นส่วนสำคัญต่อความแข็งแรง สมบัติที่สำคัญของตัวประสานคือ สมบัติด้านความแข็งแรงต้องมากพอ เมื่อสัมผัสกับน้ำโลหะแล้วไม่เกิดแก๊ส มาก ช่วยให้ทรายมีสมบัติการยุบตัวดี ไม่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือด่าง และไม่มีการกัดกร่อน ควรมีราคาไม่แพง ตัวประสานที่นิยมใช้คือ เรซิน (Resin) เพราะให้ความแข็งแรงสูง [3]

2.6.2 การทำทรายไส้แบบ

การทำทรายไส้แบบ ใช้หลักการอัดทรายลงในแม่พิมพ์ เครื่องที่ใช้ผลิตทรายจะทำการอัดอากาศแล้วปล่อยความดันผ่านทรายด้วยความเร็วสูง ทรายจะวิ่งลงไปแบบ เกิดการอัดทับกันในแม่พิมพ์ ในแม่พิมพ์จะต้องมีรูเล็กๆเพื่อระบายอากาศ ให้อากาศสามารถหนีผ่านได้ เมื่อทรายลงในแม่พิมพ์จนเต็มแล้ว เครื่องจะปาดทรายส่วนเกินออก จากนั้นจะให้ความร้อน ซึ่งสามารถมาจากแก๊สหรือไฟฟ้าก็ได้ เมื่อให้ความร้อนแก่ทรายในแม่พิมพ์ ทรายจะเกิดการแข็งตัว เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของตัวประสาน เวลาและอุณหภูมิในการเผา จะขึ้นอยู่กับขนาดของไส้แบบ สุดท้าย แม่พิมพ์จะเปิดและดันงานออก [3]

2.6.3 ชนิดของทรายสำหรับทำไส้แบบ

1. ทรายธรรมชาติหรือทรายซิลิกา (SiO_2)

ทรายธรรมชาติหรือทรายซิลิกาเป็นทรายที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด สามารถพบได้ตามธรรมชาติ ทั้งบนชายหาดและแม่น้ำหรืออาจได้มาจากการบดหินทราย ทรายซิลิกาเป็นที่นิยมเนื่องจากมีจำนวนมาก และราคาไม่สูง ข้อเสียคือการขยายตัวทางความร้อนจะค่อนข้างสูง ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อบกพร่องที่งานหล่อ สำหรับการหล่อโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงและการนำความร้อนค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ยังไม่สามารถใช้กับงานหลอมเหล็กที่มีสมบัติเป็นด่าง เพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดข้อบกพร่องกับผิวงานหล่อ และทำให้เกิดสารซิลิกาในงานหล่อ จุดหลอมเหลวของซิลิกาบริสุทธิ์อยู่ที่ $1,760^\circ\text{C}$ แต่อาจมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเนื่องจากการปนเปื้อนและสิ่งสกปรก

2. ทรายรีเคลม จะใช้ทรายที่ใช้งานแล้วมาผ่านกระบวนการคัดแยก และขัดเพื่อเอาสิ่งเจือปนออก จากนั้นจะนำไปอบที่อุณหภูมิสูง เพื่อกำจัดสิ่งปลอมปน จากนั้นจะนำไปแยกขนาด และเข้าสู่กระบวนการผสมทราย เพื่อทำทรายเคลือบเรซิน

3. ทรายสังเคราะห์ (Artificial Sand) เป็นทรายที่สร้างขึ้นมาเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีตามต้องการ เช่น จะมีเม็ดกลม เพื่อสมบัติในด้านความแข็งแรง และมีการขยายตัวต่ำ เป็นต้น

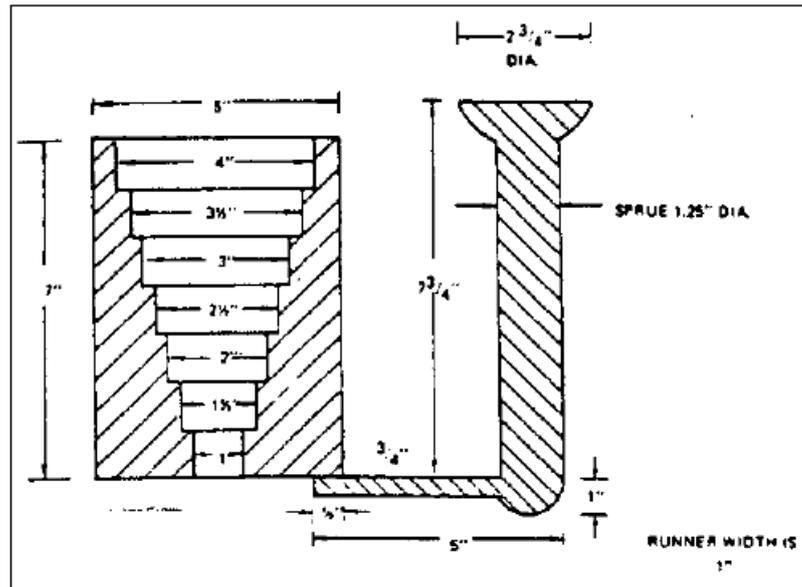
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาเหตุและการการแก้ปัญหาครีบในเหล็กหล่อและเหล็กเหนียวหล่อ (Causes and Solutions to Veining Defects in Iron and Steel Castings)

งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาเกี่ยวกับกลไกการเกิดครีบ (Veining) ในเหล็กหล่อและเหล็กเหนียวหล่อ โดยใช้แบบจำลองงานหล่อ (Computer Casting Simulation) ทำให้ทราบว่า มีแรง 2 แรงที่ผิวของทราย ส่งผลต่อการเกิดครีบ การขยายตัวของทรายเป็นสาเหตุทำให้ปริมาตรของทรายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 573°C (1067F) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทรายเปลี่ยนเฟสจากอัลฟาควอทซ์ (Alpha Quartz) เป็นเบต้าควอทซ์ (Beta Quartz) การให้ความร้อนหลังจากนี้ ทรายจะสูญเสียปริมาตรไป เนื่องจากเกิดความนิ่มที่ผิวของเม็ดทราย การสูญเสียปริมาตรหลังจากผ่านอุณหภูมิ 573°C เป็นสาเหตุหลักของการเกิดครีบ ในขณะที่อุณหภูมิที่ผิวของทรายแบบและทรายไส้แบบเพิ่มขึ้น ความยาวและปริมาตรของทรายจะลดลง แต่ทรายใต้ผิวที่เย็นกว่า มีปริมาตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากอยู่ในช่วงการเปลี่ยนเฟสจากอัลฟาควอทซ์เป็นเบต้าควอทซ์ การสัมผัสกันของทรายที่ผิวและทรายใต้ผิว ทำให้เกิดการเสียหายจากแรงดึง (Tensile Failure) ซึ่งน้ำโลหะจะเข้ามาแทรกและแข็งตัวเกิดเป็นข้อบกพร่องที่เรียกว่า ครีบ นี้ขึ้นสารเติมแต่งในทรายที่ช่วยลดปัญหาครีบ โดยจะสร้างของเหลวที่ผิวของเม็ดทรายและสนับสนุนให้เกิด ไทรดาไมท์ (Tridymite) หรือ คริสโตบาไลท์ (Cristobalite) และการขยายตัวของทรายที่มากกว่า การขยายตัวรอบที่สองนี้ จะไปลดการหดตัวที่ผิวของไส้แบบและป้องกันการเสียหายจากแรงดึง การกระทำของเหลวของสารเติมแต่ง ทำให้เม็ดทรายถูกยึดติดไว้ด้วยกัน เป็นการเพิ่มความแข็งแรงที่ผิวของไส้แบบหรือทรายหล่อแบบ ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นนี้ เป็นตัวลดความเสียหายบนผิวทรายและลดปัญหาครีบ [7]

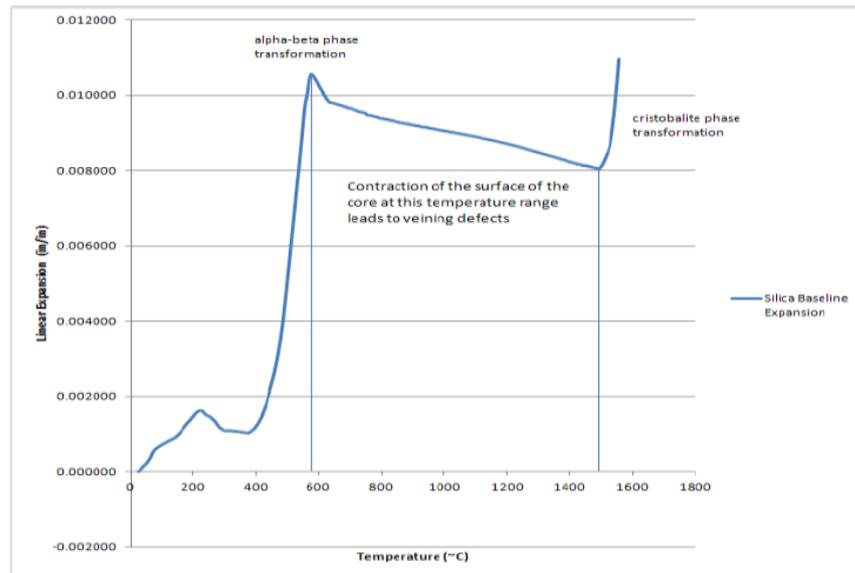
วิธีการทดลองที่นำมาใช้ในงานวิจัย

1. การตรวจสอบการขยายตัวของทราย โดยใช้เครื่องมือตรวจสอบการขยายตัว (Dilatometer) ซึ่งงานทรายทดสอบ เป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.86 เซนติเมตร ยาว 3.81-4.06 เซนติเมตร ให้ความร้อนที่ 1650°C อัตราการให้ความร้อน 15°C ต่อนาที จากนั้นวัดและบันทึกผลการขยายตัว
2. การทดลอง Step cone test เพื่อทดสอบผลกระทบของทรายและตัวประสานที่ส่งผลต่อปัญหาเหล็กแทรกเข้าในเนื้อทรายและเกิดครีบ ในการทดลองทำได้โดย เทน้ำโลหะลงในแบบทรายทรงกระบอกที่มีลักษณะดังภาพที่ 2.19 จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวแบบและแกะแบบออก ทำการตัดแยกทางเดินน้ำโลหะและทำความสะอาดชิ้นทดสอบ

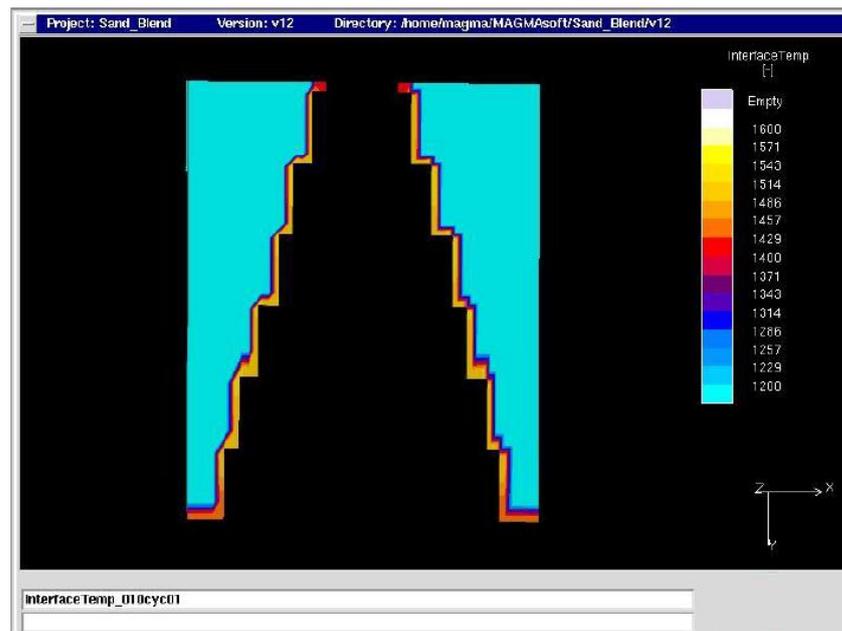


รูปที่ 2.19 ระบบทางเดินน้ำโลหะของการทดลอง Step cone test

3. แบบจำลองและการคำนวณการขยายตัวที่ผิว โดยใช้โปรแกรมแมกมา (MAGMASoft) แสดงอุณหภูมิที่ผิวของทรายแบบซึ่งเป็นบริเวณที่จะเกิดปัญหาครีบ ทรายจะได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของทรายที่ 573°C ทรายจะเปลี่ยนเฟสจากอัลฟาควอทซ์เป็นเบต้าควอทซ์ และเป็นจุดที่เกิดการขยายตัวสูงสุด หลังจากการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมินี้ จะเกิดการหดตัวจนถึง อุณหภูมิ 1460°C จะเกิดการเฟสเบต้าควอทซ์จะเปลี่ยนเป็นเบต้าคริสโตบาไลต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.20 การหดตัวทำให้เกิดความเครียด (Strain) ที่ไส้แบบเนื่องจากที่ผิวของไส้แบบหดตัวแต่ที่ได้ผิวขยายตัวเพราะยังมีอุณหภูมิต่ำกว่า 573°C อุณหภูมิที่ผิวไส้แบบขณะที่น้ำโลหะเริ่มแข็งตัวแสดงในรูปที่ 2.21



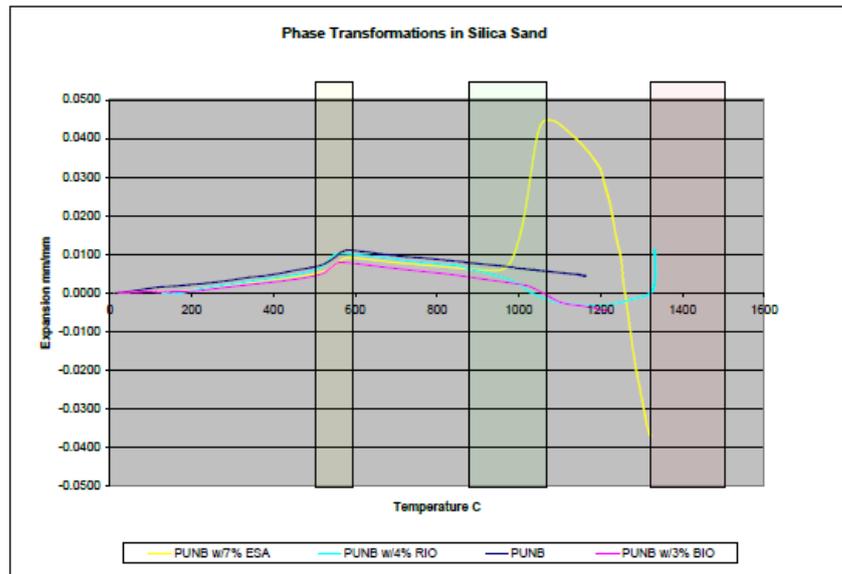
รูปที่ 2.20 กราฟการขยายตัวของทรายซิลิกา



รูปที่ 2.21 อุณหภูมิใส่แบบ ณ พื้นที่สัมผัส ขณะที่น้ำโลหะแข็งตัวที่ 25%

4. ความแข็งแรง (Strength) ของทรายขณะที่อุณหภูมิสูง การทดลองนี้อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D5934 ตรวจสอบโดยใช้ชิ้นงานทดสอบทำจากทราย ขนาด 22.86 cm x 2.54 cm x 2.54 cm และใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงที่มีห้องให้ความร้อนอุณหภูมิ 1200 °C การวัดความแข็งแรงจะให้แรงกด 454.5 กิโลกรัม ลงบนชิ้นทดสอบและวัดค่าความแข็งแรง

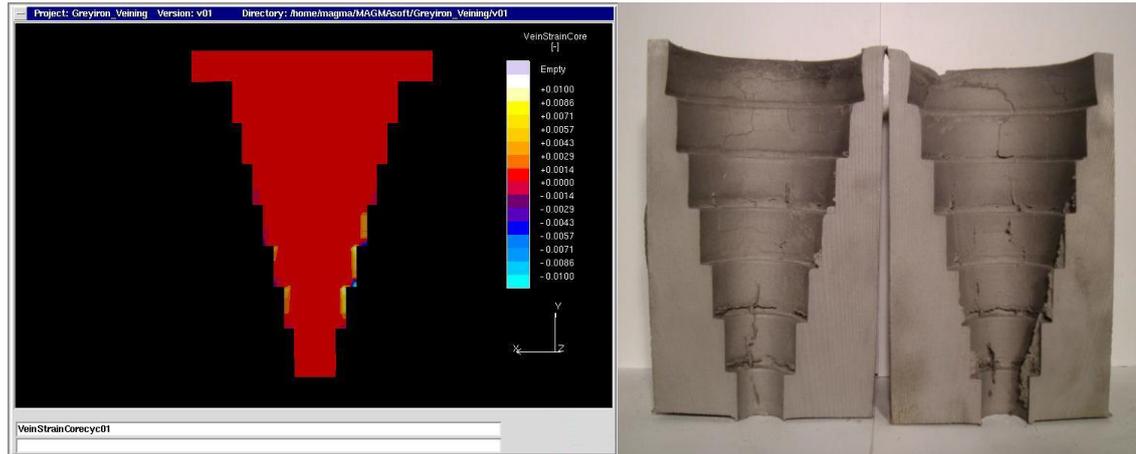
5. สาเหตุของการเกิดครีป งานวิจัยฉบับนี้ได้อ้างอิงถึงงานวิจัยที่ผ่านมา เกี่ยวกับสาเหตุของการเกิดครีป โดยชี้ให้เห็นว่า ปัญหาการครีปบนชิ้นงานหล่อ นั้น มีสาเหตุมาจากความทนต่อการดึงของผิวแบบทรายที่เกิดการหดตัวและได้ผิวของแบบทรายที่เกิดการขยายตัว ทำให้เกิดแรงกระทำที่ทรายใส่แบบหรือทรายแบบ เป็นสาเหตุทำให้ทรายแตกและมีน้ำโลหะแทรกเข้าไปในทราย กราฟการเปลี่ยนแปลงขนาดของทรายที่ผสมกับตัวประสานฟิโนลิกยูริเทนเมื่อได้รับความร้อน แสดงดังรูปที่ 2.22 พบว่า ความยาวและปริมาตรของทรายเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิ 573 °C ซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนเฟสของทรายจากอัลฟาควอทซ์เป็นเบต้าควอทซ์ การเปลี่ยนเฟสนี้มาพร้อมกับการเพิ่มของปริมาตร 0.9% ถึง 1.6% ขึ้นกับความบริสุทธิ์ของทราย เมื่อให้ความร้อนมากขึ้น ทรายมีขนาดสั้นลงและมีปริมาตรลดลง เนื่องจากการอ่อนตัวลงที่ผิวของเม็ดทราย การสูญเสียปริมาตรที่อุณหภูมิมากกว่า 573 °C นี้ เป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดปัญหาการครีป



รูปที่ 2.22 กราฟอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของทราย

ผลการเปรียบเทียบงานหล่อกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์

โลหะที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือเหล็กเหนียวหล่อ (Steel Cast) และเหล็กหล่อสีเทา และทำการทดลองกับทรายแบบที่มีส่วนผสมของตัวประสานต่างกันไป ในที่นี้จะกล่าวถึงผลการเปรียบเทียบชิ้นงานหล่อกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์ของทรายซิลิกาในเหล็กหล่อสีเทาเท่านั้น



รูปที่ 2.23 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของทรายซิลิกาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง Step cone test

ผลจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่ามีไส้แบบ 3 ชั้น ที่มีปริมาณความเครียดเกิดขึ้นมากกว่าชั้นอื่นได้ คือ ชั้นความหนา 1.5 นิ้ว และ 2 นิ้ว มีความเครียดเกิดขึ้นประมาณ 0.008 in/in และที่ชั้นความหนา 2.5 นิ้ว มีความเค้นเกิดขึ้นประมาณ 0.005 in/in เมื่อดูผลจากการทดลอง Step cone test พบว่าเกิดครีบริบที่ชั้นความหนา 1.5 นิ้ว และ 2 นิ้ว

สรุปผล

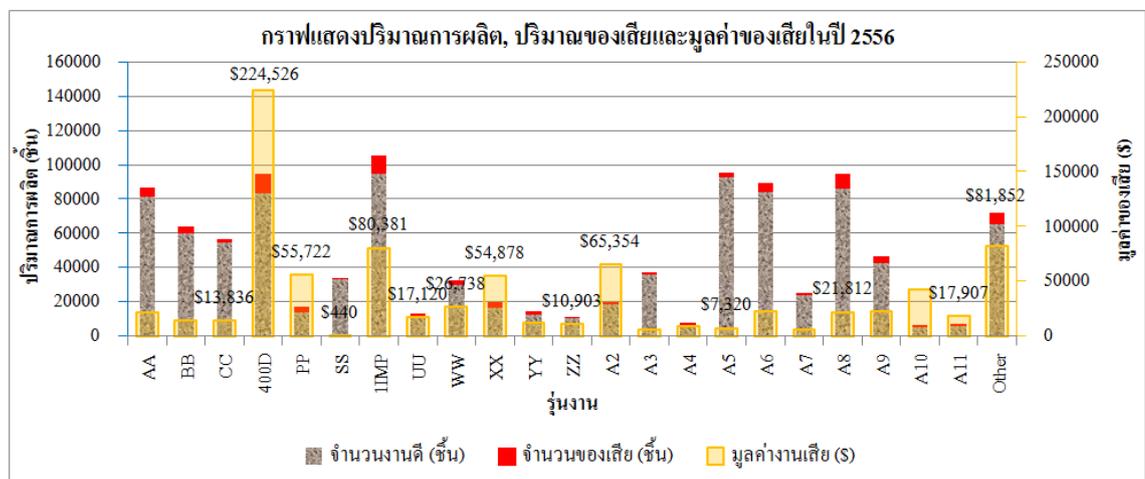
งานวิจัยฉบับนี้ชี้ให้เห็นว่าปัญหาครีบริบเป็นผลมาจากความทนต่อแรงดึงที่เกิดขึ้นจากการรวมกันของการหดตัวของทรายที่ผิวและการขยายตัวของทรายใต้ผิวเมื่อทรายสัมผัสกับน้ำโลหะที่อุณหภูมิสูง

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 การระบุปัญหา

3.1.1 การเลือกรุ่นงาน

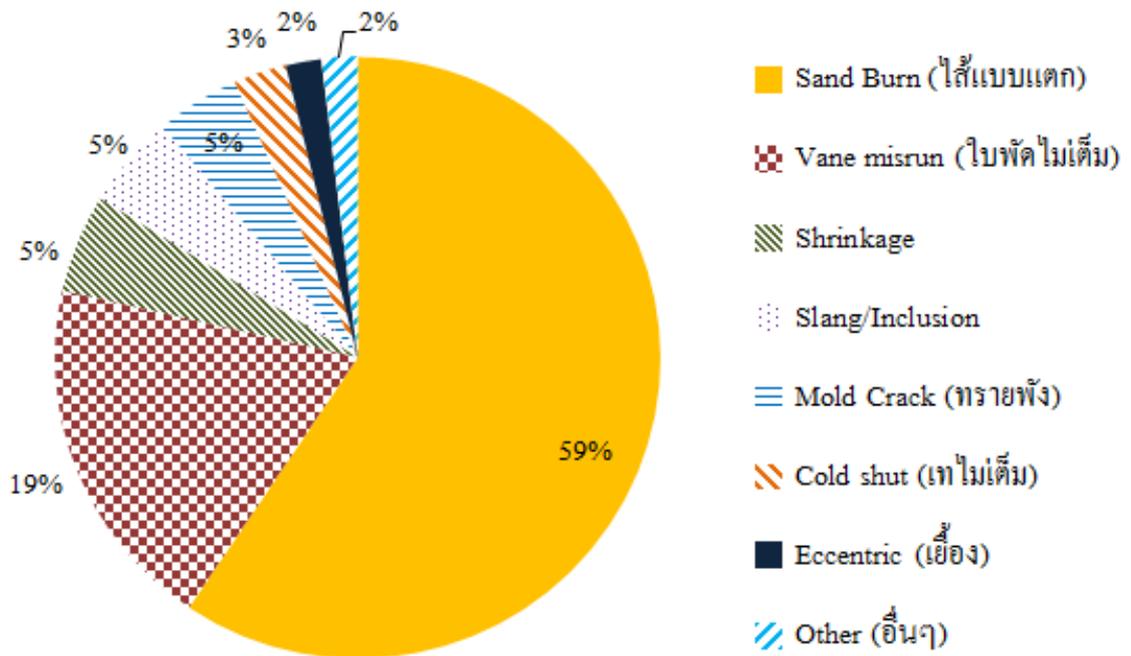
มูลค่าของเสียและปริมาณการผลิตเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการเลือกรุ่นงานมาทำการวิจัยนี้ ในการเลือกรุ่นงานมาแก้ปัญหานั้น ไม่ได้พิจารณาในเรื่องของเปอร์เซ็นต์งานเสียเพียงอย่างเดียว เนื่องจาก ชิ้นงานแต่ละรุ่นต้องใช้ปริมาณวัสดุ ขั้นตอนและเวลาในการผลิตต่างกัน ราคาของชิ้นงานแต่ละรุ่นย่อมแตกต่างกันไป มูลค่าของเสียคำนวณจากราคางานคูณกับจำนวนงานเสีย นอกจากนั้น การพิจารณาเรื่องปริมาณการผลิตก็สำคัญเช่นกัน เพราะแต่ละรุ่นมีความต้องการจากลูกค้าต่างกัน การแก้ปัญหาก็ให้ความสำคัญกับปริมาณการผลิตด้วย ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเป็นข้อมูลย้อนหลังของปี พ.ศ. 2556 แสดงรูปที่ 3.1 ปริมาณการผลิตแสดงในรูปของกราฟแท่งและมูลค่าของเสียแสดงในรูปของกราฟเส้น จากกราฟทำให้ทราบว่างานรุ่น 400D มีปริมาณการผลิตเป็นอันดับที่สอง แต่มีมูลค่าของเสียสูงที่สุด จึงเลือกรุ่นดังกล่าวในการแก้ปัญหา



รูปที่ 3.1 ปริมาณการผลิตและมูลค่าของเสียของ โรงงานในปี พ.ศ. 2556

3.1.2 เลือกปัญหางานเสีย

ขั้นตอนนี้ได้พิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นกับงานรูน 400D ทำให้ทราบว่าปัญหาไส้แบบแตกเกิดขึ้นมากที่สุด คิดเป็น 59% ของปัญหางานเสียทั้งหมด รองลงมาคือปัญหาใบพัดไม่เต็ม 19% ของปัญหางานเสียทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.2



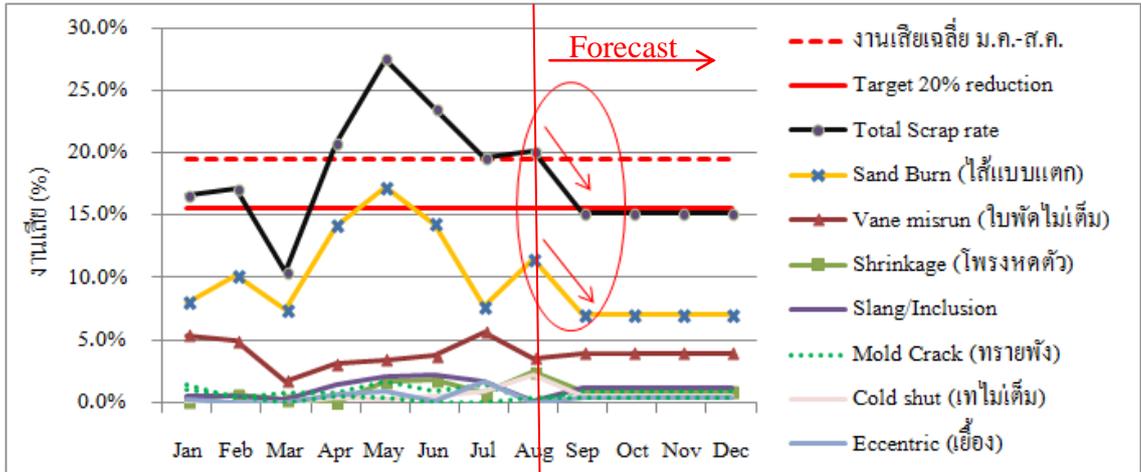
รูปที่ 3.2 ปัญหางานเสียของงานรูน 400D

งานเสียโดยรวมตั้งแต่เดือนมกราคมถึงสิงหาคม พ.ศ.2557 โดยเฉลี่ยคิดเป็น 19.5% ของชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมด และเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายของโรงงานที่จะลดงานเสียของงานรูนนี้ลง 20% ของชิ้นงานที่ผลิตจาก เดิม 19.5% ของชิ้นงานที่ผลิต จึงได้เป้าหมายใหม่คือของเสียไม่เกิน 15.6% ของชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมด แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแจกแจงปัญหาของงานรูน 400D ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงสิงหาคม พ.ศ.2557

ปัญหา	ปริมาณงานเสีย							
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
ไส้แบบแตก	8.0%	10.2%	7.4%	14.2%	17.2%	14.3%	7.7%	11.5%
ใบพัดไม่เต็ม	5.4%	4.9%	1.7%	3.1%	3.3%	3.7%	5.6%	3.6%
งานยุบตัว (Shrinkage)	0.1%	0.7%	0.3%	0.0%	1.7%	1.8%	0.7%	2.4%
สิ่งปนเปื้อน (Slag)	0.5%	0.5%	0.3%	1.4%	2.1%	2.3%	1.6%	0.0%
ทรายพัง (Mold Crack)	1.4%	0.4%	0.8%	0.7%	1.7%	0.9%	1.4%	0.1%
เทไม่เต็ม (Cold shut)	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.2%	0.5%	0.9%	2.2%
เอียง (Eccentric)	0.2%	0.0%	0.0%	0.6%	0.9%	0.1%	1.7%	0.0%
อื่นๆ (Other)	1.0%	0.5%	0.0%	0.5%	0.4%	0.0%	0.0%	0.4%
งานเสียโดยรวม	16.6%	17.1%	10.4%	20.8%	27.5%	23.5%	19.6%	20.1%
งานเสียเฉลี่ย ม.ค.-ส.ค.	19.5%	19.5%	19.5%	19.5%	19.5%	19.5%	19.5%	19.5%
เป้าหมายงานเสียลดลง 20%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%

ข้อมูลงานเสียในเดือนมกราคมถึงสิงหาคม ปีพ.ศ.2557 แสดงให้เห็นว่า ปัญหาไส้แบบแตกเป็นปัญหาหลักที่พบมากที่สุดในทุกเดือน โดยมีปริมาณตั้งแต่ 7.4% จนถึงมากที่สุดคือ 17.2 % ของจำนวนชิ้นงานที่ผลิต ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่า หากแก้ปัญหาไส้แบบแตกได้ จะทำให้ชิ้นงานเสียลดลงได้ตามเป้าหมายของโรงงาน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกแก้ปัญหาไส้แบบแตกเป็นอันดับแรก เพราะหากสามารถลดปัญหาไส้แบบแตกลงเหลือ 7% ของจำนวนชิ้นงานที่ผลิต จะทำให้งานเสียโดยรวมลดลงได้ตามเป้าหมาย ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ปัญหางานเสียของงานรุ่น 400D รายเดือน ตั้งแต่ มกราคมถึงสิงหาคม เป้าหมายและการคาดการณ์งานเสียในอนาคต

3.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุ

3.2.1 การเก็บข้อมูลงานเสีย

การเก็บข้อมูลงานเสียประกอบด้วยตำแหน่งของชิ้นงานเสียและตำแหน่งของปัญหาที่เกิดขึ้นงาน โดยทำใบตรวจสอบและบันทึกข้อมูลงานเสีย ดังแสดงในรูปที่ 3.4 การกำหนดตำแหน่งบนชิ้นงานนั้น ได้ยึดตำแหน่งของทางเข้าน้ำเหล็กเป็นหลัก แล้วนับวนไปทางขวา โดยนับ 1 ที่ช่องใบพัดแรกที่ตรงกับตำแหน่งทางเข้าน้ำเหล็ก นอกจากนั้น ยังได้เก็บข้อมูลตำแหน่งที่เกิดปัญหาใบพัดไม่เต็มอีกด้วย

การตรวจสอบชิ้นงานเสียที่เกิดจากปัญหาไส้แบบแตก ทำได้โดยใช้ปืนลมเป่าเข้าไปในช่องใบพัด เพื่อตรวจสอบการอุดตันของช่องใบพัด หากพบว่าใบพัดอุดตัน ไม่มีลมผ่านออกจากตำแหน่งนั้น หมายถึงตำแหน่งนั้นเกิดปัญหาไส้แบบแตก รูปชิ้นงานและการกำหนดตำแหน่ง แสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6

Date:		NG	OK
หมายเลข	ข้อบกพร่อง (sand burn)		
	ใบพัดไม่เต็ม (vane mistrum)		
	เนื้อไม่เต็ม (coldshot)		
	โพรง (Shrinkage)		
	อื่นๆ		
ด้านบน			
หมายเลข	ข้อบกพร่อง (sand burn)		
	ใบพัดไม่เต็ม (vane mistrum)		
	เนื้อไม่เต็ม (coldshot)		
	โพรง (Shrinkage)		
	อื่นๆ		
ด้านล่าง			
หมายเลข	ใบพัดตัน		
	ใบพัดไม่เต็ม		
	เนื้อไม่เต็ม		
	โพรง		
	อื่นๆ		



OK



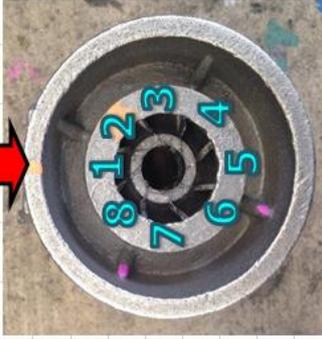
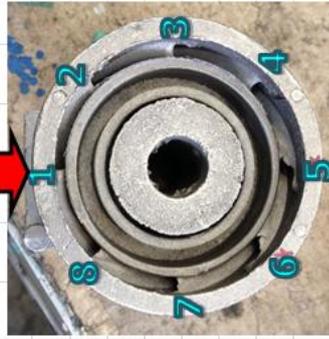
NG



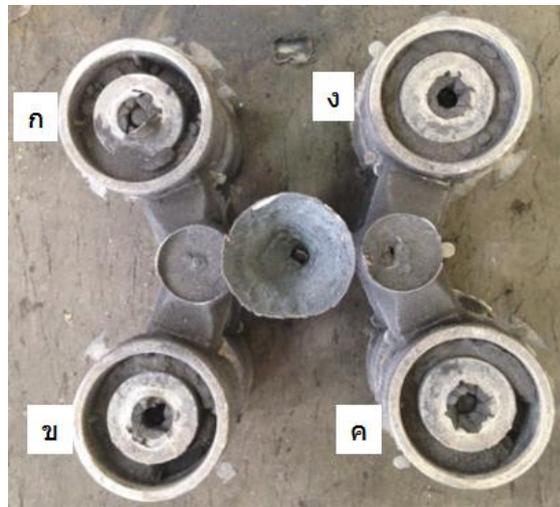
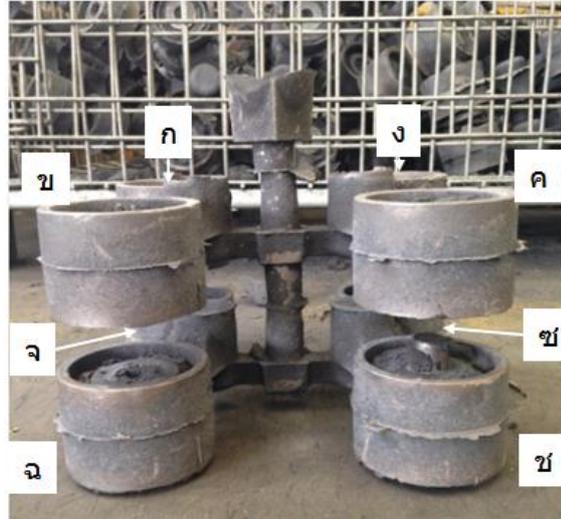
เนื้อไม่เต็ม



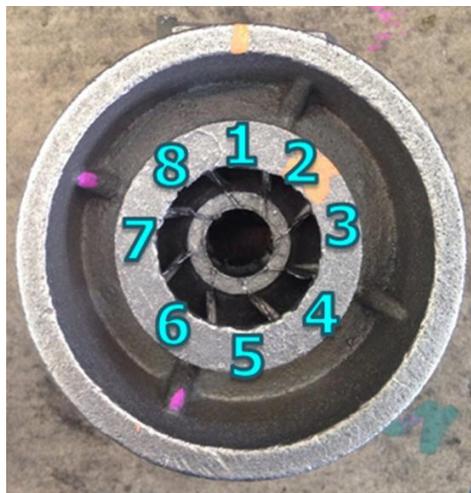
โพรง

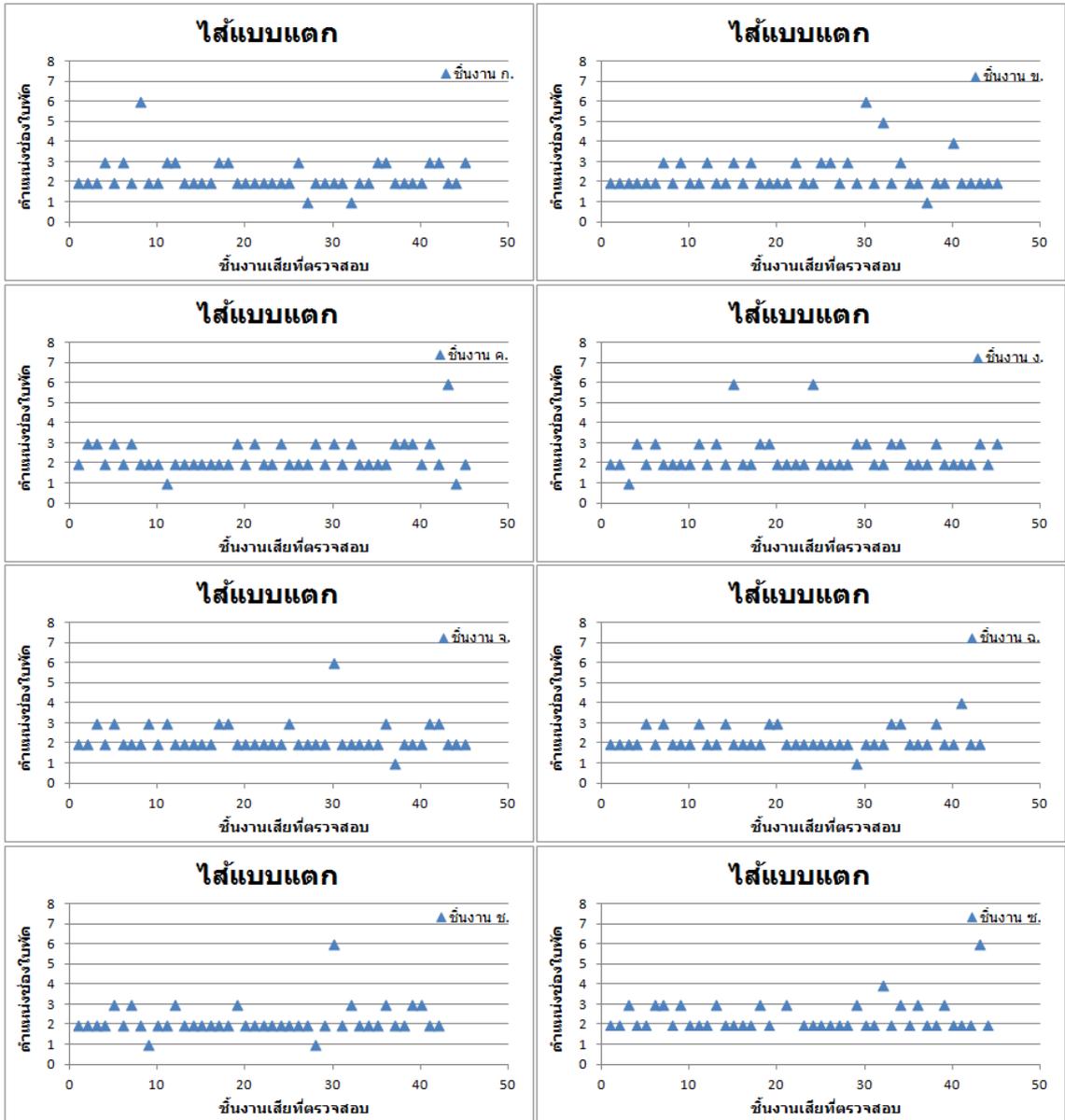
รูปที่ 3.4 รูปตัวอย่างใบตรวจสอบและบันทึกลักษณะชิ้นงานเสีย



รูปที่ 3.5 รูปตัวอย่างชิ้นงานก่อนตัดทางน้ำและตำแหน่งชิ้นงาน



รูปที่ 3.6 รูปตัวอย่างชิ้นงานและตำแหน่งของช่องไบพัส



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งไส้แบบแตกบนชิ้นงาน

จากการเก็บข้อมูลงานเสียทำให้ทราบว่า ปัญหาไส้แบบแตกเกิดแบบสุ่มทุกชิ้นแต่เกิดซ้ำที่ช่องใบพัดเดิม คือ ช่องใบพัดที่ 2 และ 3 เป็นตำแหน่งที่ทรายเป็นไส้แบบแตกมากที่สุด ตามลำดับ ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กับทางเข้าน้ำเหล็ก แสดงในรูปที่ 3.7

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำวิเคราะห์ปัญหาไส้แบบแตกได้ โดยสาเหตุอาจมาจากการออกแบบทางเดินน้ำโลหะเนื่องจากปัญหาเกิดซ้ำตำแหน่งเดิมบนชิ้นงาน แต่การแก้ไขทางเดินน้ำโลหะ

จำเป็นต้องทำแม่พิมพ์เพื่อฉีดเซลล์โมลด์ขึ้นมาใหม่ ทำให้ไม่สามารถแก้ไขได้ทันที จึงเลือกการแก้ไขที่ทรายไส้แบบ

3.2.2 การตัดชิ้นงาน

ชิ้นงานเสียถูกนำไปตัดด้วยเครื่องซีเอ็นซี (CNC) เพื่อดูลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น ตำแหน่งที่ไส้แบบแตกนั้น จะเห็นเป็นเนื้อเหล็กแทรกเข้ามาในส่วนของไส้แบบ เป็นผลทำให้ช่องไบพัดนั้นอุดตันไม่สามารถนำไปใช้งานได้ รูปชิ้นงานที่ถูกตัด แสดงดังรูปที่ 3.8 และเมื่อใช้กล้องกำลังขยายต่ำถ่ายภาพผิวเหล็กบริเวณที่สัมผัสกับไส้แบบปกติเทียบกับผิวเหล็กที่เกิดจากการแทรกตัวที่รอยแตกของไส้แบบ พบว่า ผิวเหล็กบริเวณปกติมีความเรียบมากกว่าผิวของเหล็กที่แทรก ในบริเวณที่ไส้แบบแตกคือ ผิวมีลักษณะเป็นมีรูพรุนและไม่สม่ำเสมอ แสดงในรูปที่ 3.9 รูป (ก) คือ รูปผิวงานปกติ รูป (ข) คือ รูปผิวเหล็กที่แทรกเข้าทรายไส้แบบ



รูปที่ 3.8 รูปเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานเสียจากปัญหาไส้แบบแตก (ซ้าย) และชิ้นงานปกติ (ขวา)



รูปที่ 3.9 ผิวเหล็กบริเวณปกติและผิวเหล็กที่แทรกตรงรอยแตก

3.2.3 การวิเคราะห์สาเหตุ

สาเหตุการเกิดปัญหาไส้แบบแตก สามารถวิเคราะห์จากความเป็นไปได้ทั้งหมดจากคน เครื่องจักร วิธีการและวัสดุ ทำให้ได้ข้อสมมติฐานดังนี้

1. ไส้แบบแตกขณะเคลื่อนย้าย เป็นสาเหตุจากคน ซึ่งสามารถควบคุมได้ โดยหาอุปกรณ์ช่วยยกและปรับปรุงพื้นที่การทำงาน ลดการเคลื่อนย้าย
2. ความดันน้ำโลหะสูง เป็นผลมาจากการเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิสูง สำหรับตัวแปรนี้ ไม่สามารถควบคุมให้อุณหภูมิน้ำโลหะต่ำกว่าปัจจุบันได้ (1490°C) เพราะอาจส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำโลหะเข้าไม่ถึง
3. ขนาดทางเข้าน้ำเหล็กใหญ่ ทำให้เกิดความร้อนสะสม สมมติฐานนี้ มีความเป็นไปได้ เพราะเมื่อคูตำแหน่งที่ไส้แบบแตก จะเห็นได้ว่าช่องโหว่ที่อยู่ที่บริเวณทางเข้าน้ำเหล็ก เกิดปัญหาไส้แบบแตกมากที่สุด แต่การแก้ไขขนาดทางเข้าน้ำเหล็กหรือแก้ไขระบบทางเดินน้ำโลหะนั้น ต้องแก้ไขหรือสร้างแม่พิมพ์สำหรับฉีดแบบเซลล์ใหม่ (Shell Mold) สาเหตุนี้จึงไม่ถูกเลือกมาแก้ไขในตอนี้
4. อุณหภูมิการเทหลอมสูง ตัวแปรนี้ สามารถควบคุมได้ โดยการกำหนดมาตรฐานการทำงาน กำหนดช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทำงานรุ่นนี้
5. เกิดแรงปะทะกับไส้แบบมาก ขณะเทน้ำเหล็ก สาเหตุนี้มีต้นเหตุมาจากการออกแบบระบบทางเดินน้ำโลหะ ซึ่งจะยังไม่ถูกยกมาแก้ไขในตอนี้
6. อุณหภูมิการเผาไส้แบบสูงไป ตัวแปรนี้สามารถควบคุมได้ โดยการกำหนดมาตรฐานการทำงาน
7. ขนาดไส้แบบไม่ตรงตามแบบ ตัวแปรนี้สามารถควบคุมได้ โดยการตรวจสอบขนาดก่อนนำไส้แบบไปใช้ และตรวจสอบในขณะที่ประกอบไส้แบบลงแบบเซลล์โมลด์
8. ไส้แบบไม่แข็งแรง สาเหตุมาจากทรายที่ใช้ในการทำไส้แบบมีความแข็งที่ไม่มากพอ ตัวแปรนี้สามารถควบคุมได้ โดยควบคุมสมบัติของทรายที่ใช้ในการทำไส้แบบ
9. ไส้แบบมีการขยายตัวเมื่อโดนความร้อน สาเหตุมาจากทรายที่ทำไส้แบบตัวแปรนี้สามารถควบคุมได้ โดยควบคุมสมบัติของทรายที่ใช้ในการทำไส้แบบ

สรุปการวิเคราะห์สาเหตุไส้แบบแตก

การแก้ไขปัญหาไส้แบบแตก อันดับแรกคือการแก้ไขการออกแบบทางเดินน้ำโลหะ ซึ่งต้องทำแม่พิมพ์ขึ้นมาใหม่ ทำให้เกิดข้อจำกัดเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในการแก้ไข จึงเลือกที่จะแก้ปัญหที่เกิดจากทราย โดยเลือกสาเหตุได้ 3 สาเหตุ เพื่อนำมาทำการทดลองและแก้ไข คือ ขนาดไส้แบบไม่ตรงตามแบบ ไส้แบบไม่แข็งแรงและทรายมีค่าขยายตัวทางความร้อนสูง

3.3 การเตรียมการทดลอง

3.3.1 การเตรียมไส้แบบ

ไส้แบบในงานวิจัยนี้ ทำมาจากทรายทั้งหมด 5 ชนิด ทรายทั้ง 5 ชนิดนี้ เป็นทรายในกลุ่มที่ชื่อว่า ทรายเคลือบเรซิน โดยมีส่วนผสมและชนิดทรายที่แตกต่างกัน ดังนี้

- ทรายธรรมชาติ ผสมเรซิน A 2% โดยน้ำหนัก
- ทรายธรรมชาติ ผสมเรซิน A 2.5% โดยน้ำหนัก
- ทรายธรรมชาติ ผสมทรายรีเคลม และผสมเรซิน B 2% โดยน้ำหนัก
- ทรายรีเคลม ผสมเรซิน B 2.5% โดยน้ำหนัก
- ทรายสังเคราะห์ ชนิด Cerabead ผสมเรซิน A 2% โดยน้ำหนัก

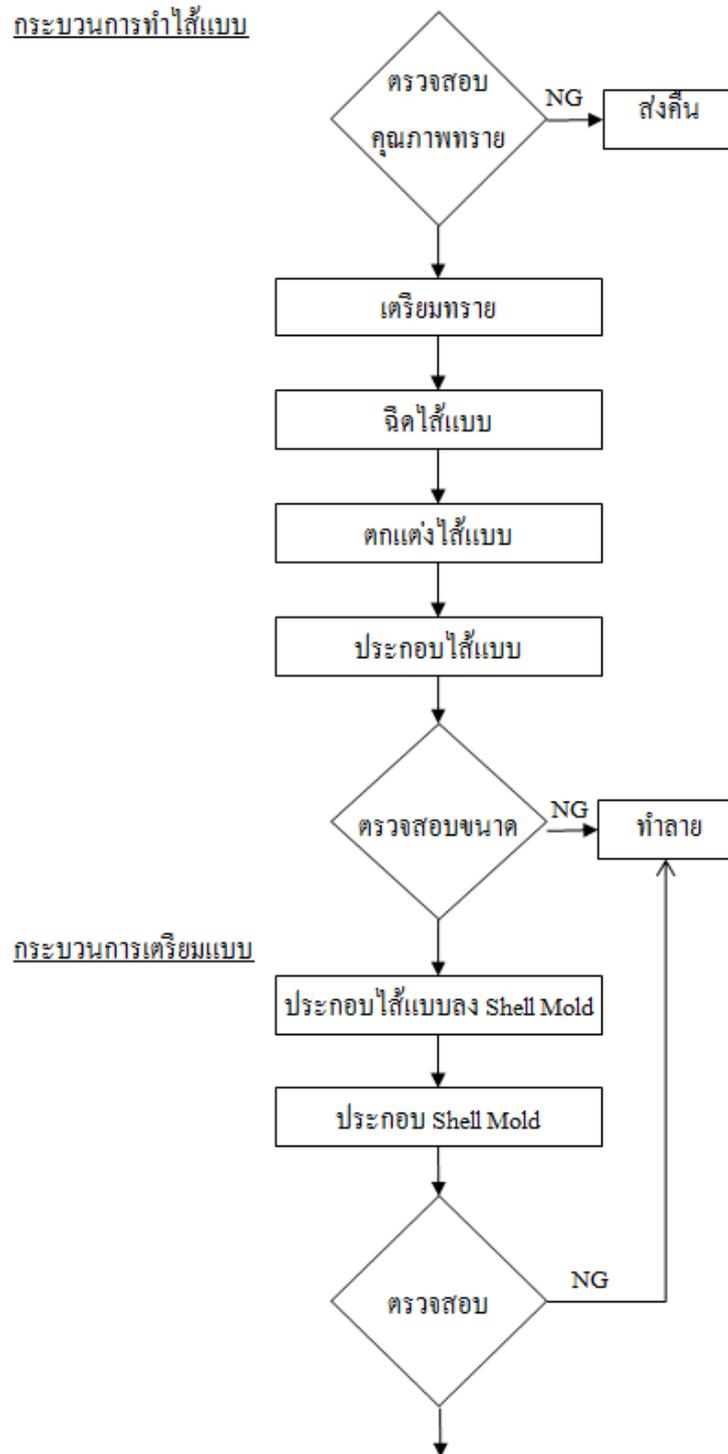
นำทรายทั้ง 5 ชนิดมาทดสอบสมบัติของทราย ดังนี้ รูปร่างของเม็ดทราย การกระจายตัวของเม็ดทราย ความแข็งแรง ค่าการขยายตัวทางความร้อน จากนั้น นำทรายไปฉีดขึ้นรูปเป็นไส้แบบ ด้วยเครื่องฉีดทรายไส้แบบ ชนิดใช้ความร้อนจากแก๊สในการเผาทราย ดังรูปที่ 3.10 สามารถอธิบายหลักการทำไส้แบบได้ดังนี้ คือ ทรายจะถูกเป่าด้วยลมเข้ามาในแบบแม่พิมพ์ จากนั้นแม่พิมพ์จะถูกเผาด้วยเปลวไฟอุณหภูมิประมาณ 250 °C เป็นเวลา 30 วินาที เม็ดทรายที่ถูกเคลือบด้วยเรซินจะเริ่มจับตัวกัน จากนั้นนำชิ้นไส้แบบออกมาจากแม่พิมพ์ และนำไปประกอบชิ้นส่วนจนครบเป็นไส้แบบงานรุ่น 400D และสุดท้ายนำไส้แบบไปประกอบกับแบบหล่อ งานรุ่นนี้ใช้แบบหล่อที่เป็นแบบหล่อทรายเซลล์โมลด์ทำจากทรายเคลือบเรซิน ส่วนผสมเรซิน 2% ขั้นตอนการทำไส้แบบเป็นไปตามรูปที่ 3.11



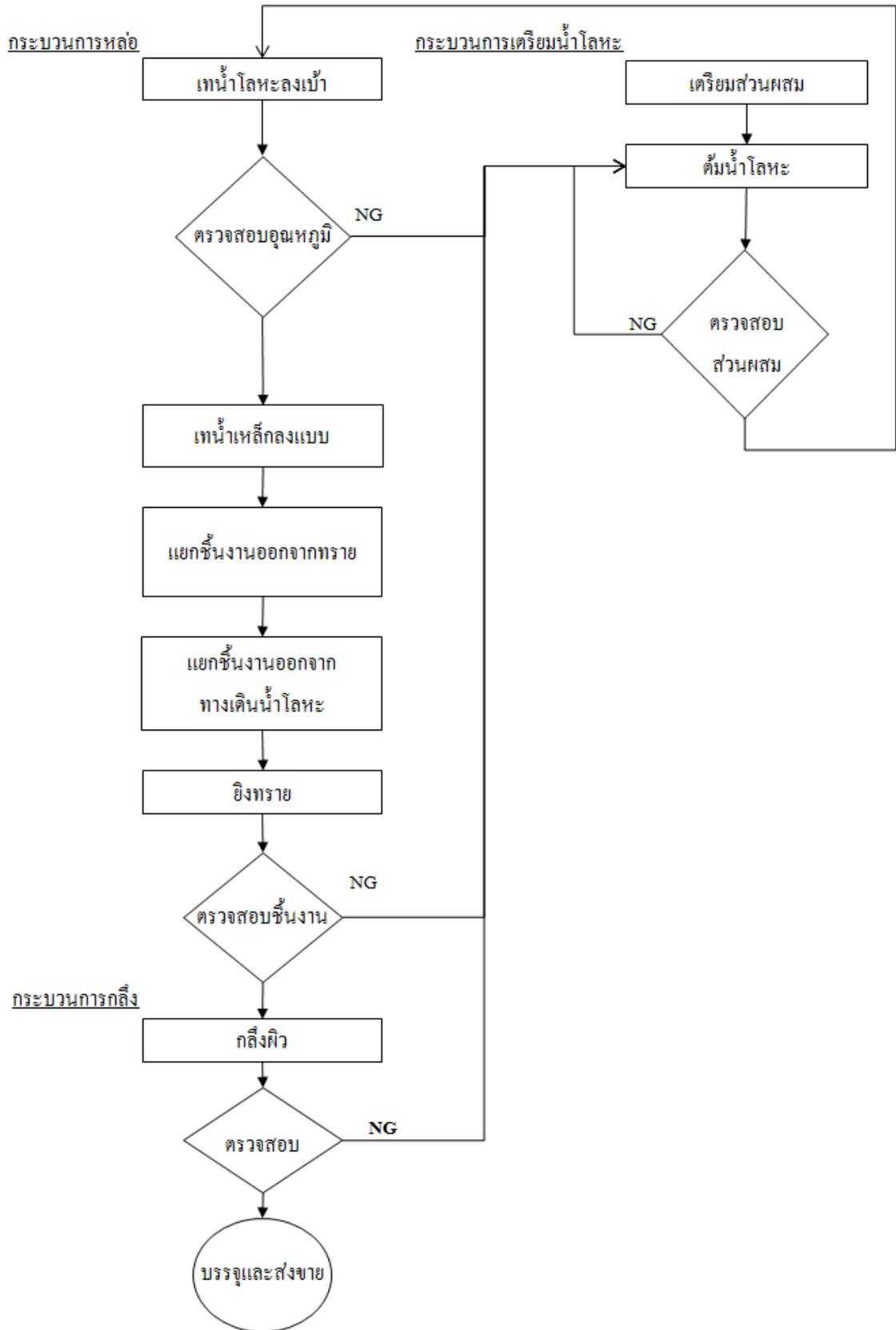
รูปที่ 3.10 เครื่องฉีดทรายไส้แบบ

3.3.2 การเตรียมกระบวนการหล่อ

เตรียมน้ำเหล็กที่มีส่วนผสมตามมาตรฐาน ASTM436 สำหรับเหล็กหล่อ Ni-Resist Type 1 เเทลงเบ้า ขนาด 250 กิโลกรัม จากนั้นตรวจสอบอุณหภูมิก่อนเทลงแบบ กระบวนการหล่อ แสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 กระบวนการทำทรายไส้แบบ



รูปที่ 3.12 กระบวนการหล่อ

3.4 การทดลอง

3.4.1 การตรวจสอบสมบัติของทราย

1. การตรวจสอบรูปร่างของเม็ดทราย

การตรวจสอบรูปร่างของเม็ดทรายทำได้โดยถ่ายรูปด้วยกล้อง เพื่อคุณลักษณะของเม็ดทราย

2. การตรวจสอบขนาดการกระจายตัวของเม็ดทราย

การตรวจสอบการกระจายตัวของทรายทำได้โดย นำทรายจำนวน 50 กรัม มาชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักตั้งต้นไว้ จากนั้นเททรายใส่ชั้นตะแกรง ตะแกรงที่ใช้จะมีขนาดของช่องต่างกันในแต่ละชั้น จากใหญ่ไปเล็ก ไล่จากบนลงล่าง ทรายที่มีขนาดเล็กกว่าช่องตะแกรงก็จะผ่านลงไปสู่ตะแกรงชั้นต่อไปที่มีขนาดเล็กลง หากเม็ดทรายใหญ่กว่าช่องตะแกรง เม็ดทรายจะถูกดักไว้ที่ชั้นนั้น จากนั้นนำตะแกรงแต่ละชั้นมาชั่งน้ำหนัก แล้วหารด้วยน้ำหนักตั้งต้น จะได้เป็นร้อยละของน้ำหนักในแต่ละตะแกรง จากนั้นนำไปทำกราฟ ซึ่งบ่งบอกถึงการกระจายตัวของเม็ดทรายในแต่ละชั้นตะแกรง นอกจากนี้ การตรวจสอบนี้ยังสามารถบอกขนาดของทรายได้โดย นำน้ำหนักทรายในแต่ละชั้นตะแกรงมาคูณกับค่าแฟคเตอร์จากมาตรฐาน AFS เพื่อหาขนาดของทรายตามมาตรฐานเอเอฟเอส ได้ หากตัวเลขเอเอฟเอสมากจะหมายถึงเม็ดทรายที่ละเอียดมาก ในการบ่งบอกคุณภาพของทรายนั้น ควรพิจารณาค่าเอเอฟเอสและการกระจายตัวของทรายร่วมด้วย

3. การตรวจสอบค่าการขยายตัวทางความร้อนของทราย

ค่าการขยายตัวทางความร้อนตรวจสอบได้โดยใส่ชิ้นงานทดสอบลงในเครื่องมือตรวจการขยายตัวทางความร้อน ดังรูปที่ 3.13 โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1000°C จากนั้นเครื่องจะตรวจวัดค่าการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3.13 เครื่องมือสำหรับตรวจการขยายตัวทางความร้อนของทราย (Dilatometer) [7]

4. การตรวจสอบความแข็งแรงของทราย

การตรวจสอบความแข็งแรงของทรายเริ่มจากการทำแท่งทดสอบ ขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ โดยนำทรายเทลงในแม่พิมพ์ทำแท่งทดสอบที่มีความร้อนทิ้งไว้ 1 นาที จากนั้นนำมาวางที่เครื่องวัดความแข็งแรง เครื่องจะมีแรงกดลงที่แท่งทดสอบ และจะได้ค่าความแข็งแรงของทราย ตามรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องมือสำหรับวัดความแข็งแรงของทรายที่อุณหภูมิสูง [7]

3.4.2 การทดลองทรายไส้แบบ

1. การตรวจสอบขนาดไส้แบบตามแบบ

ไส้แบบที่ทำมาจากทรายทั้ง 5 ชนิด จะถูกตรวจสอบขนาดทุกตัวเทียบกับแบบ (Drawing) ก่อนประกอบลงเซลล์โมลด์และมีการตรวจสอบขณะนำไส้แบบประกอบลงเซลล์โมลด์ด้วย โดยหลังประกอบฝาเซลล์โมลด์แล้ว ให้ยกเซลล์โมลด์ฝานออก แล้วตรวจสอบไส้แบบว่าพรอยร้าวหรือการแตกหักหรือไม่ เพื่อให้แน่ใจว่าไส้แบบไม่ได้แตกก่อนเทน้ำโลหะ แล้วนำไปเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิ $1490 - 1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$

2. การทดลองเปลี่ยนส่วนผสมและชนิดของทรายใส่แบบ

ทรายใส่แบบที่ใช้ผลิตงานปกติทำมาจากทรายธรรมชาติและมีส่วนผสมเรซิน 2% โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปใส่แบบโดยการฉีดเข้าแม่พิมพ์แล้วเผา เพื่อให้ความร้อน ทรายจะแข็งตัวเป็นรูปทรงตามแบบแม่พิมพ์ การทดลองแรกทรายใส่แบบนี้ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดการทดลองเปลี่ยนส่วนผสมและชนิดของทราย

การทดลอง	ชนิดของทราย	ชนิดของเรซิน	ปริมาณเรซิน % โดยน้ำหนัก	อุณหภูมิการเท
1	ทรายธรรมชาติ	Resin A	2	1490 - 1500 °C
2	ทรายธรรมชาติ	Resin A	2.5	1490 - 1500 °C
3	ทรายธรรมชาติผสม ทรายรีเคลม	Resin B	2	1490 - 1500 °C
4	ทรายรีเคลม	Resin B	2.5	1490 - 1500 °C
5	ทรายสังเคราะห์	Resin A	2	1490 - 1500 °C

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการตรวจสอบสมบัติของทราย

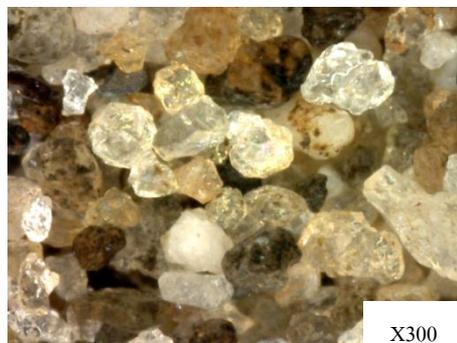
สมบัติของทรายที่สำคัญต่อคุณภาพของไส้แบบ คือ รูปร่างของเม็ดทราย ความแข็งแรง การกระจายตัว และการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน

4.1.1 ผลการตรวจสอบรูปร่างของเม็ดทราย

รูปร่างของเม็ดทราย ตามรูปที่ 4.1 ถ่ายที่กำลังขยายเดียวกัน จะเห็นได้ว่าเม็ดทรายธรรมชาติจะมีลักษณะเป็นเหลี่ยมและมีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ผสมกันไป ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลมในภาพถัดมา จะเห็นว่า สีของทรายนั้นเปลี่ยนไป เนื่องจากมีทรายรีเคลมผสมอยู่ด้วย ลักษณะเม็ดทรายจึงมีทั้งเหลี่ยมและมนผสมกันไป ส่วนเม็ดทรายรีเคลมจะมีลักษณะค่อนข้างมน สังเกตได้ว่าทรายชนิดนี้จะมีเม็ดทรายสีต่างๆผสมอยู่ ทั้งสีดำและสีน้ำตาล ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากทรายรีเคลมผ่านการใช้งานมาแล้ว จึงมีการเผาไหม้และมีค่าส่วนผสมเจือปนในทรายอยู่ สีที่เห็นจึงไม่เหมือนทรายธรรมชาติ และสุดท้าย ทรายสังเคราะห์ จะเห็นได้ชัดว่า เม็ดของทรายสังเคราะห์มีลักษณะกลมมาก



(1)



(2)



(3)



(4)

รูปที่ 4.1 รูปขยายของเม็ดทรายแต่ละชนิด

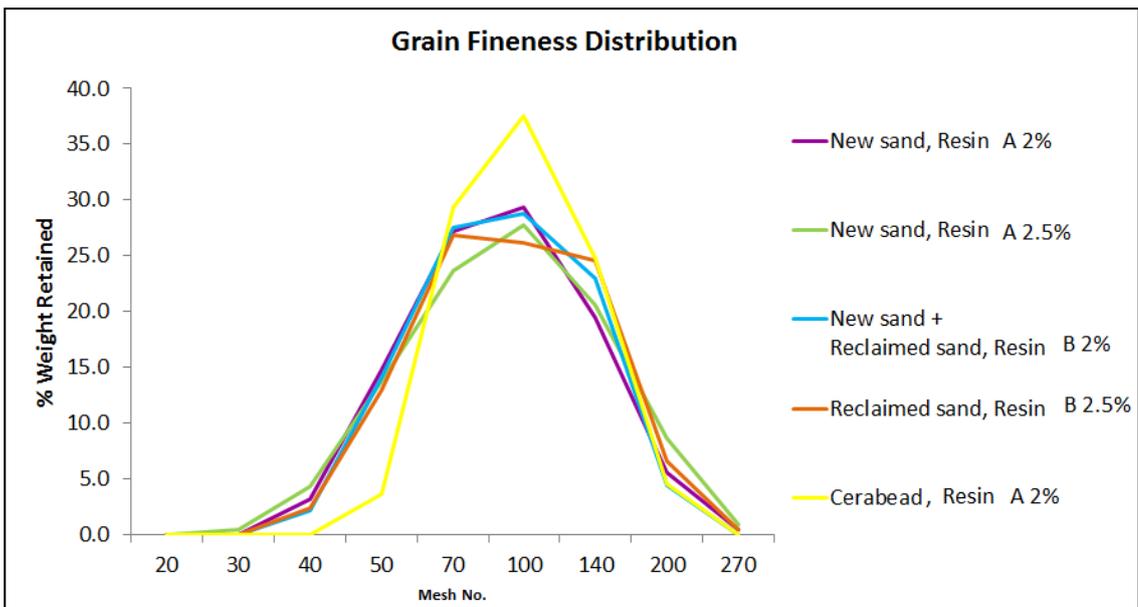
(1) ทรายธรรมชาติ (2) ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม (3) ทรายรีเคลม (4) ทรายสังเคราะห์

4.1.2 ผลการตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของเม็ดทราย

ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดทราย เมื่อนำมาคำนวณตามค่ามาตรฐานเอเอฟเอส ทรายทั้ง 5 ชนิดมีค่ามาตรฐานเอเอฟเอสอยู่ที่ 70 แสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบกราฟการกระจายตัวของทรายแต่ละแบบ ดังรูปที่ 4.2 พบว่า กราฟของทรายสังเคราะห์จะมีลักษณะสูงชันและฐานแคบกว่าทรายชนิดอื่น บ่งบอกถึงเม็ดทรายส่วนใหญ่กองในตะแกรงเบอร์ 100 มากที่สุดและความแตกต่างของขนาดเม็ดทรายไม่ต่างกันมากนัก ส่วนทรายชนิดอีก 4 ชนิด มีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.1 ค่ามาตรฐานเอเอฟเอสของทรายแต่ละชนิด

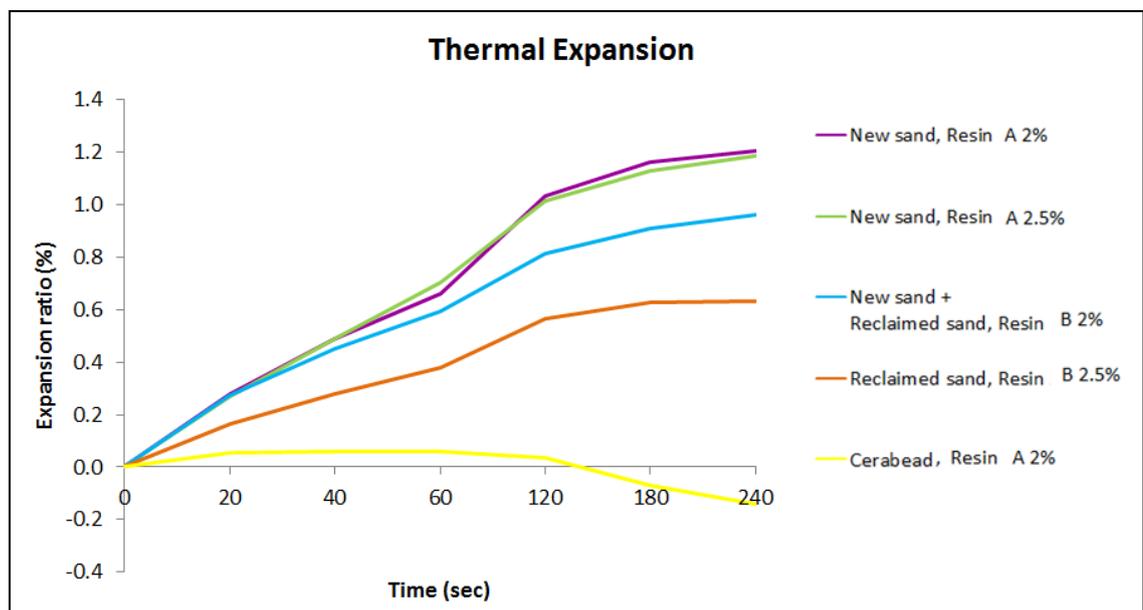
ชนิดของทราย	ชนิดของเรซิน	ปริมาณเรซิน % โดยน้ำหนัก	AFS
1 ทรายธรรมชาติ	Resin A	2	70
2 ทรายธรรมชาติ	Resin A	2.5	70
3 ทรายธรรมชาติ ผสมทรายรีเคลม	Resin B	2	70
4 ทรายรีเคลม	Resin B	2.5	70
5 ทรายสังเคราะห์	Resin A	2	70



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของทรายแต่ละชนิด

4.1.3 ผลการตรวจสอบค่าการขยายตัวทางความร้อนของทราย

การขยายตัวทางความร้อนของทรายมีผลต่อปัญหาไส้แบบแตก ซึ่งสามารถอธิบายได้จากงานวิจัยที่ทำมาแล้วก่อนหน้านี้ ที่ได้พิสูจน์ไว้ว่าสาเหตุของทรายไส้แบบแตก เป็นผลมาจากการหดและขยายตัวของทรายประกอบกัน กล่าวคือ ที่ผิวของทรายไส้แบบจะได้รับความร้อนก่อนและเกิดการขยายตัวในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 573°C ก่อนถึงจุดเปลี่ยนเฟส หลังจากผ่านที่อุณหภูมิ 573°C ไปแล้ว ทรายจะเกิดการหดตัว ในขณะที่ผิวของทรายไส้แบบมีอุณหภูมิสูงจนถึงจุดที่เกิดการหดตัวแล้ว ทรายที่อยู่ลึกใต้ผิวจะลดลงไป ยังคงมีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยยังอยู่ในช่วงที่เกิดการขยายตัวอยู่ ทำให้เกิดความเครียดขึ้นที่ทรายไส้แบบ และไส้แบบจึงแตกในที่สุด ดังนั้น ทรายที่มีการขยายตัวสูง เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดอย่างมาก ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างผิวและใต้ผิวของทรายไส้แบบมากด้วยความเค้นที่เกิดขึ้นจึงสูงมากกว่าทรายที่มีการขยายตัวต่ำ ทรายที่ค่าการขยายตัวต่ำจึงสามารถแก้ปัญหาไส้แบบแตกได้ ในรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นอัตราการขยายตัวของทรายแต่ละชนิด ที่ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1100°C และตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของขนาดเมื่อทิ้งไว้ในเวลาต่างๆ พบว่า เส้นกราฟของทรายธรรมชาติมีความชันมากที่สุด ซึ่งหมายถึง ทรายธรรมชาติมีการขยายตัวมากที่สุด รองลงมาคือ ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม ทรายรีเคลม และทรายสังเคราะห์ ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ค่าการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของทรายแต่ละชนิด

4.1.4 ผลการตรวจสอบค่าความแข็งแรงของทราย

ค่าความแข็งแรงของทรายแต่ละชนิด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ทรายสังเคราะห์มีความแข็งแรงมากที่สุด รองลงมาคือ ทรายรีเคลม ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม ตามลำดับ และทรายธรรมชาติ มีความแข็งแรงน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4

หากนำสมบัติข้างต้นทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกัน จะพบว่า ความแข็งแรงของทรายจะขึ้นอยู่กับปัจจัยของรูปร่างเม็ดทราย ขนาดและการกระจายตัว ปริมาณเรซิน และการขยายตัวทางความร้อน ประกอบกัน

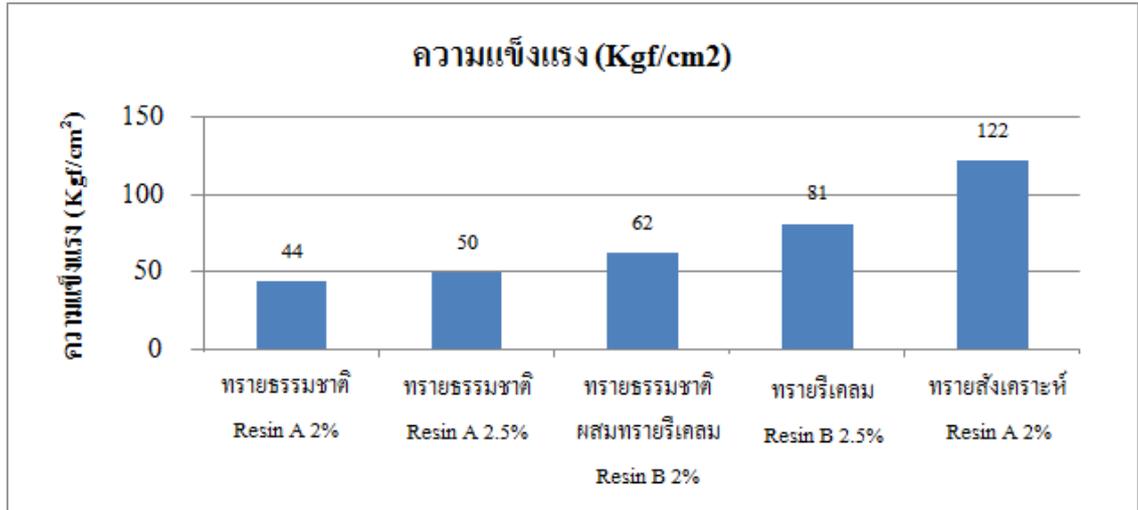
รูปร่างของเม็ดทรายที่ดีควรมีความกลมและมีลักษณะผิวเรียบ ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรง ทรายที่มีผิวเรียบและมีความกลมมากจะมีความแข็งแรงมากกว่าทรายที่มีเหลี่ยมมุมและมีผิวขรุขระ เนื่องจากผิวของทรายที่เรียบจะมีความสามารถในการอัดตัวมากและเกิดความหนาแน่นสูง มีผลทำให้ความแข็งแรงมาก

ขนาดของเม็ดทรายส่งผลต่อความแข็งแรง ทรายเม็ดใหญ่จะให้ความแข็งแรงมากกว่าทรายเม็ดเล็ก ทรายเม็ดเล็กจะประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆของดินเหนียว ซึ่งจะไปอยู่ชั้นระหว่างเม็ดทราย ทำให้พื้นที่สำหรับเรซินที่จะเข้าประสานระหว่างเม็ดทรายได้น้อยลง ดังนั้นทรายเม็ดเล็กจึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าทรายเม็ดใหญ่

การขยายตัวทางความร้อนมีผลทำให้เกิดความเครียดที่ทรายใส่แบบ ทรายที่มีการขยายตัวทางความร้อนต่ำ ทำให้ทรายใส่แบบเกิดการแตกหักได้น้อยทรายที่มีการขยายตัวทางความร้อนสูง

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดและสมบัติของทรายแต่ละชนิด

ชนิดของทราย	ชนิดของเรซิน	ปริมาณเรซิน % โดยน้ำหนัก	AFS	ความแข็งแรง (Kgf/cm ²)
1 ทรายธรรมชาติ	Resin A	2	70	44
2 ทรายธรรมชาติ	Resin A	2.5	70	50
3 ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม	Resin B	2	70	62
4 ทรายรีเคลม	Resin B	2.5	70	81
5 ทรายสังเคราะห์	Resin A	2	70	122



รูปที่ 4.4 ความแข็งแรงของทรายแต่ละชนิด

ขนาดของเม็ดทรายเมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของทรายชนิดเดียวกัน แต่ใส่เรซินในปริมาณไม่เท่ากัน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเรซิน จะทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เรซินจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างเม็ดทราย เห็นได้จากการเปรียบเทียบทรายธรรมชาติที่มีปริมาณเรซินต่างกัน ทรายธรรมชาติที่มีเรซินรวมอยู่ด้วย 2.5% โดยน้ำหนัก ให้ความแข็งแรงมากกว่าทรายธรรมชาติที่มีเรซิน 2% โดยน้ำหนัก

ทรายสังเคราะห์มีความแข็งแรงมากที่สุด รองลงมาคือทรายรีเคลม ส่วนทรายธรรมชาติมีความแข็งแรงต่ำที่สุด อธิบายได้จากรูปร่างของเม็ดทรายที่ต่างกัน ทรายสังเคราะห์มีรูปร่างของเม็ดทรายกลมที่สุด ส่วนทรายรีเคลม เม็ดทรายมีความมน ส่วนทรายธรรมชาติมีลักษณะเหลี่ยม ความกลมของเม็ดทรายจะส่งผลให้มีพื้นที่การยึดเกาะกันระหว่างเม็ดทรายต่อเม็ดทรายมากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของทรายมากขึ้น

ทรายธรรมชาติมีความแข็งแรงน้อยที่สุด ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม มีความแข็งแรงมากกว่าทรายธรรมชาติ เป็นสาเหตุมาจาก ทรายรีเคลมที่ผสมมีกรขยายตัวต่ำเมื่อโดนความร้อนและการใช้ตัวประสานเป็นเรซินชนิดธรรมดาและชนิดการขยายตัวต่ำ ช่วยส่งเสริมให้ทรายมีความแข็งแรงมากขึ้น ทรายรีเคลม มีความแข็งแรงมากเป็นอันดับสองรองจากทรายสังเคราะห์ เนื่องจากเหตุผลของการขยายตัวเมื่อโดนความร้อนและการใช้ตัวประสานเป็นเรซินชนิดธรรมดาผสมกับชนิดการขยายตัวต่ำ ทรายสังเคราะห์มีความแข็งแรงมากที่สุดเป็นผลมาจากรูปร่างและการขยายตัวทางความร้อน

4.2 ผลการทดลองทรายไส้แบบ

4.2.1 ผลการตรวจสอบขนาดไส้แบบตามแบบ

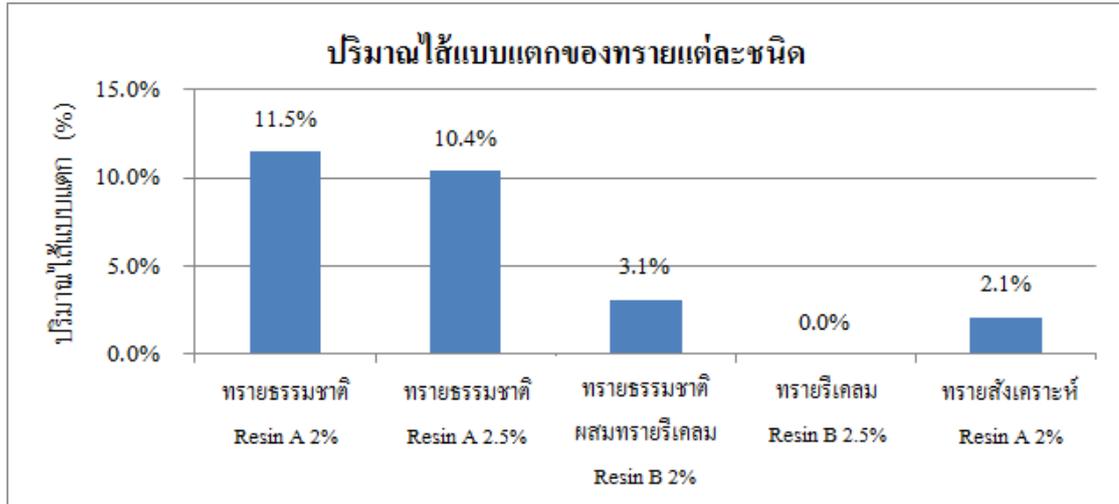
จากข้อจำกัดของโรงงานด้านการเผยแพร่ข้อมูล จึงไม่สามารถที่จะแสดงผลตัวเลขของขนาดแต่จากการตรวจสอบพบว่า ขนาดของไส้แบบและเซลล์โมลด์ ได้ขนาดตรงตามมาตรฐานกำหนด และไม่พบไส้แบบแตกหลังประกอบลงเซลล์โมลด์

4.2.2 ผลการทดลองเปลี่ยนส่วนผสมและชนิดของทรายไส้แบบ

ผลการทดลองทรายไส้แบบทำจากทรายชนิดต่างๆ นำไปเทหลอมที่อุณหภูมิ 1490 - 1500 °C ตามตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองทรายไส้แบบ อุณหภูมิการเท 1490 -1500 °C

การทดลอง	ชนิดของทราย	ชนิดของเรซิน	ปริมาณเรซิน % โดยน้ำหนัก	อุณหภูมิการเท	ปัญหาไส้แบบแตก % โดยปริมาณ
1	ทรายธรรมชาติ	Resin A	2	1490 - 1500 °C	11.5%
2	ทรายธรรมชาติ	Resin A	2.5	1490 - 1500 °C	10.4%
3	ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม	Resin B	2	1490 - 1500 °C	3.1%
4	ทรายรีเคลม	Resin B	2.5	1490 - 1500 °C	0.0%
5	ทรายสังเคราะห์	Resin A	2	1490 - 1500 °C	2.1%



รูปที่ 4.5 ผลการทดลองทรายไส้แบบ อุณหภูมิเหน้าโลหะ 1490 - 1500 °C

ผลการทดลองใช้อุณหภูมิการเท 1490 - 1500 °C ได้ผลดังนี้ ทรายธรรมชาติผสมเรซิน 2% โดยน้ำหนัก และเรซิน 2.5% โดยน้ำหนัก เกิดปัญหาไส้แบบแตก 11.5% และ 10.5% ของปริมาณชิ้นงาน ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณเรซินในทรายธรรมชาติ ยังไม่สามารถแก้ปัญหาไส้แบบแตกได้ และจากการผลิตที่ผ่านมาของโรงงาน พบว่า หากเพิ่มปริมาณเรซินมากขึ้นกว่านี้ จะพบปัญหาแก็สที่จะเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเรซิน จึงทำการปรับปรุงความแข็งแรงของทรายไส้แบบ โดยการเปลี่ยนชนิดของทราย

ผลจากการเปลี่ยนชนิดของทรายและชนิดของเรซิน โดยเทหลอมที่อุณหภูมิ 1490 - 1500 °C พบว่า ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม มีปัญหาไส้แบบแตก 3.1% ของปริมาณชิ้นงาน ทรายสังเคราะห์มี ปัญหาไส้แบบแตก 2.1% ของปริมาณชิ้นงาน และไม่พบปัญหาไส้แบบแตกกับทรายรีเคลมเลย

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการทดลองจากบริษัทผลิตทราย ในกำหนดปริมาณเรซิน ไส้แบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตจริง

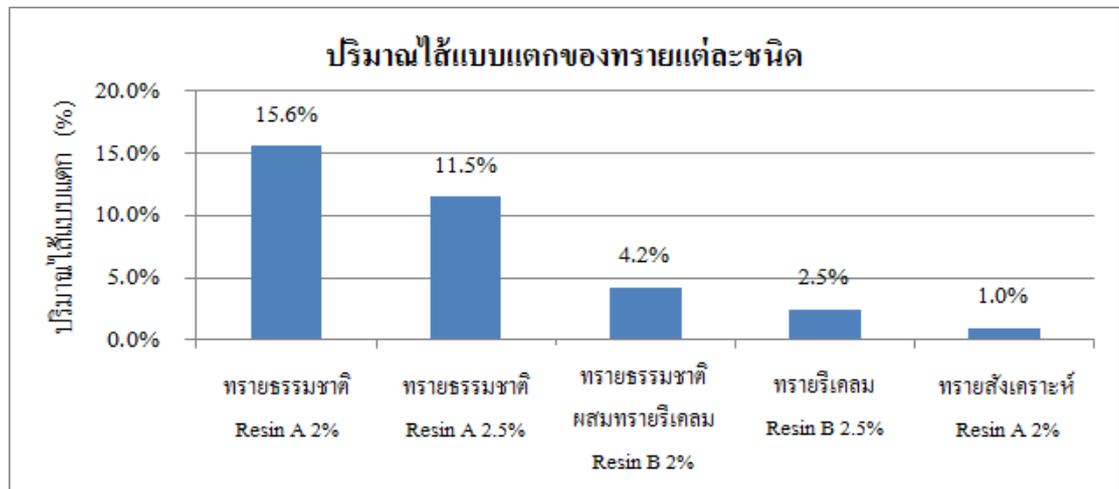
นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังพบว่า ในการทดลองมีปัญหาใบพัดไม่เต็มเกิดขึ้นอีกด้วย และการผลิตจริง โรงงาน ได้ใช้วิธีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจากเดิม 20 °C โดยเหน้าโลหะที่อุณหภูมิ 1510 - 1520 °C ดังนั้นผู้วิจัยจึง ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยทดลองทรายไส้แบบเทหลอมที่อุณหภูมิ 1510 - 1520 °C เพื่อหาทรายที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานจริงได้

4.2.3 ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิการเท

ผลการทดลองทรายใส่แบบทำจากทรายชนิดต่างๆ นำไปเทหลอมที่อุณหภูมิ 1510 - 1520 °C แสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองทรายใส่แบบ อุณหภูมิ 1510 - 1520 °C ครั้งที่ 1

การทดลอง	ชนิดของทราย	ชนิดของเรซิน	ปริมาณเรซิน	อุณหภูมิการเท	ปัญหาได้แบบแตก % โดยปริมาณ
1	ทรายธรรมชาติ	Resin A	2.0%	1510 - 1520 °C	15.6%
2	ทรายธรรมชาติ	Resin A	2.5%	1510 - 1520 °C	11.5%
3	ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม	Resin B	2%	1510 - 1520 °C	4.2%
4	รีเคลม	Resin B	2.5%	1510 - 1520 °C	2.5%
5	สังเคราะห์	Resin A	2%	1510 - 1520 °C	1.0%

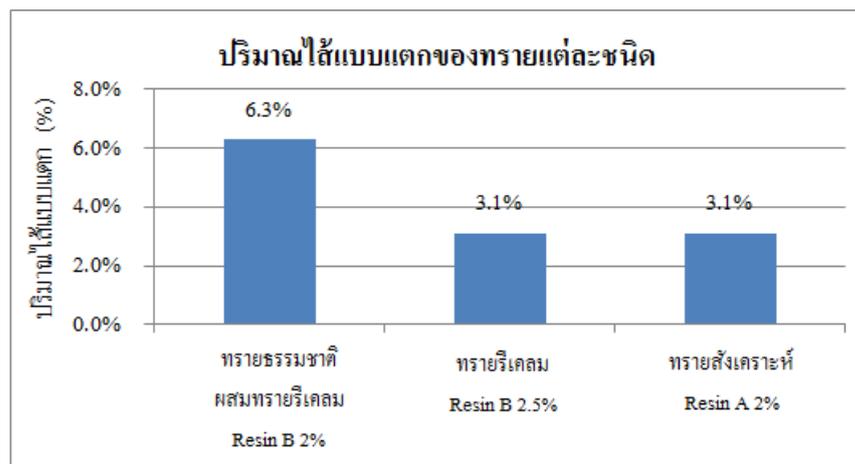


รูปที่ 4.6 ผลการทดลองทรายใส่แบบ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ 1510 - 1520 °C ครั้งที่ 1

ผลการทดลอง เพิ่มอุณหภูมิการเทเป็น 1510 - 1520°C ครั้งที่ 1 ได้ผลดังนี้ ทรายธรรมชาติผสมเรซิน 2% และ 2.5% ยังคงพบปัญหาไส้แบบแตกอยู่ในปริมาณสูงถึง 15.6% และ 11.5% ตามลำดับ ส่วน ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม ทรายรีเคลมและทรายสังเคราะห์ พบปัญหาไส้แบบแตก 4.2%, 2.5% และ 1% ของปริมาณชิ้นงานที่ผลิต ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ทรายชนิดที่ 3, 4 และ 5 ได้ผลการทดลอง เป็นที่น่าพอใจ คือสามารถลดปัญหาไส้แบบแตกได้ ผู้วิจัยจึงทำการทดลองซ้ำกับทรายทั้ง 3 ชนิด เพื่อเลือกทรายที่เหมาะสมที่สุด การทดลองเพิ่มอุณหภูมิการเทน้ำโลหะเป็น 1510 - 1520°C ครั้งที่ 2 แสดง ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองทรายไส้แบบ อุณหภูมิ 1510 - 1520 °C ครั้งที่ 2

การทดลอง	ชนิดของทราย	ชนิดของเรซิน	ปริมาณเรซิน	อุณหภูมิการเท	ปัญหาไส้แบบแตก % โดยปริมาณ
1	ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม	Resin B	2%	1510 - 1520 °C	6.3%
2	รีเคลม	Resin B	2.5%	1510 - 1520 °C	3.1%
3	สังเคราะห์	Resin A	2%	1510 - 1520 °C	3.1%



รูปที่ 4.7 ผลการทดลองทรายไส้แบบ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ 1510 - 1520 °C ครั้งที่ 2

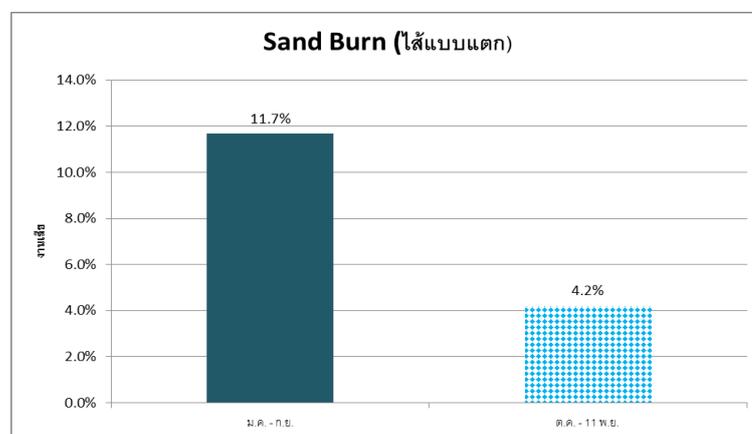
ผลการทดลองใช้อุณหภูมิการเท 1510 - 1520°C ครั้งที่ 2 โดยทดลองกับทรายที่มีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้ เพียง 3 ชนิด คือ ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม ทรายรีเคลม และทรายสังเคราะห์ ได้ผลการทดลองดังนี้ ทรายธรรมชาติผสมทรายรีเคลม พบปัญหาไส้แบบแตก 6.3% ของปริมาณชิ้นงานที่ผลิต ส่วนทรายรีเคลมและทรายสังเคราะห์ พบปัญหาไส้แบบแตกในปริมาณเท่ากัน คือ 3.1% ของปริมาณชิ้นงานที่ผลิต

ในการผลิตจริง ต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิต เมื่อเปรียบเทียบราคาทรายรีเคลมและทรายสังเคราะห์แล้ว ทรายรีเคลมมีราคา กิโลกรัมละ 7.30 บาท ส่วนทรายสังเคราะห์มีราคา กิโลกรัมละ 58 บาท ซึ่งทรายสังเคราะห์แพงกว่าประมาณ 8 เท่า ดังนั้น ทรายที่เหมาะสมที่สุดที่จะสามารถแก้ปัญหาไส้แบบแตกได้ และมีราคาเป็นที่ยอมรับได้ของโรงงานคือ ทรายรีเคลม

4.2.4 การขยายผลนำไปใช้ในการผลิต

จากผลการทดลองข้างต้น ผู้ทำวิจัยได้เลือกใช้ทรายรีเคลม เรซินชนิดธรรมดาผสมชนิดการขยายตัวต่ำ 2.5% โดยน้ำหนัก ที่มีค่าบอกลขนาดตามมาตรฐาน AFS อยู่ที่ 70 ค่าความแข็งแรง 81 kgf/cm² มาใช้ในการผลิตจริง และควบคุมอุณหภูมิการเทน้ำโลหะไว้ที่ 1510 - 1520 °C ถึงแม้ว่าผลการทดลองจะชี้ให้เห็นว่าทรายสังเคราะห์ให้ผลที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาทรายไส้แบบแตก แต่ด้วยเหตุผลในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการผลิตจริง เนื่องจากราคาทรายสังเคราะห์สูงกว่าทรายรีเคลมถึง 8 เท่า ทางผู้วิจัยจึงเห็นว่าทรายรีเคลมเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด เหมาะสมที่จะใช้ในกระบวนการผลิต

ทางโรงงานได้เริ่มใช้ทรายไส้แบบจากทรายรีเคลมเมื่อเดือนตุลาคม โดยใช้ในปริมาณ 80% ของการผลิต และใช้ 100% ของการผลิต เมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน พบว่า สามารถลดปัญหาไส้แบบแตกลงได้จริง ปัจจุบันพบปัญหาทรายไส้แบบแตกอยู่ที่ 4.2% ของปริมาณการผลิตงานรุ่น 400D และของเสียโดยรวมอยู่ที่ 14.7% ได้ตามเป้าหมายที่โรงงานตั้งไว้ แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 งานเสียจากปัญหาไส้แบบแตกลดลงในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. สาเหตุของปัญหาไส้แบบแตก ของงาน รุ่น 400D คือ ไส้แบบไม่สามารถทนทานต่อความร้อนที่สูงของน้ำโลหะหลอมเหลว โดยตำแหน่งที่เกิดปัญหาไส้แบบแตก คือ บริเวณที่ติดกับทางเข้าน้ำเหล็ก ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับน้ำเหล็กเป็นจุดแรกและได้รับความร้อนเป็นเวลานาน ทำให้ไส้แบบตรงบริเวณนั้นเกิดความเสียหาย และเกิดเหล็กแทรกเข้าไปในส่วนของไส้แบบที่แตก เป็นเหตุให้ช่องไบพัดอุดตัน และไม่สามารถนำชิ้นงานนั้นใช้งานได้
2. รูปร่างของเม็ดทราย มีผลต่อความแข็งแรงของทรายไส้แบบ คือ ทรายยังมีความกลมมนมาก ยังมีพื้นที่ยึดเกาะระหว่างกันมาก ซึ่งทรายสังเคราะห์มีรูปร่างกลมและมีความแข็งแรงมากที่สุด
3. กระจายตัวของเม็ดทราย มีผลต่อความแข็งแรงของไส้แบบ ทรายที่มีการกระจายตัวแบบทรายสังเคราะห์คือ มีทรายเม็ดเล็กค่อนข้างมากและขนาดค่อนข้างใกล้เคียงกัน จะให้ค่าความแข็งแรงที่ดีที่สุด
4. ค่าการขยายตัวทางความร้อนของทราย มีผลต่อความแข็งแรงของทราย และเป็นเหตุผลทำให้เกิดปัญหาไส้แบบแตกในงานวิจัยนี้ ทรายสังเคราะห์ที่มีการขยายตัวต่ำ จะช่วยให้ไส้แบบไม่แตกขณะที่โดนความร้อน ทรายสังเคราะห์มีค่าการขยายตัวทางความร้อนต่ำที่สุดและรองลงมาคือทรายรีเคลม ส่วนทรายใหม่ มีการขยายตัวมากที่สุด
4. ความแข็งแรงของทรายนอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยของรูปร่างเม็ดทราย การกระจายตัวและการขยายตัวทางความร้อนแล้ว ปริมาณเรซิน ประกอบกัน การเพิ่มปริมาณเรซิน จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของไส้แบบ และการใช้เรซินชนิดการขยายตัวต่ำ ก็สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของทรายได้เช่นกัน ปริมาณเรซินที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้ คือ 2.5%
5. ทรายสังเคราะห์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ทำไส้แบบ ชิ้นงานรุ่น 400FLEX10DIFF แต่เนื่องจากทรายสังเคราะห์มีราคาแพงกว่าทรายรีเคลมถึง 8 เท่า ในการผลิตต้องพิจารณาในเรื่องของราคาประกอบด้วย ดังนั้นทรายที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไส้แบบจึงเป็น ทรายรีเคลม เรซินชนิดธรรมดาผสมกับเรซินชนิดการขยายตัวต่ำ 2.5% สามารถแก้ปัญหางานเสียได้และมีราคาที่เหมาะสมที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะหรือข้อเสนอแนะำเพื่อศึกษาเพิ่มเติม

ผู้ทดลองได้เห็นปัญหางานเสียอีกชนิดหนึ่งคือ ปัญหาใบพัดไม่เต็ม และได้ทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งการเกิดปัญหาบนชิ้นงาน พบว่า ตำแหน่งที่ใบพัดไม่เต็มนั้น คือบริเวณตรงข้ามกับทางเข้าน้ำเหล็ก ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า สาเหตุของปัญหาใบพัดไม่เต็มในงานรุ่นนี้เกิดจากการที่น้ำโลหะเย็นตัวก่อนจะไปถึงตำแหน่งตรงข้าม ซึ่งเป็นตำแหน่งที่น้ำโลหะเดินทางไกลที่สุด จึงมีข้อเสนอแนะำในการแก้ปัญหาใบพัดไม่เต็มมา 3 วิธี คือ

- การเพิ่มอุณหภูมิเทน้ำเหล็ก เพื่อป้องกันน้ำเหล็กเย็นตัวก่อนไปถึงส่วนปลายใบพัด
- การเพิ่มความสูงของรูเทน้ำเหล็ก (Sprue) เพื่อเพิ่มแรงให้น้ำเหล็กวิ่งไปถึงปลายใบพัดได้เร็วขึ้น ก่อนที่จะเย็นตัว
- การแก้ไขทางเดินน้ำโลหะ โดยลดระยะของทางวิ่งน้ำเหล็ก (Runner) ให้ตำแหน่งของชิ้นงานใกล้กับทางวิ่งน้ำโลหะมากขึ้น

ผู้ทดลองหวังเป็นอย่างยิ่งว่าข้อเสนอแนะำเพิ่มเติมข้างต้น จะสามารถเป็นทางเลือกในการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. ASM Handbook Vol. 01, **Properties and Selection Irons, Steel, and High Performance Alloys**, Library of Congress Cataloging The United States of America.
2. สมบุญ เจริญวิไลศิริ, “Applied Material Science and Engineering”, เอกสารประกอบการเรียนวิชา **Metallurgy of Cast Irons**, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
3. มนต์ สติรจินดา, 2536, **เหล็กหล่อ**, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 73-74.
4. Covert, R., 1998, **Properties and Applications of Ni-Resist and Ductile Ni-Resist Alloys** [Online], Available: <http://www.nickelinstitute.org> [Nov, 2014]
5. หริส สุตะบุตร และเคนยิ จิยอิวา, 2543, **หล่อโลหะ**, พิมพ์ครั้งที่ 5, สำนักพิมพ์ดวงกมล, กรุงเทพฯ, หน้า 195-213.
6. พิษณุ ชัยพรหมเชียว, **Type of Base Sand for Mould** [Online], Available: <http://www.pinepacific.com> [Nov, 2014]
7. Thiel, J., 2014, **Cause and Solutions to Veining Defect in Iron and Steel Casting**, AFS Proceedings 2014, American Foundry Society.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นางสาวหทัยวรรณ เหล่าวัลลภ
วัน เดือน ปีเกิด	25 สิงหาคม 2529
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพนัสพิทยาคาร พ.ศ. 2546
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2551
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2557
ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย	ทุนเพชรพระจอมเกล้า พ.ศ. 2553
ประวัติการทำงาน	วิศวกรฝ่ายคุณภาพ บริษัทไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด พ.ศ. 2551 - 2554 วิศวกรฝ่ายผลิต บริษัทเบเกอร์ ฮิวส์ แมนูแฟคเจอร์รี่ง ประเทศไทย พ.ศ. 2555 - ปัจจุบัน