546.673
ส281ก
ร.3

การสร้างเตาหลอมละลายอลูมิเนียมขนาด 1 กิโลกรัม

ปริญญานิพนธ์

ของ

ชวลิต เชียงกูล

23 ส.ค. 2539

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
สิงหาคม 2538

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

197147

การสร้างเตาหลอมละลายอลูมิเนียมขนาด 1 กิโลกรัม

บทคัดย่อ

โดย

ชาลิต เชียงกูล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

สิงหาคม 2538

จุดมุ่งหมายในการวิจัยครั้งนี้คือ การสร้างเตาหลอมละลายอลูมิเนียมขนาด 1 กิโลกรัม และให้มีสมรรถนะ 5 ด้าน ซึ่งได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะการใช้งาน การบำรุงรักษา การหลอมละลายและความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน โดยให้ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในการควบคุมงานหล่อโลหะ จำนวน 10 ท่าน ประเมินสมรรถนะ ซึ่งปรากฏผลการประเมินดังนี้

ลักษณะทางกายภาพ อยู่ในระดับดี

ลักษณะการใช้งาน อยู่ในระดับดี

การบำรุงรักษา อยู่ในระดับดี

การหลอมละลาย อยู่ในระดับดี

ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน อยู่ในระดับดี จึงสามารถสรุปได้ว่าสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอยู่ในระดับดี ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ แต่ถ้าพิจารณารายละเอียดในแต่ละสมรรถนะจะพบว่าสมรรถนะด้านกายภาพเกี่ยวกับความแข็งแรงของชิ้นส่วน สมรรถนะด้านการใช้งานเกี่ยวกับการเตรียมวัตถุดิบ และสมรรถนะด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้งานหล่อวิจิตรพบว่ายังมีสมรรถนะอยู่ในระดับพอใช้ได้เท่านั้น

A CONSTRUCTION OF A CRUCIBLE FURNACE FOR MELTING ALUMINIUM IN 1 KILOGRAM

AN ABSTRACT

BY

CHAVALIT CHAINGKUL

Present in Partial fulfillment of the requiments for master of Education degree in Industrial Educational at Srinakharinwirot University

August 1995

The purpose of this experimental study were to a construction of a crucible furnace for melting aluminium in 1 kilogram and it has five capacities i.e. physical characteristic, operation characteristic, maintenance, melting and appropriated operation. There are ten profession had experience in foundry control for capacity evaluation was to find; physical characteristic at the good level, operation at the good level ,maintenance at the good level , melting at the good level , and appropriated operation at the good level.

To add up the arithmetic mean 4.10 or to summarize the capacity of minicrucible furnace and to use diesel oil are fuel. There are capacity at the good level to same the research hypothesis but to consider the part of capacity was to find i.e. the physical characteristic of the strength, the operation characteristic to prepare of the material and the appropriated operation of an investment mould was to find the capacity at the fair level.

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พูนเกียรติ ประถมบุตร)

..... กรรมการ
(ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พูนเกียรติ ประถมบุตร)

..... กรรมการ
(ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล)

..... กรรมการแต่งตั้งเพิ่มเติม
(ดร.คทา ชื่นตา)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ดร.ศิริยุภา พูลสุวรรณ)
วันที่ 4 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2538

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเมตตากรุณาให้คำปรึกษา แนะนำอย่างดียิ่งจาก ผศ.พูนเกียรติ ประถมบุตร ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล และ ดร.ดนา ชื่นตา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณอาจารย์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน และสถาบันราชภัฏ พระนคร ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและความรู้แก่ผู้วิจัย จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ชวลิต เชียงกูล

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	จุดมุ่งหมายในการวิจัย	4
	ความสำคัญของการวิจัย	4
	ขอบเขตของการวิจัย	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	5
	สมมุติฐานการวิจัย	7
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการหลอมละลายโลหะ	9
	ความหมายของการหลอมละลายโลหะ	9
	เตาหลอมละลายโลหะชนิดต่างๆ	9
	เตาหลอมละลายโลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลอมละลาย	9
	เตาหลอมละลายโลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลอมละลายอลูมิเนียม	14
	ส่วนประกอบต่างๆ ของเตาเบ้า	18
	ผนังเตาด้านนอก	18
	ผนังเตาด้านใน	18
	หัดลมเป่า	20
	ท่อส่งลม	20
	เบ้าหลอม	21
	ถังเชื้อเพลิง	22
	สายส่งเชื้อเพลิง	22
	หัวฉีดเชื้อเพลิง	23
	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกันกับเตาเบ้า	24
	เครื่องมือวัดอุณหภูมิ	24
	คีมด้ามยาว	24

บทที่ หน้า

ขบวนการหลอมละลายอลูมิเนียมด้วยเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง..... 25
ขั้นเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์..... 26
ขั้นการหลอมละลายอลูมิเนียม..... 40
ขั้นการตกแต่งชิ้นงาน..... 44
การทดสอบคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียม..... 55
การทดสอบแรงดึง..... 56
การทดสอบความแข็ง..... 57
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 58

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 60
วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 60
สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย..... 62
การดำเนินการวิจัย..... 62
การวิเคราะห์ข้อมูล..... 68

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 71
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก..... 71
ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ..... 79

5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 81
จุดมุ่งหมายในการวิจัย..... 81
ความสำคัญของการวิจัย..... 81
สมมุติฐานการวิจัย..... 81
การดำเนินการวิจัย..... 82
ผลการวิจัย..... 82
อภิปรายผล..... 83
ข้อเสนอแนะ..... 83

บทที่ หน้า

บรรณานุกรม..... 85

ภาคผนวก..... 89

ตอน ก..... 90

ตอน ข..... 92

ตอน ค..... 100

ตอน ง..... 106

ตอน จ..... 118

ประวัติย่อของผู้วิจัย..... 121

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	อัตราส่วนผสมของผนังเตาด้านใน.....	64
2	การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....	71
3	การวิเคราะห์ลักษณะการใช้งานของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....	73
4	การวิเคราะห์ลักษณะการบำรุงรักษาของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....	74
5	การวิเคราะห์สมรรถนะการหลอมละลายของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....	76
6	การวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งานของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....	77
7	การวิเคราะห์สมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....	78
8	จัดลำดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 ท่าน ที่มีต่อสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก.....	79
9	เปรียบเทียบเตาเบ้าในงานอุตสาหกรรมกับเตาเบ้าในงานวิจัยนี้.....	91

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1 แสดงส่วนประกอบของเตาบลาสต์..... 9
2 แสดงส่วนประกอบเตาคิวโปลา..... 10
3 แสดงส่วนประกอบของเตาเบ้า..... 11
4 แสดงลักษณะของเตาอาร์ค..... 12
5 แสดงส่วนประกอบเตาอินดัคชั่น..... 13
6 แสดงลักษณะของเตาเบ้าชนิดยกตัวกาน้ำโลหะ..... 14
7 แสดงลักษณะของเตาเบ้าที่ใช้ถ่านโค้ก น้ำมัน และแก๊สเป็นเชื้อเพลิง... 15
8 แสดงลักษณะเตาอินดัคชั่น..... 17
9 แสดงลักษณะเตากระทะ..... 17
10 แสดงส่วนประกอบของเตาเบ้า..... 19
11 แสดงลักษณะพัดลมเป่า..... 20
12 แสดงลักษณะท่อส่งลม..... 21
13 แสดงลักษณะของเบ้าหลอม..... 21
14 แสดงลักษณะถังน้ำมัน..... 22
15 แสดงลักษณะสายส่งเชื้อเพลิง..... 23
16 แสดงลักษณะของหัวฉีด..... 23
17 แสดงลักษณะเครื่องมือวัดอุณหภูมิ..... 24
18 แสดงลักษณะของคีมด้ามยาว..... 25
19 แสดงลำดับขั้นการหล่อหลอมโลหะจากแบบทราย..... 26
20 แสดงลักษณะของเม็ดทราย..... 27
21 แสดงส่วนผสมของทรายทำแบบหล่อ..... 28
22 แสดงลักษณะของเครื่องผสมทราย..... 28
23 แสดงวิธีการทำน้ำโลหะให้บริสุทธิ์..... 30
24 แสดงลักษณะหุ่นแบบชนิดชิ้นเดียว..... 31
25 แสดงลักษณะหุ่นแบบชนิดแยกชิ้น..... 31
26 แสดงลักษณะชิ้นงานหล่อ..... 32
27 แสดงลักษณะการหล่อแบบอัด..... 33
28 แสดงลักษณะของหีบหล่อ..... 34

ภาพประกอบ หน้า

29 แสดงลักษณะเครื่องมือทำแบบ..... 35
30 แสดงลักษณะชิ้นงานหล่อและหุ่นแบบ..... 36
31 แสดงลำดับขั้นการทำแบบด้วยมือ..... 37
32 แสดงลักษณะการทำไส้แบบ..... 38
33 แสดงการทำแบบด้วยเครื่อง..... 39
34 แสดงขั้นตอนการทำแบบด้วยเครื่อง..... 39
35 แสดงลักษณะเบ้าเลียงเทด้วยเนื้อง..... 42
36 แสดงวิธีการเทน้ำโลหะ..... 42
37 แสดงลักษณะการเทน้ำโลหะด้วยเบ้าเทขนาดใหญ่..... 43
38 แสดงลักษณะเบ้าเทด้านล่าง..... 43
39 แสดงลักษณะการเทน้ำโลหะด้วยเบ้าเทมือ..... 44
40 แสดงลักษณะเครื่องเขย่าทราย..... 45
41 แสดงลักษณะเครื่องทลวงไส้แบบ..... 45
42 แสดงลักษณะการทำความสะอาดโดยการยิงด้วยเม็ดโลหะ..... 46
43 แสดงลักษณะค้อนลมและสกัด..... 46
44 แสดงลักษณะการตัดงานหล่อด้วยแก๊ส..... 47
45 แสดงลักษณะเครื่องเจียรนัยเพลาอ่อน..... 48
46 แสดงลักษณะเครื่องเลื่อยสายพาน..... 48
47 แสดงการตัดด้วยเครื่องเลื่อยสายพาน..... 49
48 แสดงการใช้รังสีตรวจสอบรอยเชื่อม..... 51
49 แสดงลักษณะการเหนี่ยวนำของอำนาจแม่เหล็ก..... 52
50 แสดงลำดับขั้นการตรวจสอบด้วยสารเรืองแสง..... 53
51 แสดงการตรวจสอบด้วยเสียงอุลตร้าโซนิค..... 54
52 แสดงลักษณะแนวแรงที่เกิดความเค้นแรงดึง..... 55
53 แสดงลักษณะแนวแรงที่เกิดความเค้นแรงอัด..... 56
54 แสดงลักษณะแนวแรงที่เกิดความเค้นแรงเฉือน..... 56
55 แสดงลักษณะแท่งทดสอบแรงดึง..... 57
56 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 63
57 แสดงส่วนประกอบของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก..... 107
58 แสดงขนาดของขาตั้งถังน้ำมัน..... 108

ภาพประกอบ หน้า

59 แสดงลักษณะและขนาดของฐานรองรับถังน้ำมัน..... 109
60 แสดงขนาดของถังน้ำมันและรายละเอียดของวาล์วปิด-เปิดน้ำมัน
สายส่งน้ำมัน และพัดลมเป่า..... 110
61 แสดงขนาดของท่อส่งลมส่วนนอกและหัวฉีดน้ำมัน..... 111
62 แสดงขนาดของท่อส่งลมส่วนใน..... 112
63 แสดงขนาดของผนังเตาด้านนอก ผนังเตาด้านใน และภาพประกอบ
ท่อส่งลมส่วนใน..... 113
64 แสดงขนาดของฝาปิดเตา..... 114
65 แสดงขนาดของขาตั้งเตาและรายละเอียดของสลักเกลียวและแป้นเกลียว 115
66 แสดงขนาดของฐาน..... 116
67 แสดงขนาดของมือจับและเบ้าหลอม..... 117

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

กรมอาชีวศึกษามีหน้าที่จัดการศึกษาวิชาชีพในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และระดับอุดมศึกษา ซึ่งในปัจจุบันได้จัดการศึกษาวิชาชีพหลายสาขาวิชา เช่น สาขาวิชาพาณิชยกรรม สาขาวิชาศิลปกรรม สาขาวิชาเกษตรกรรม สาขาวิชาคหกรรม และสาขาวิชาอุตสาหกรรม ซึ่งในทุกสาขาวิชาที่กล่าวนั้น จุดประสงค์ของการศึกษาก็คือ ต้องการให้ผู้เรียนมีความรู้และทักษะในแต่ละสาขาวิชา เพื่อนำไปใช้ในการประกอบอาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด (กระทรวงศึกษาธิการ. 2530 : หลักการ) ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนจึงมีจุดมุ่งหมายเน้นให้ผู้เรียนมีความรู้และทักษะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิชาอุตสาหกรรม ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักรเข้ามาในกระบวนการเรียนการสอน เพราะการเรียนรู้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างการฝึกปฏิบัติจนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมตามแนวทางที่ต้องการ (ประสาท อิศรปรีดา. 2520 : 4) แต่ในสภาพปัจจุบันวิทยาลัยเทคนิค สังกัดกรมอาชีวศึกษา ซึ่งทำหน้าที่จัดการเรียนการสอนในสาขาวิชาอุตสาหกรรม ยังไม่สามารถจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์และเครื่องจักรเข้ามาใช้เป็นสื่อในกระบวนการเรียนการสอนได้อย่างพอเพียง จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการศึกษาด้านอาชีวศึกษาทั้งในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และระดับอุดมศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ.2522-2532 พบว่าสถานศึกษาขาดแคลนวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือ และเครื่องจักรมากที่สุด (วิชัย แหวนเพชร. 2535 : 32-33) ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักรนั้นมีราคาแพงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องมือ อุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ในการเรียนการสอนในสาขาวิชาช่างกลโรงงาน จากงานวิจัยของ จุมพล เทียมเมืองแพน (2535 : ค) พบว่าการจัดการเรียนการสอนในระดับ ปวช. และระดับ ปวส. ในสาขาวิชาช่างกลโรงงานมีเครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักรจำนวนน้อยกว่ามาตรฐานที่กรมอาชีวศึกษากำหนดไว้ ทั้งนี้ยังมีเครื่องจักรชำรุดที่ยังไม่ได้ซ่อมแซมอีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งจะส่งผลต่อการเรียนการสอนอย่างยิ่ง แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคสังกัดกรมอาชีวศึกษาบางสถานศึกษาได้จัดให้มีการเรียนการสอน วิชางานหล่อโลหะ สำหรับนักศึกษาระดับ ปวช.3

แต่ปรากฏว่ายังไม่สามารถฝึกนักศึกษาให้เรียนรู้ในด้านปฏิบัติได้ครบทุกขั้นตอนของการหล่อโลหะ เนื่องจากการเรียนการสอนวิชางานหล่อโลหะ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนในการปฏิบัติงานดังนี้ การปั้นแบบ การหลอมละลายโลหะ การเทน้ำโลหะ และการตกแต่งชิ้นงานหล่อ (หริส สุตะบุตร และ จิธิอิวา. 2535 : 3) จะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนสำคัญ 4 ขั้นตอน แต่ในสภาพปัจจุบันนักศึกษาแผนกช่างกลโรงงานชั้นปีที่ 3 ที่เรียนวิชางานหล่อโลหะสามารถปฏิบัติงานได้เฉพาะขั้นตอนที่ 1 เท่านั้น ทั้งนี้เพราะในขั้นตอนที่ 1 จะใช้ทราย หีบหล่อ และอุปกรณ์ในการปั้นแบบเท่านั้น ซึ่งวัสดุและอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาถูกและหาได้ง่ายภายในประเทศ แต่ในขั้นตอนที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการหล่อโลหะ นักศึกษาไม่สามารถปฏิบัติงานได้ ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีเตาหลอมละลายโลหะ ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในกระบวนการหล่อโลหะ การขาดแคลนอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นเพราะงบประมาณของสถานศึกษามีจำนวนจำกัด และเตาหลอมละลายโลหะนั้นมีราคาแพง สถานศึกษาจึงไม่สามารถจัดหาอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้ปฏิบัติงาน จึงทำให้นักศึกษาขาดทักษะและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานหล่อโลหะได้ครบทุกขั้นตอน

นอกจากปัญหาที่เกิดขึ้นในสถานศึกษาดังกล่าวแล้ว ในโรงงานหล่อโลหะประเภทนอกกลุ่มเหล็ก ซึ่งได้แก่ อลูมิเนียม แมกนิเซียม และลิเธียม ก็พบปัญหาด้วยเช่นกัน กล่าวคือ โลหะนอกกลุ่มเหล็กเช่น อลูมิเนียม ซึ่งมีปริมาณอลูมิเนียมไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนักเป็นอลูมิเนียมบริสุทธิ์ ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลต่ำ(ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และสาโรช ชิติเกียรติพงศ์. 2521 : 187) จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ทำชิ้นส่วนต่างๆทางวิศวกรรม ดังนั้นจึงต้องมีการนำธาตุอื่นๆ เช่น ทองแดง สังกะสี และซิลิกอน ผสมลงไปในขณะที่อลูมิเนียมหลอมละลายอยู่ในเตาหลอมตามอัตราส่วนที่ต้องการ เพื่อให้อลูมิเนียมนั้นมีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลสูงขึ้น แต่ภายหลังการผสมธาตุต่างๆลงไปในอลูมิเนียมแล้ว ก็จำเป็นต้องตรวจสอบว่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลเพิ่มขึ้นตามต้องการหรือไม่ ถ้าได้คุณสมบัติครบถ้วนตามที่ต้องการ จึงนำเอาไปผลิตในสายการผลิตต่อไป แต่โดยสภาพความจริง โรงงานหล่อโลหะมิได้ทำเช่นนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานหล่อโลหะขนาดเล็กที่มีทุนต่ำ ทั้งนี้เพราะขั้นตอนในการปฏิบัติการดังกล่าวทำให้สิ้นเปลืองวัสดุ เวลา และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการก็มีราคาแพง ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นโรงงานหล่อโลหะดังกล่าวจึงแก้ปัญหาโดยหลอมละลายอลูมิเนียมตามมาตรฐานของบริษัทอลูมิเนียมในประเทศสหรัฐอเมริกา มาตรฐานของบริษัทดังกล่าวจึงมี

อิทธิพลต่อการผลิตอลูมิเนียมทั่วโลก (ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และ สาโรช ธิติเกียรติพงศ์. 2521: 183) ปัญหาดังกล่าว จึงส่งผลให้โรงงานหล่อโลหะขนาดเล็กไม่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเอง

สำหรับในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของอลูมิเนียม มีหลายชนิด แต่ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งก็ คือ เตาหลอมละลายโลหะที่ใช้ในการผสมธาตุต่างๆ ลงไป ซึ่งเตาหลอมละลายโลหะนี้ควรมีลักษณะที่สามารถใช้งานได้ง่าย หลอมละลายโลหะได้รวดเร็ว มีกระบวนการปฏิบัติงานเหมือนกับเตาเบ้าที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในโรงงานหล่อโลหะ อีกทั้งควรมีขนาดเล็กเหมาะสำหรับการปฏิบัติงานในห้องทดลอง และราคาถูก

จากสภาพปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างเตาหลอมละลายโลหะ โดยให้มีความสามารถในการหลอมละลายอลูมิเนียมได้ 1 กิโลกรัม ซึ่งเป็นเตาหลอมละลายโลหะที่มีขนาดเล็ก ใช้งานได้สะดวก สามารถเคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในพื้นที่ต่างๆ ได้ โดยอาศัยน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการให้ปริมาณความร้อน ซึ่งน้ำมันดีเซลดังกล่าวจัดหาได้ง่ายและมีราคาถูก นอกจากนั้นชิ้นส่วนบางชิ้นได้ออกแบบใหม่ให้สามารถสร้างและซ่อมแซมได้ง่าย แต่ราคาถูกลงและควบคุมการทำงานได้ง่าย โดยใช้ผู้ควบคุมเพียง 1 คน เท่านั้นก็สามารถหลอมละลายโลหะได้ จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการของโรงงานหล่อโลหะ ซึ่งจะทำให้โรงงานหล่อโลหะได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ อยู่เสมอ ทั้งนี้เพื่อให้อุตสาหกรรมหล่อโลหะของประเทศไทย สามารถพัฒนากระบวนการให้ทัดเทียมกับประเทศต่างๆ ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถให้นักศึกษาที่เรียนวิชางานหล่อโลหะใช้เป็นอุปกรณ์ในการปฏิบัติงาน จะช่วยให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติงานหล่อโลหะได้ครบทุกขั้นตอน อันจะมีผลให้เกิดการเรียนรู้อันเนื่องมาจากการฝึกปฏิบัติ จนทำให้เกิดทักษะและประสบการณ์ นักศึกษาจึงสามารถนำทักษะและประสบการณ์นั้นไปประกอบอาชีพอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดประสานกับแผนการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2535 ซึ่งกล่าวว่า กระบวนการเรียนการสอนต้องเน้นการฝึกปฏิบัติ หรือจัดกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้และทักษะที่จะประกอบวิชาชีพ และเป็นกำลังสำคัญทางเศรษฐกิจที่มีคุณภาพของประเทศต่อไป

จุดมุ่งหมายในการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ให้มีความสามารถในการหลอมละลายอลูมิเนียม ครั้งละ 1 กิโลกรัม

2. เพื่อทดสอบและประเมินสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

ความสำคัญของการวิจัย

1. สามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์ในกระบวนการหล่อโลหะ

2. สามารถนำไปใช้ในโรงฝึกงานสถานศึกษา และนำไปใช้ในห้องทดลองของโรงงานหล่อโลหะ

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุตามความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังต่อไปนี้

1. เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กชนิดที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีความสามารถในการหลอมละลายอลูมิเนียมได้ 1 กิโลกรัม พร้อมอุปกรณ์ประกอบ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (thermocouple) และคีมด้ามยาว

2. คู่มือการใช้เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ซึ่งแสดงรายละเอียดการใช้งาน การบำรุงรักษา และความปลอดภัยในการใช้งาน

3. ผู้วิจัยสาธิตการใช้เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

4. ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 ท่าน ประเมินสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เตาหลอมละลายโลหะ (furnace) หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำให้โลหะ เช่น อลูมิเนียม ทองเหลืองหลอมละลายโดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล โดยทั่วไปเรียกเตาหลอมนี้ว่า เตาเบ้า หรือ เตาครูซิเบิล (crucible furnace)

2. เบ้าหลอม หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุทนความร้อนสูง รูปร่างคล้ายถ้วยทรงสูง สำหรับใส่โลหะที่ต้องการหลอมละลายลงภายในเบ้า แล้วนำเบ้าใส่ในเตาหลอมละลายโลหะเพื่อทำการหลอม เบ้าหลอมนี้ยังไม่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ดังนั้นจึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

3. หัวฉีด หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำจากท่อโลหะปลายแบนทำหน้าที่จ่ายน้ำมันเป็นฝอยผสมกับอากาศภายในเตา

4. น้ำมันดีเซล หมายถึง น้ำมันที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เป็นน้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ไม่ระเหย ติดไฟได้ยาก แต่มีราคาถูก (อรรจน์ ประภาพิทยากร และ พิพัฒน์ เมฆประเสริฐ . 2531 : 146)

5. พัดลมเป่า (blower) หมายถึง พัดลมที่มีท่อส่งลมภายในตัวเอง ทำหน้าที่ส่งลมเข้าเตาเพื่อช่วยในการเผาไหม้

6. โพรงแบบ (mould) หมายถึง ช่องว่างที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำแบบ ช่องว่างนี้จะมีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงานที่เราต้องการ

7. หล่อวิจิตร หมายถึง การหล่อโลหะขนาดเล็กและมีความสวยงาม เช่น การหล่อเครื่องประดับ

8. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (thermocouple) หมายถึง เครื่องมือที่ใช้สำหรับตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำโลหะ โดยสามารถตรวจสอบอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 200-1200 องศาเซลเซียส

9. น้ำโลหะ หมายถึง อลูมิเนียมที่เปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว เมื่อได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิ 658 องศาเซลเซียส

10. คีมด้ามยาว หมายถึง คีมที่ออกแบบและสร้างขึ้นโดยให้มีด้ามจับยาวเท่ากับ 500 ม.ม สำหรับปากจับนั้นออกแบบ และสร้างขึ้นให้เหมาะสมกับการจับเบ้าหลอมขณะปฏิบัติงาน

11. ตัวประสาน หมายถึง สิ่งใดก็ตามที่ใส่ลงไปผสมกับทรายหล่อ เพื่อให้ทรายแต่ละเม็ดจับยึดกันได้ ทำให้ทรายหล่อคงรูปร่างตามที่ช่างปั้นแบบหล่อต้องการ

12. การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย หมายถึง การตรวจสอบชิ้นงานว่ามีคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางเคมีถูกต้องหรือไม่ โดยที่ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบนั้นไม่แตกหัก บิดงอ หรือเสียรูปทรง (ชาโตะ.2530 : 2)

13. กระสวนหรือหุ่นแบบ (pattern) หมายถึง อุปกรณ์สำหรับทำโพรงแบบจะมีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงานที่เราต้องการ แต่จะมีขนาดใหญ่กว่า ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขนาดเพื่อชดเชยการหดตัวของโลหะ(หริส สูตะบุตร และ จิธิอิวา. 2535 : 52) แบบหล่อทำจากวัสดุหลายชนิด เช่น ไม้, พลาสติก และโลหะ

14. คุณสมบัติทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติที่ไม่เกี่ยวข้องกับแรงกระทำต่างๆ เช่น คุณสมบัติการไหลของน้ำโลหะ หรือคุณสมบัติที่ทำให้โลหะนั้นมีน้ำหนักเบาขึ้น (ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และ สาโรช ธิติเกียรติพงศ์. 2521 : 189 - 190)

15. คุณสมบัติทางกล หมายถึง คุณสมบัติของวัสดุในการตอบสนองต่อแรงภายนอกที่มากระทำ ไม่ว่าแรงนั้นจะมีลักษณะใดก็ตาม (ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และ สาโรช ธิติเกียรติพงศ์. 2521 : 25)

16. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก หมายถึง โลหะที่ไม่มีเหล็กผสมอยู่ เช่น ทองแดง, ทองเหลือง, อลูมิเนียม ฯลฯ

17. ผู้เชี่ยวชาญ หมายถึง ผู้มีประสบการณ์ 5 ปีขึ้นไป ในการควบคุมการปฏิบัติงานหล่อโลหะ

18. สมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก หมายถึง คุณสมบัติของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่เหมาะแก่การจัดทำสิ่งใดสิ่งหนึ่ง (ราชบัณฑิตยสถาน. 2531 : 814) ดังนั้นสมรรถนะของเตาตามความหมายนี้ จึงหมายถึง ไม่ว่าจะเป็นเตาประเภทใดก็ตาม เตานั้นย่อมจัดทำสิ่งต่างๆได้ดังนี้ เผาได้ในอุณหภูมิที่ต้องการ กระจายความร้อนได้สม่ำเสมอทั้งเตา มีความทนทานต่อการใช้งาน ประหยัดเชื้อเพลิง มีความปลอดภัยสูง บำรุงรักษาได้ง่าย และใช้ได้สะดวกคล่องตัว (ทวี พรหมฤกษ์. 2525 : 1) ซึ่งสามารถจัดกลุ่มสมรรถนะของเตาได้ 5 ด้านดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพ หมายถึง ขนาดของเตากระทัดรัด สวยงาม ชิ้นส่วนทุกชิ้นออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนและประกอบได้ มีความ

แข็งแรง ปลอดภัยขณะใช้งาน และขนาดของเตาออกแบบได้อย่างเหมาะสม

2. ลักษณะการใช้งาน หมายถึง การเตรียมวัตถุดิบและการอุ่นเตาสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดเวลา อีกทั้งการใส่วัตถุดิบก็ทำได้สะดวก และการหยุดปฏิบัติงานก็ทำได้โดยการปิดน้ำมันและปิดพัดลมเป่า

3. ลักษณะการบำรุงรักษา หมายถึง การบำรุงรักษาก่อนการปฏิบัติงานทำได้เหมาะสม การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นไม่ก่อให้เกิดการชำรุดเสียหาย ถ้าชำรุดก็สามารถซ่อมแซมได้ง่าย ทั้งนี้เพราะวัสดุทุกชิ้นหาได้ง่ายและราคาถูก

4. สมรรถนะการหลอมละลาย หมายถึง หลอมละลายอลูมิเนียม 1 กิโลกรัม ได้ภายในเวลา 30 นาที ทำให้อุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิเทน้ำโลหะ หลอมละลายโลหะนอกกลุ่มเหล็กได้และประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

5. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน หมายถึง ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน ก็สามารถใช้ได้ โดยการนำไปใช้ในห้องทดลอง โรงฝึกงานสถานศึกษา หรือนำไปใช้ในการหล่อแบบวิจิตร และเคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต่างๆ ได้

สมมติฐานการวิจัย

เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะอยู่ในระดับดี

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร ตำราและงานวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์และทำให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่ได้ตั้งไว้ โดยแยกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการหลอมละลายโลหะ
   - 1.1 ความหมายของการหลอมละลายโลหะ
   - 1.2 เตาหลอมละลายโลหะชนิดต่างๆ
   - 1.3 เตาหลอมละลายโลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลอมละลายอลูมิเนียม
2. ส่วนประกอบต่างๆ ของเตาเบ้า
   - 2.1 ผนังเตาด้านนอก
   - 2.2 ผนังเตาด้านใน
   - 2.3 พัดลมเป่า
   - 2.4 ท่อส่งลม
   - 2.5 เบ้าหลอม
   - 2.6 ถังเชื้อเพลิง
   - 2.7 สายส่งเชื้อเพลิง
   - 2.8 หัวฉีดเชื้อเพลิง
3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับเตาเบ้า
   - 3.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ
   - 3.2 คีมด้ามยาว
4. กระบวนการหลอมละลายอลูมิเนียมด้วยเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง
   - 4.1 ขั้นเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์
   - 4.2 ขั้นการหลอมละลายอลูมิเนียม
   - 4.3 ขั้นการตกแต่งชิ้นงาน
5. การทดสอบคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียม
   - 5.1 การทดสอบแรงดึง
   - 5.2 การทดสอบความแข็ง
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

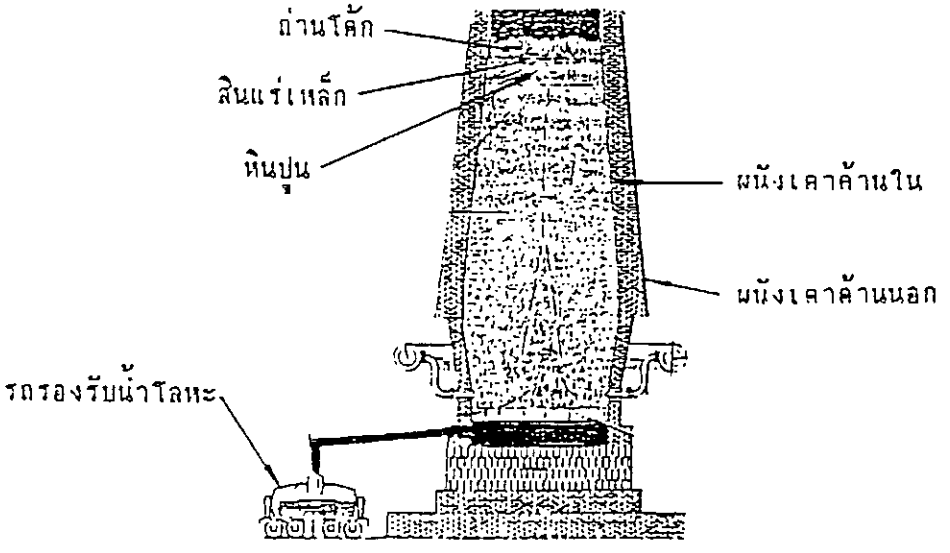
1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการหลอมละลายโลหะ

การหลอมละลายโลหะเป็นกระบวนการแปรรูปโลหะ โดยใช้ความร้อนและความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของโลหะ อีกทั้งคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการหลอมละลายโลหะนั้นๆ ซึ่งสามารถสรุปเป็นรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

1.1 ความหมายของการหลอมละลายโลหะ(foundry) การหลอมละลายโลหะหมายถึงการทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว จากนั้นนำโลหะนั้นไปเทลงในโพรงแบบ ซึ่งโพรงแบบนั้นจะมีรูปร่างตามที่เราต้องการ ส่วนการหลอมละลายโลหะหรือการทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะนั้นสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ ซึ่งเรียกว่า เตาหลอม

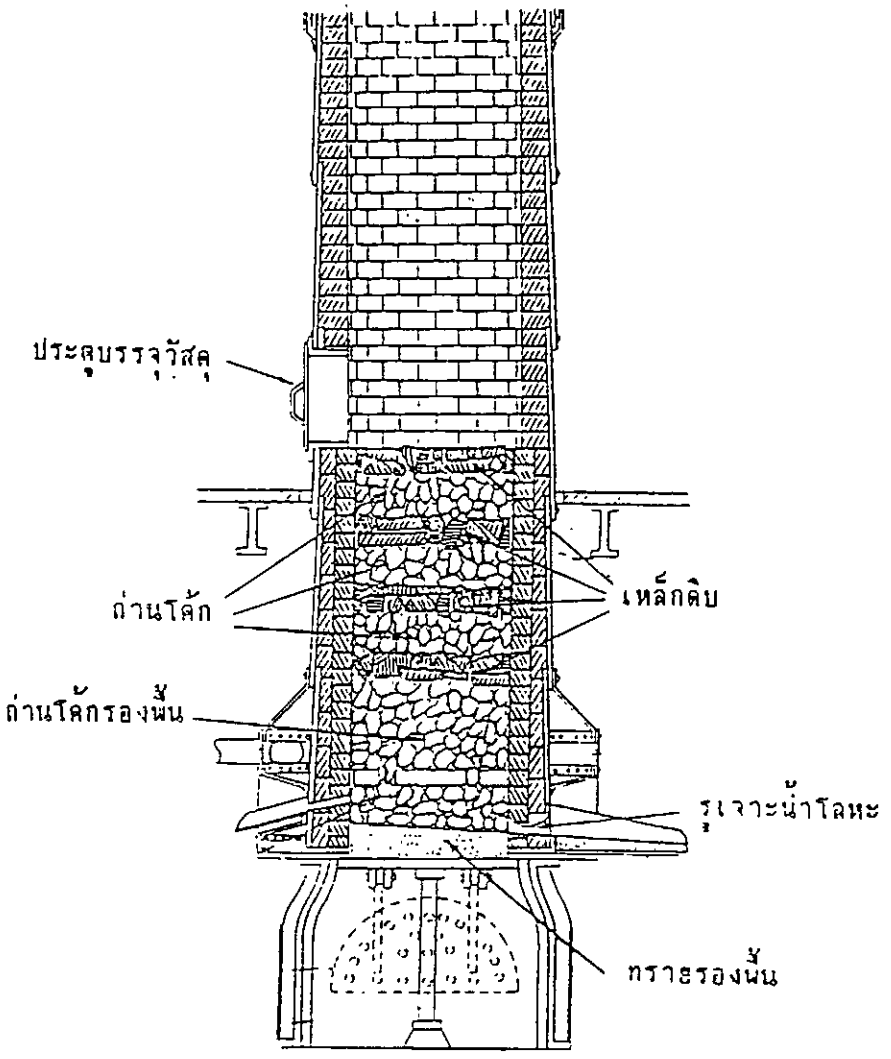
1.2 เตาหลอมละลายโลหะชนิดต่างๆ เตาหลอมละลายโลหะที่นิยมใช้อยู่ในอุตสาหกรรมหลอมละลายโลหะนั้นมีอยู่ด้วยกัน 5 ชนิด แต่ละชนิดหลอมละลายโลหะได้ต่างๆ กัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 เตาบลาสต์(blast furnace) เตาหลอมทรงกระบอกใช้ในการหลอมสินแร่เหล็ก (ores) โดยมีเชื้อเพลิงเป็นถ่านโค้กและเป่าลมเข้าไปภายในเตาเพื่อช่วยในการเผาไหม้ สินแร่เหล็กที่หลอมละลายภายในเตาจะถูกเจาะให้ไหลออกมาจากเตาโดยมีเบ้า (ladle) รองรับน้ำโลหะเพื่อนำไปเทลงสู่โพรงแบบ ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงส่วนประกอบของเตาบลาสต์

(Amstead, Ostwald and Begeman. 1979 : 40)

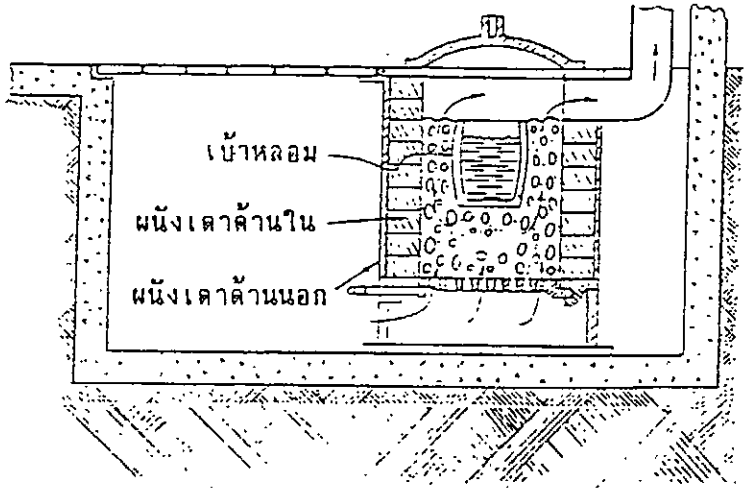


ภาพประกอบ 2 แสดงส่วนประกอบเตาคิวโปลา

(Amstead, Ostwald and Begeman. 1979 : 49)

1.2.2 เตาคิวโปลา (cupola furnace) เป็นเตาทรงกระบอก ใช้ในการหลอมเหล็กดิบ โดยมีเชื้อเพลิงเป็นถ่านโค้ก (coke) และมีลมจากพัดลมเป่าลมเข้าไปในเตาเพื่อช่วยในการเผาไหม้ ซึ่งสามารถให้ความร้อนได้สูงถึง 1500 องศาเซลเซียส จนทำให้เหล็กดิบหลอมละลายเป็นน้ำโลหะ และน้ำโลหะนั้นจะถูกเจาะให้ไหลออกจากเตาโดยมีเบ้ารองรับน้ำโลหะเพื่อนำไปเทลงสู่โพรงแบบ ดังภาพประกอบ 2 เหล็กที่ได้จากเตาคิวโปลานี้ เราเรียกว่า เหล็กหล่อ (cast iron) ทั้งนี้เพราะเหล็กชนิดนี้มีคาร์บอนผสมอยู่มาก คือ ระหว่าง ร้อยละ 2-4.5 (มนัส สถิรจินดา. 2531 : 2)

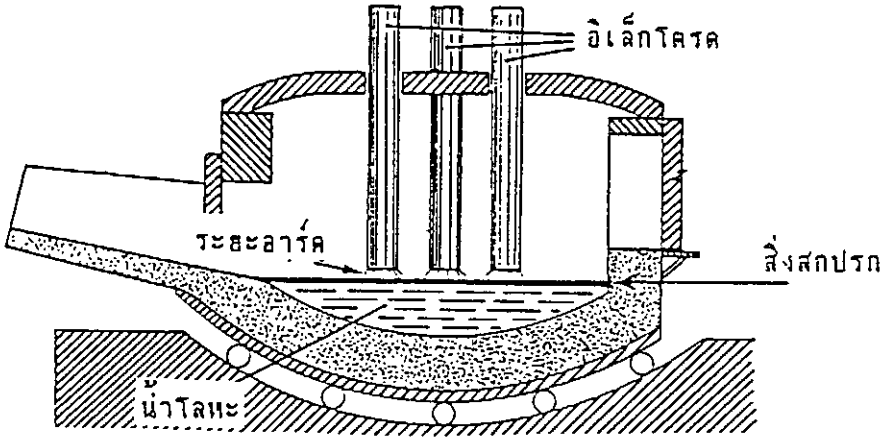
1.2.3 เตาเบ้า เป็นเตาทรงกระบอกเช่นกัน แต่จะสั้นกว่าเตาบลาสต์ และเตาคิวโปลา ใช้ในการหลอมโลหะนอกกลุ่มเหล็กคือใช้หลอมโลหะที่มีจุดหลอมละลายไม่สูงมากนัก นิยมใช้หลอมทองเหลือง อลูมิเนียม ซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ 900 และ 658 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 3 ลักษณะของเตาเบ้าเชื้อเพลิงจะอยู่รอบเบ้า ความร้อนจะถูกส่งถ่ายไปยังโลหะ จนกระทั่งโลหะนั้นหลอมละลาย เชื้อเพลิงที่ใช้มีทั้งถ่านโค้ก น้ำมัน และแก๊ส



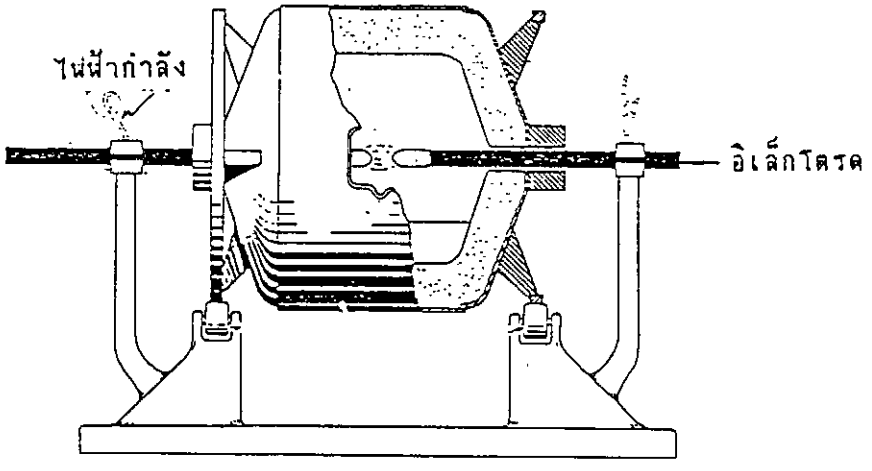
ภาพประกอบ 3 แสดงส่วนประกอบของเตาเบ้า
(Amstead, Ostwald and Begeman. 1979 : 52)

1.2.4 เตาอาร์ค (arc furnace) ใช้ในการหลอมเหล็กเหนียว โดยการนำเศษเหล็กเหนียวมาหลอมใหม่ เตาอาร์คแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ เตาอาร์คโดยตรง (direct arc furnace) ซึ่งลักษณะการอาร์คกระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านขั้วไฟฟ้าไปยังวัตถุดิบในเตา เหมือนกับการเชื่อมไฟฟ้า กับเตาอาร์คทางอ้อม (indirect arc furnace) ซึ่งได้ความร้อนจากการอาร์คระหว่างแท่งอิเล็กโตรด 2 แท่ง ความร้อนจะแผ่รังสีจากบริเวณอาร์คไปสู่วัตถุดิบที่ต้องการหลอม ดังภาพประกอบ 4

เตาอาร์คโดยตรง



เตาอาร์คทางอ้อม



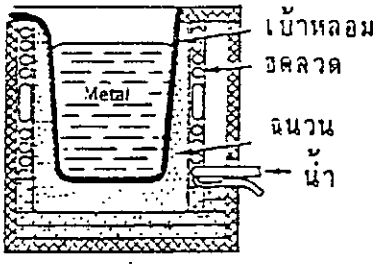
ภาพประกอบ 4 แสดงลักษณะของเตาอาร์ค

(Higgins. 1991 : 16)

เตาไฟฟ้าชนิดอาร์คโดยตรง ตัวเตามีรูปร่างคล้ายกาต้มน้ำ ตั้งอยู่บนรางที่สามารถเอียงเตาเพื่อรับ และถ่ายโลหะได้ มีแท่งอิเล็กโตรด 3 แท่ง ทำด้วยกราฟต์ โผล่ลงมาจากส่วนบนของเตา เพื่อรับกระแสสลับ ขนาด 10,000 แอมแปร์ ที่แรงเคลื่อนประมาณ 40 โวลต์ และเป็นระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม ซึ่งมี 3 เฟส แท่งอิเล็กโตรดทั้ง 3 ต่อกันเป็นวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม เพื่อว่ากระแสไฟฟ้าจะได้ไหลผ่านอิเล็กโตรดลงสู่เศษเหล็กแล้วไหลกลับคืนสู่แท่งอิเล็กโตรดที่ติดกัน

ลักษณะการอาร์ค กระแสไฟฟ้าจะเดินทางผ่านขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ไปยังวัตถุดิบในเตา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเศษเหล็ก จะต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ากับเศษเหล็กให้พอเหมาะ เพื่อให้เกิดการอาร์คระหว่างขั้วไฟฟ้ากับเศษเหล็กเหมือนกับการเชื่อมด้วยไฟฟ้า ความร้อนเกิดจากความต้านทานของทางเดินไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยตัวเศษเหล็ก แท่งคาร์บอนและระยะห่าง เตาไฟฟ้าให้ความร้อนได้รวดเร็ว และให้อุณหภูมิสูงกว่าเตาแบบอื่นๆ ที่ได้เคยกล่าวถึงมาแล้วทั้งหมดในตอนต้น

เตาไฟฟ้าชนิดอาร์คทางอ้อม ตัวเตาทำเป็นรูปทรงกระบอก ปูพื้นเตาด้วยวัสดุทนไฟที่เหมาะสม มีอิเล็กโตรดคู่หนึ่งติดตั้งตรงกันอยู่ในแนวนอน การอาร์คเกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโตรดคู่นี้ จึงไม่มีกระแสไหลผ่านลงในเศษเหล็กความร้อนจะถูกส่งถ่ายจากบริเวณอาร์คไปยังวัตถุดิบในเตา โดยวิธีการแผ่รังสี ในระหว่างการอาร์คตัวเตาจะหมุนด้วยเพื่อช่วยให้วัตถุดิบในเตาได้คลุกเคล้ากันและบริเวณต่างๆ ของเตาได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง เตาแบบนี้มีขนาดไม่ใหญ่นัก ใช้หลอมพวกเหล็กกล้า ทองเหลือง และบรอนซ์ ได้ครั้งหนึ่งๆ ประมาณ 50-500 กิโลกรัม (วีระพันธ์ สิทธิพงศ์. 2531 : 360)



ภาพประกอบ 5 แสดงส่วนประกอบเตาอินดัคชั่น

(Amstead, Ostwald and Begeman. 1979 : 51)

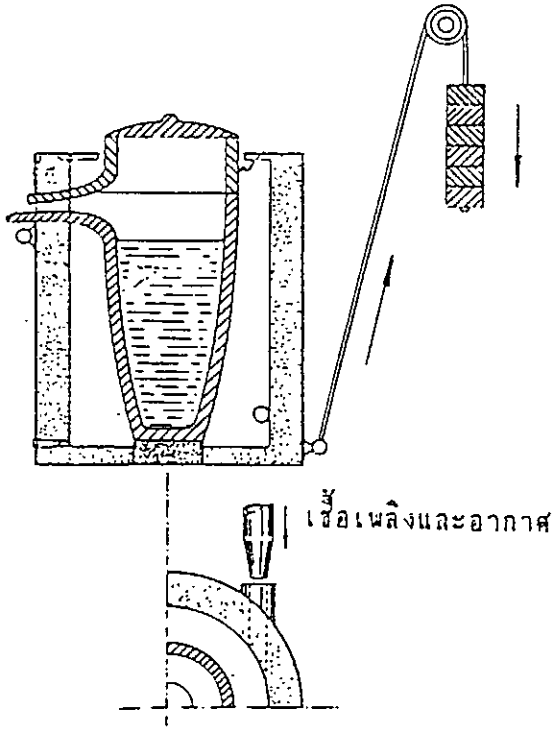
1.2.5 เตาอินดัคชั่น(induction furnace) ใช้ในการหล่อหลอมเหล็กเหนียว และโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ที่ต้องการควบคุมส่วนผสมทางเคมีของโลหะนั้นให้มีส่วนผสมที่แน่นอน เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นไฟฟ้าที่มีทั้งความถี่ต่ำ(low frefuency) และความถี่สูง (high frefuency) ดังภาพประกอบ 5 (Taylor, Fleming and Wulff. 1973: 308)

เตาหลอมละลายโลหะดังกล่าวมานั้น เป็นเตาที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ สำหรับในลำดับต่อไปจะได้กล่าวถึงเตาหลอมละลายโลหะที่ใช้ในการ

หลอมละลายอลูมิเนียม ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ควรทราบ

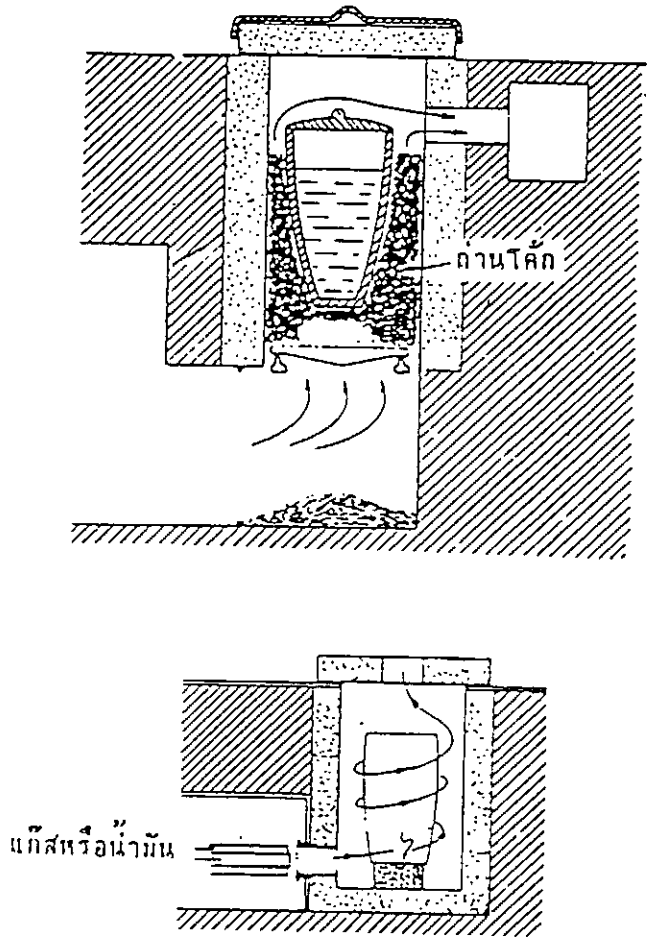
1.3 เตาหลอมละลายโลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลอมละลายอลูมิเนียม เตาที่ใช้หลอมละลายอลูมิเนียมมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับปริมาณอลูมิเนียมที่ต้องการหลอมละลาย เช่น เตาเบ้า และเตาอินดัคชั่น เหมาะสำหรับการหลอมละลายอลูมิเนียมปริมาณ 80-500 กิโลกรัม สำหรับเตาอีกชนิดหนึ่งนั้นคือเตากระทะ (reverberatory) ซึ่งเป็นเตาขนาดใหญ่ สามารถหลอมอลูมิเนียมได้ถึง 5,000 กิโลกรัม โดยการหลอมละลายเพียงครั้งเดียวเท่านั้น สำหรับรายละเอียดของเตาทั้ง 3 ชนิดนี้ มีดังนี้

1.3.1 เตาเบ้า ถ้าแบ่งแยกตามลักษณะการใช้งานก็สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดยกตัวเทน้ำโลหะได้ ดังภาพประกอบ 6 และชนิดยกตัวเทน้ำโลหะไม่ได้ ดังภาพประกอบ 7 สำหรับส่วนประกอบของเตาเบ้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ โครงสร้างเตาและเชื้อเพลิง



ภาพประกอบ 6 แสดงลักษณะของเตาเบ้าชนิดยกตัวเทน้ำโลหะ

(Higgins. 1991 : 14)



ภาพประกอบ 7 แสดงลักษณะของเตาเบ้าที่ใช้ถ่านโค้ก น้ำมันและแก๊สเป็นเชื้อเพลิง (Higgins. 1991 : 11)

โครงสร้างเตาประกอบด้วย ผนังเตาด้านนอก ผนังเตาด้านในและท่อส่งลม

ผนังเตาด้านนอก ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนภายในเตาไม่ให้ถ่ายเทออกมา อีกทั้งยังเสริมความแข็งแรงของผนังเตาด้านในอีกด้วย สำหรับผนังเตาด้านนอกนั้นทำมาจากเหล็กแผ่น ซึ่งมีความหนาตั้งแต่ 3-5 ม.ม. ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกพร้อมทั้งฝาปิดก้นเตา ซึ่งมีความหนา 3-5 ม.ม. เช่นเดียวกัน

ผนังเตาด้านใน ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในเตา ไม่ให้ถ่ายเทออกนอกเตา สำหรับวัสดุที่ใช้ทำผนังเตาด้านในนั้น จะต้องทนความร้อนได้ตั้งแต่ 1,000-1,500 องศาเซลเซียส ซึ่งได้แก่ ทรายซิลิกาปูนซิเมนต์ทนความร้อน ดินเหนียว อิฐทนความร้อน

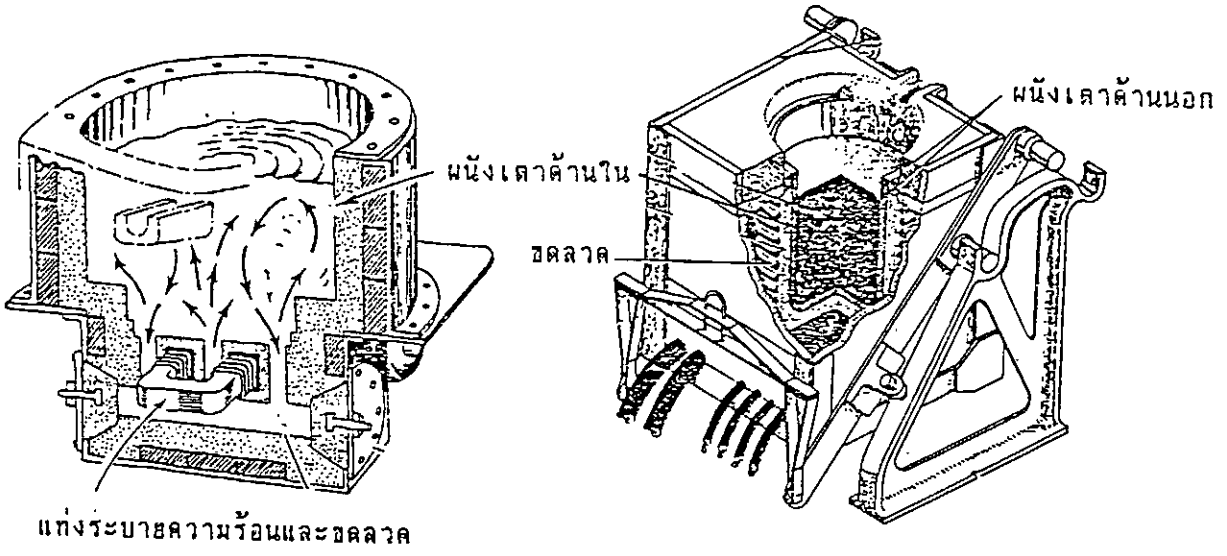
ท่อส่งลม ทำหน้าที่ส่งลมจากพัดลมเป่าไปช่วยในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในเตา ท่อส่งลมนี้จะติดอยู่กับผนังเตาด้านนอก และทำจากท่อทรงกรวย

เชื้อเพลิง โดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเตาเบ้านั้น ได้แก่ ถ่านโค้ก น้ำมันและแก๊ส ดังภาพประกอบ 7 ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม โดยพิจารณาจากปัจจัยต่อไปนี้ ซึ่งได้แก่ ต้นทุนการผลิต โลหะที่ต้องการหลอมละลาย ขั้นตอนการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา เมื่อเลือกชนิดของเชื้อเพลิงได้ตามความเหมาะสมแล้ว ในลำดับต่อไปจึงจะออกแบบและสร้างเตาให้เหมาะสมและสามารถใช้งานได้กับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ทั้งนี้เพราะเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้อุปกรณ์บรรจุ และผนังเตาด้านในของเตาเบ้ามีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปเช่น ถ้าเลือกใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง ผนังเตาด้านในก็ต้องออกแบบให้มีขนาดใหญ่มากขึ้นกว่าเตาที่ใช้น้ำมัน และแก๊สเป็นเชื้อเพลิง ทั้งนี้เพราะถ่านโค้กมีลักษณะเป็นของแข็ง และไม่จำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์สำหรับบรรจุ แต่มีข้อเสียคือ สกปรก เกิดควัน และฝุ่นผงมากขณะปฏิบัติงาน ดังนั้น เชื้อเพลิงที่นิยมใช้กับเตาเบ้าในปัจจุบันจึงได้แก่ น้ำมันและแก๊ส เท่านั้น ทั้งนี้เพราะน้ำมันและแก๊สช่วยลดต้นทุนการผลิต ซึ่งได้แก่ การลดขั้นตอนของการปฏิบัติงานให้น้อยลง อีกทั้งยังลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานการหลอมละลายโลหะลงอีกด้วย นอกจากนั้นการบำรุงรักษาเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันและแก๊สเป็นเชื้อเพลิง ยังสามารถทำได้ง่าย อุปกรณ์ประกอบในส่วนนี้จะประกอบด้วยถังเชื้อเพลิง อุปกรณ์นำส่งเชื้อเพลิงไปยังโครงสร้างเตา และพัดลมเป่า

1.3.2 เตาอินดัคชั่น เป็นเตาขนาดเล็ก ความร้อนที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะเกิดจากการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้า โครงสร้างเป็นเบ้า ใส่โลหะห่อหุ้มด้วยขดลวด ขดลวดจะต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกและถูกพันโดยรอบเบ้า ไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่ประมาณ 500-1000 Hz จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นโดยรอบขดลวด การเกิดสนามแม่เหล็กและการยุบตัวของสนามแม่เหล็กสลับเป็นไปอย่างรวดเร็ว ตามค่าความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับนั้นๆ ทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นโลหะภายในเบ้า และเกิดความร้อนหลอมละลายโลหะได้ จากจำนวนความถี่ที่จ่ายเข้าไปในขดลวดนั้นทั้งสูงและต่ำ เราจึงสามารถแบ่งชนิดของเตาอินดัคชั่นได้ 2 ชนิด คือ เตาอินดัคชั่นความถี่ต่ำ และเตาอินดัคชั่นความถี่สูง ดังภาพประกอบ 8

เตาอินดัคชั่นความถี่ต่ำ

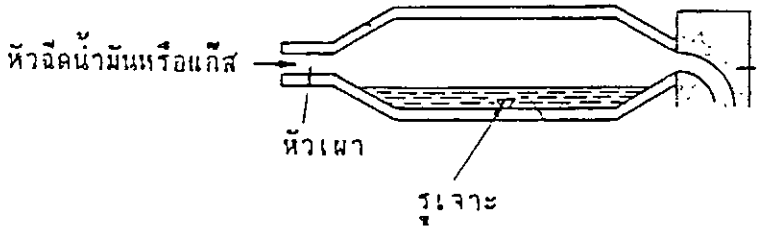
เตาอินดัคชั่นความถี่สูง



ภาพประกอบ 8 แสดงลักษณะเตาอินดัคชั่น

(Higgins. 1991 : 17)

1.3.3 เตากระทะ(reverberatory furnace) เตาหลอมชนิดนี้ใช้กันมากสำหรับการหลอมละลายอลูมิเนียมจำนวนมากๆคือ ตั้งแต่ 1,000 กิโลกรัมถึง 5,000 กิโลกรัม เหมาะสมสำหรับโรงงานผลิตอลูมิเนียมขนาดใหญ่เท่านั้น สำหรับเตากระทะนี้เชื้อเพลิงจะสัมผัสกับอลูมิเนียมโดยตรง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อลูมิเนียมที่หลอมละลายมีสารมลทินปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ถึงอย่างไรก็ตามสารมลทินเหล่านั้นก็สามารถกำจัดออกได้ก่อนนำน้ำโลหะนั้นไปเทลงสู่โพรงแบบ ดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 แสดงลักษณะของเตากระทะ

(Cliffe. 1971 : 254)

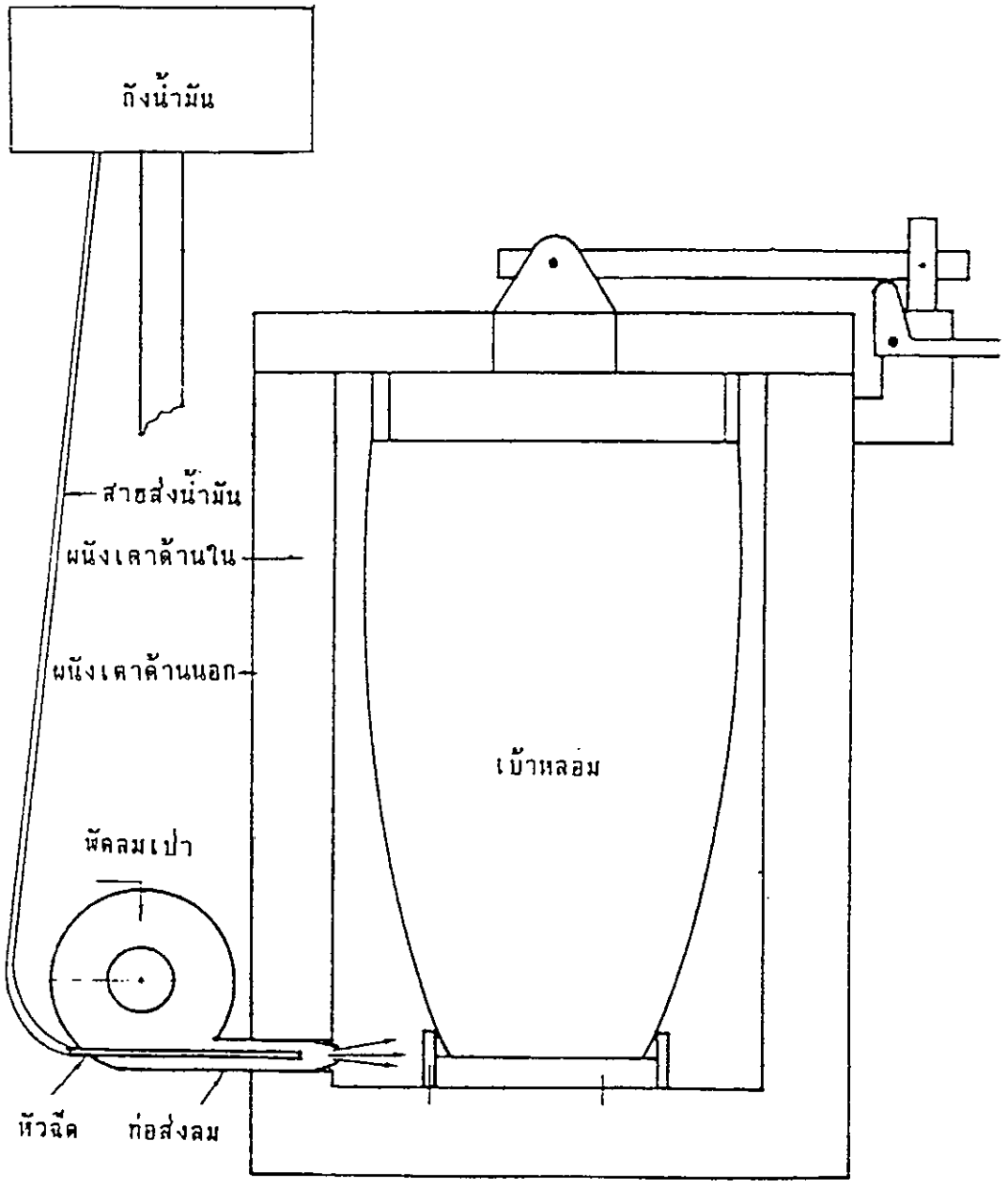
ที่กล่าวมาแล้วนั้น เป็นเตาหลอมละลายโลหะที่สามารถนำไปหลอมละลายอลูมิเนียมได้ สำหรับการเลือกใช้เตาแต่ละชนิดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณอลูมิเนียมที่ต้องการหลอมละลายในแต่ละครั้ง ซึ่งอาจจะสรุปได้ดังนี้ ถ้าต้องการหลอมละลายอลูมิเนียมตั้งแต่ 80 กิโลกรัม จนถึง 1,000 กิโลกรัม เลือกใช้เตาเบ้าและเตาอินดัคชั่น แต่ถ้าต้องการหลอมละลายอลูมิเนียม ตั้งแต่ 1,000 กิโลกรัม ถึง 5,000 กิโลกรัม ก็ควรเลือกใช้เตากระทะ

2. <u>ส่วนประกอบต่างๆ ของเตาเบ้า</u>

เตาเบ้าคือ เตาชนิดที่วัตถุดิบในเตาไม่ได้สัมผัสกับเชื้อเพลิงโดยตรง เป็นเตาขนาดเล็ก มีจุดมุ่งหมายการใช้งานเพื่อการหลอมละลายโลหะ โดยน้ำโลหะไม่ได้สัมผัสกับวัตถุธาตุอื่นๆ จึงทำให้น้ำโลหะมีความบริสุทธิ์ แต่ถึงอย่างไรก็ตามน้ำโลหะก็ควรถูกกำจัดสารมลทินก่อนการเทลงสู่แบบ การกำจัดสารมลทินออกจากน้ำโลหะสามารถทำได้โดยการใส่ฟลักซ์ลงไปภายหลังเมื่อโลหะหลอมละลายแล้ว เตาเบ้านี้มีส่วนประกอบสำคัญที่ต้องกล่าวถึงคือ ผนังเตาด้านนอก ผนังเตาด้านใน พัดลมเป่า ท่อส่งลม เบ้าหลอม ถังเชื้อเพลิง สายส่งเชื้อเพลิง หัวฉีดเชื้อเพลิง ดังภาพประกอบ 10 สำหรับขนาดของเตาเบ้าที่มีใช้อยู่ในงานหลอมละลายโลหะจะมีหลายขนาดด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณในการหลอมละลายโลหะแต่ละครั้ง ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเตา 800 ม.ม. ความสูง 1,120 ม.ม. เป็นต้นไป (วีระพันธ์ สิทธิพงศ์. 2531 : 365)

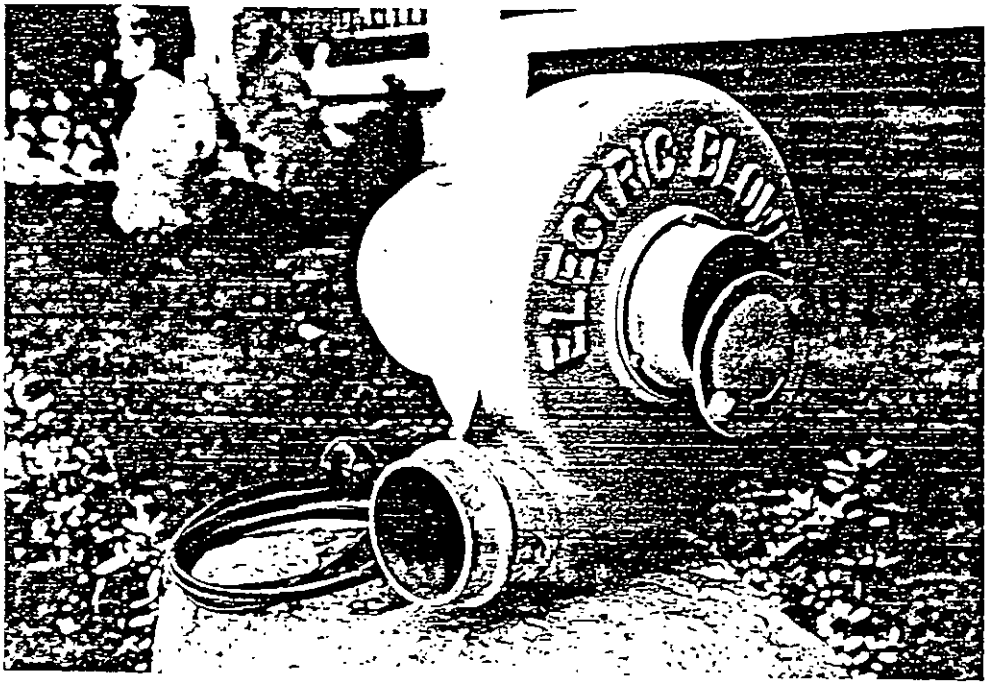
2.1 ผนังเตาด้านนอก ทำจากเหล็กเหนียว ซึ่งมีความหนาตั้งแต่ 5 ถึง 10 ม.ม. ม้วนขึ้นเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงขึ้นอยู่กับปริมาณการหลอมละลายอลูมิเนียมแต่ละครั้ง และปิดก้นเตาด้วยเหล็กแผ่น ซึ่งมีความหนาตั้งแต่ 5-10 ม.ม. เชื่อมติดผนังเตาไว้เป็นชิ้นเดียวกัน ดังภาพประกอบ 10

2.2 ผนังเตาด้านในทำจากวัสดุทนความร้อนสูง ซึ่งประกอบด้วยทรายขาว ปูนซิเมนต์ทนความร้อน ดินเหนียวบดละเอียด อิฐทนความร้อน น้ำ ผสมกันโดยมีอัตราส่วนเท่ากับ 1:2:1:1:1 โดยปริมาตรผสมกันให้ทั่วจากนั้นนำไปบุด้านในของผนังเตา ตกแต่งให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและความสูงวัดจากก้นเตาพอเหมาะ โดยให้ผนังเตาด้านในมีความหนาเท่ากับ 15-20 ม.ม. ทิ้งไว้ให้แห้ง และคอยตรวจรอยแตกร้าวและซ่อมแซมตลอดเวลา ก่อนที่วัสดุบุภายในเตาจะแห้งสนิท (William and Simons. 1972:205)



ภาพประกอบ 10 แสดงส่วนประกอบของเตาเบ้า

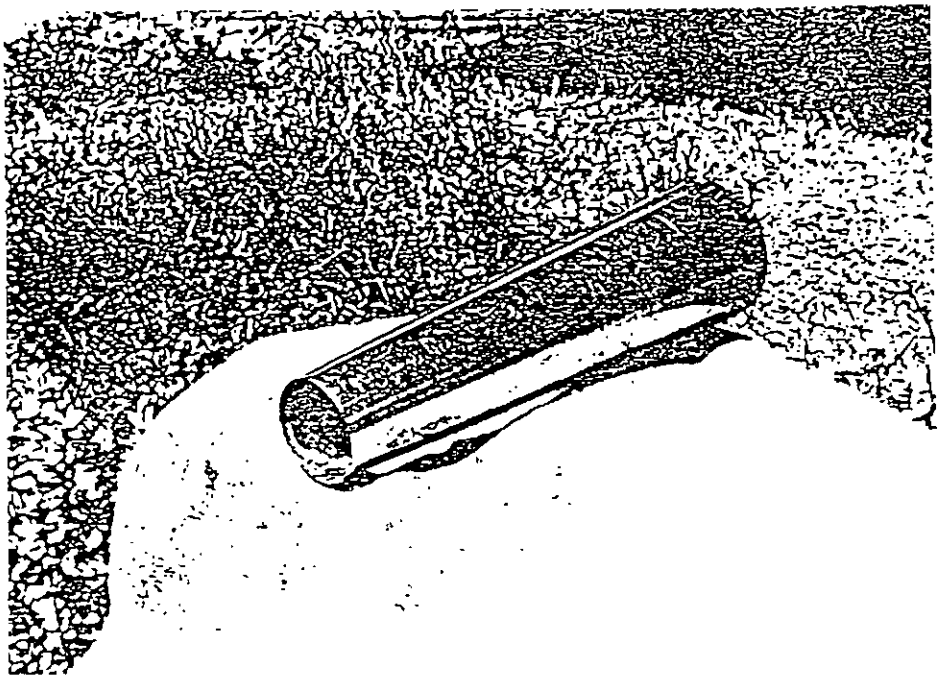
(ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. ม.ป.ป. : 128)



ภาพประกอบ 11 แสดงลักษณะพัดลมเป่า

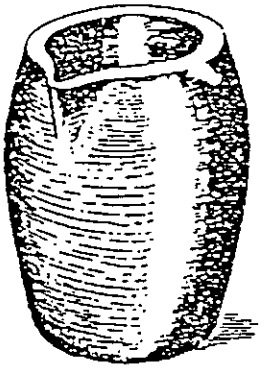
2.3 พัดลมเป่า ทำหน้าที่เป่าลมเข้าไปภายในเตาเพื่อผสมกับน้ำมัน โดยมีท่อสำหรับส่งลมเข้าไปภายในเตาเพื่อช่วยในการเผาไหม้ แล้วนำมาประกอบกับเตาเมื่อต้องการใช้งาน ซึ่งพัดลมเป่านี้สามารถปรับอัตราลมเข้าได้ในปริมาณที่ต้องการด้วย ขนาดของพัดลมเป่าจะขึ้นอยู่กับกำลังม้าของมอเตอร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์ขนาด 1/2 กำลังม้า เป็นต้นไป (ดังภาพประกอบ 11)

2.4 ท่อส่งลม ติดอยู่กับโครงสร้างเตาโดยการเชื่อม จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและมีความยาวขึ้นอยู่กับขนาดของเตาหลอมละลายโลหะนั้นๆ โดยเจาะรูสำหรับยึดติดหัวฉีดไว้ด้วย จะทำหน้าที่ส่งลมเข้าสู่ภายในเตาและมีท่อส่งลมอีกส่วนหนึ่งส่งลมจากพัดลมเป่าต่อไปยังท่อส่งลมส่วนที่ติดกับโครงสร้างเตา



ภาพประกอบ 12 แสดงลักษณะท่อส่งลม

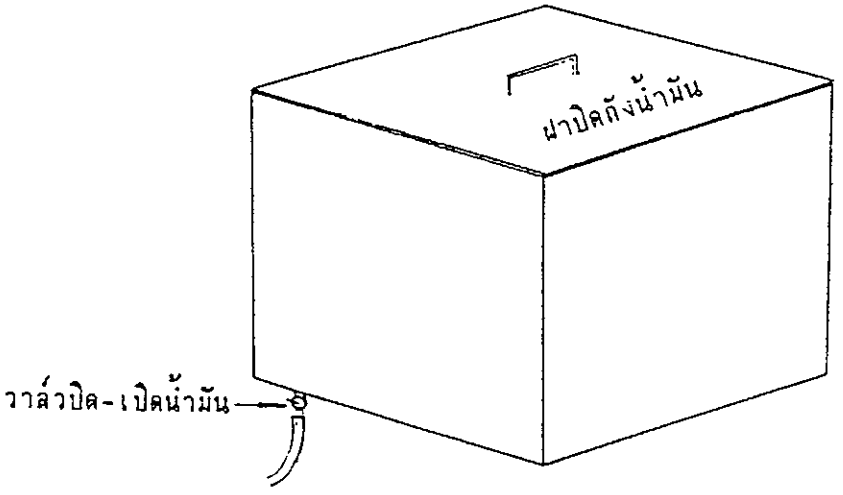
2.5 เบ้าหลอม ทำจากวัสดุทนความร้อนสูง ซึ่งได้แก่ กราไฟต์ และเหล็กหล่อ สามารถบรรจุโลหะเมื่อหลอมละลายได้ตั้งแต่ 80-1,000 กิโลกรัม ขนาดความจุดังกล่าวจึงเป็นหลักเกณฑ์ในการบอกขนาดของเตาเบ้านั้นๆ ด้วย ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 แสดงลักษณะของเบ้าหลอม

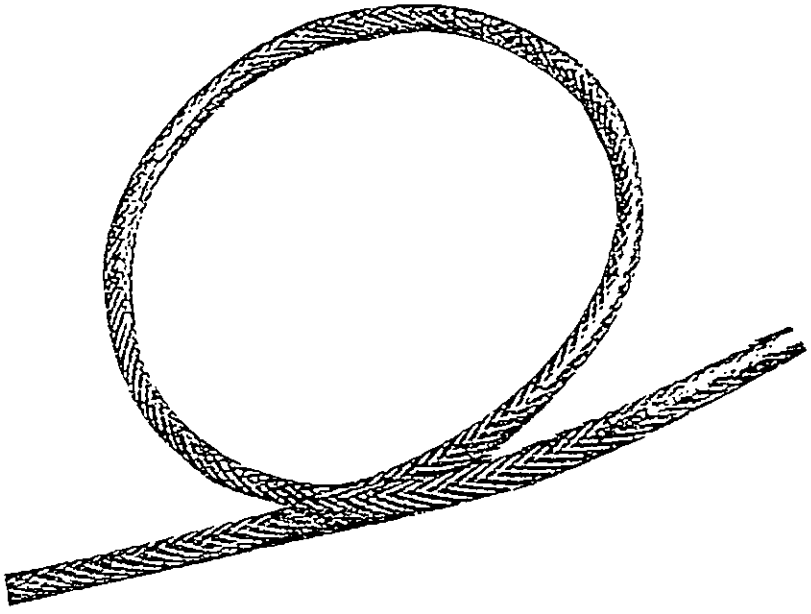
197147

2.6 ถังเชื้อเพลิง ซึ่งบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ภายในเตาเบ้าดังได้กล่าวไว้ในเบื้องต้นแล้วว่าเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาเบ้านั้นมี 3 ชนิดคือ น้ำมัน แก๊สและถ่านโค้ก โดยสภาพที่ถ่านโค้กเป็นของแข็งจึงไม่จำเป็นต้องสร้างถังบรรจุ แต่น้ำมันและแก๊สมีสภาพเป็นของเหลว จึงต้องมีถังสำหรับบรรจุ โดยเฉพาะถังน้ำมัน ซึ่งต้องสร้างขึ้นเอง ทำด้วยเหล็กเหนียวแผ่น ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกหรือสี่เหลี่ยม มีฝาปิด บรรจุน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด โดยสามารถใส่น้ำมันเชื้อเพลิงได้ประมาณ 50 ลิตร ใส่วาล์ว (valve) ปิด-เปิดน้ำมัน แต่อย่างไรก็ตามขนาดของถังน้ำมันนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของเตาหลอมละลายโลหะด้วย กล่าวคือ ถ้าเตาหลอมละลายโลหะมีขนาดใหญ่ น้ำมันเชื้อเพลิงต้องใช้มากขึ้น ดังนั้นถังน้ำมันก็จะต้องมีขนาดใหญ่ด้วยเช่นกัน ดังภาพประกอบ 14



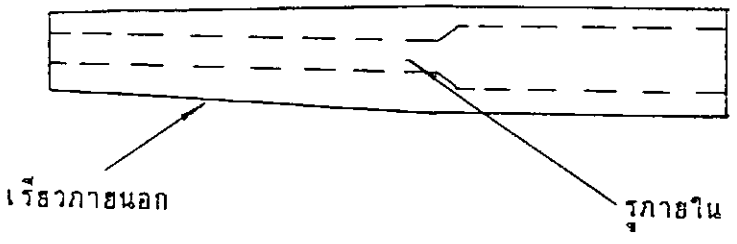
ภาพประกอบ 14 แสดงลักษณะถังน้ำมัน

2.7 สายส่งเชื้อเพลิง ทำจากยางหรือโลหะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเท่ากับ 5 ม.ม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 8 ม.ม. ความยาวขึ้นอยู่กับระยะห่างจากโครงสร้างเตาถึงถังบรรจุเชื้อเพลิง โดยต่อสายส่งเชื้อเพลิงจากวาล์วปิด-เปิดเชื้อเพลิงไปยังหัวฉีดเชื้อเพลิงเพื่อจ่ายเชื้อเพลิงเข้าภายในเตา ดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 แสดงลักษณะสายส่งเชื้อเพลิง

2.8 หัวฉีดเชื้อเพลิง ทำหน้าที่ฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นฝอยเข้าไปผสมกับอากาศในเตา ทำจากท่อโลหะ รูภายในเป็นรูกลมสองระดับ เพื่อเพิ่มความดันของน้ำมันให้สูงขึ้น และขนาดของหัวฉีดจะขึ้นอยู่กับขนาดของเตาหลอมละลายโลหะนั้นๆ จากลักษณะของหัวฉีดจึงทำให้การซ่อมบำรุงทำได้ยาก ทั้งนี้เพราะต้องผลิตด้วยเครื่องจักรกล เช่น ปลายเรียว และรูเจาะภายใน (ดังภาพประกอบ 16)

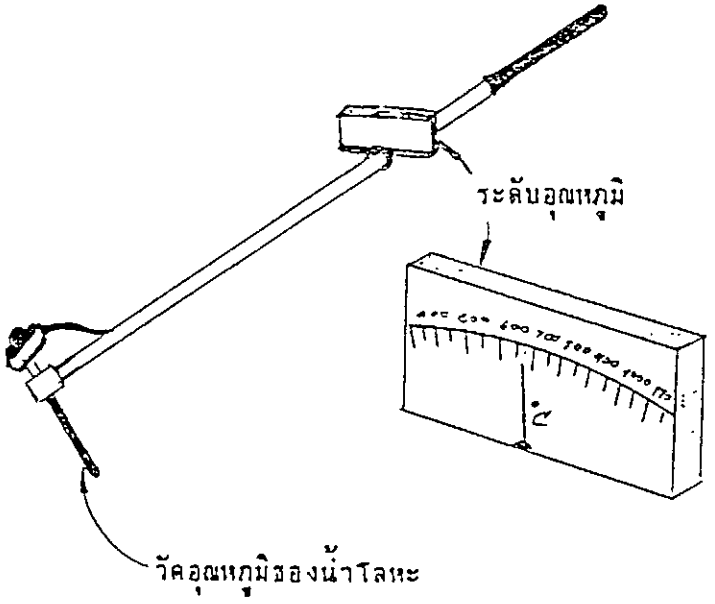


ภาพประกอบ 16 แสดงลักษณะของหัวฉีด

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกันกับเตาเบ้า

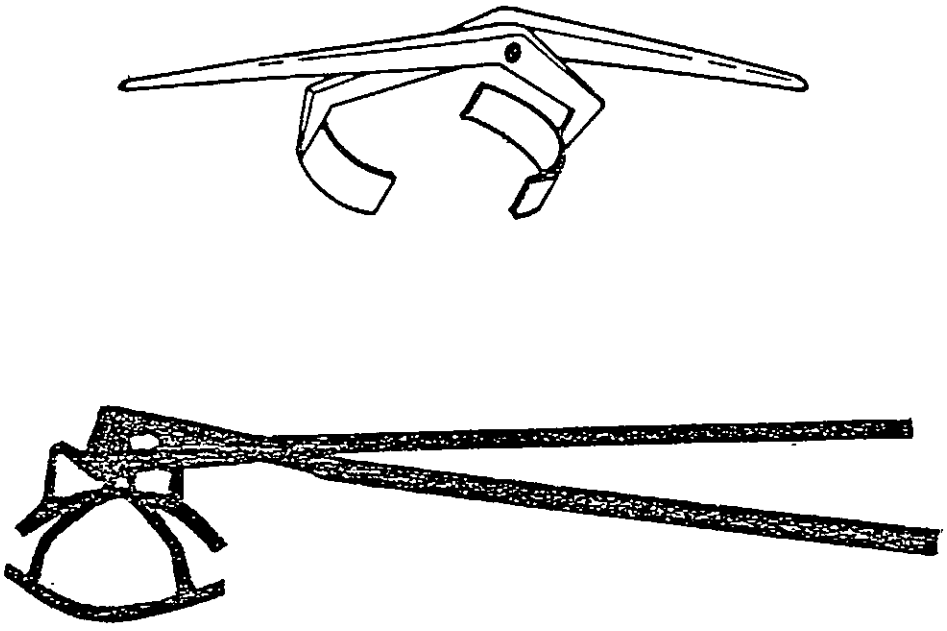
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับเตาเบ้า ประกอบด้วย เครื่องมือวัดอุณหภูมิและคีมด้ามยาว

3.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิของน้ำโลหะว่ามีอุณหภูมิเหมาะสมสำหรับเทลงสู่โพรงแบบหรือไม่ เพราะน้ำโลหะที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวมากๆ จะทำให้การเทน้ำโลหะสามารถทำได้โดยง่าย แต่ถ้าอุณหภูมิสูงมากเกินไปก็จะทำให้เกิดโพรงอากาศมากเช่นกัน (ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. ม.ป.ป. : 32) ดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 แสดงลักษณะเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

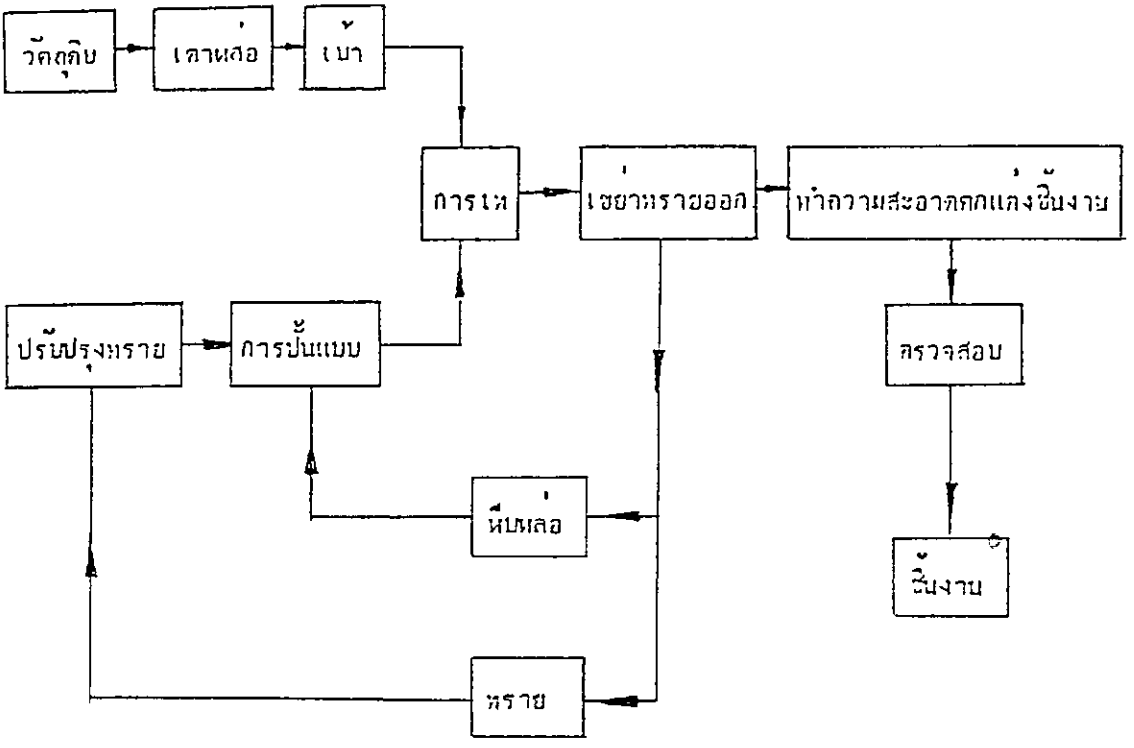
3.2 คีมด้ามยาว ทำหน้าที่ยกเบ้าหลอมภายในเตาเบ้า เพื่อนำน้ำโลหะภายในเบ้าหลอมเทลงสู่โพรงแบบ ปากจับจะถูกออกแบบให้สามารถจับเบ้าหลอมได้อย่างมั่นคง ดังนั้นคีมด้ามยาวจึงมีหลายรูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเบ้าหลอม ดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แสดงลักษณะของคีมด้ามยาว

4. <u>กระบวนการหลอมละลายอลูมิเนียมด้วยเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง</u>

กระบวนการหลอมละลายอลูมิเนียมที่จะกล่าวในลำดับต่อไปนี้ มีลำดับขั้นการทำงานหลายขั้นตอนด้วยกัน ดังภาพประกอบ 19 และอาจสรุปเป็นขั้นตอนสำคัญได้ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ ขั้นการหลอมละลายอลูมิเนียม และขั้นการตกแต่งชิ้นงานหล่อ



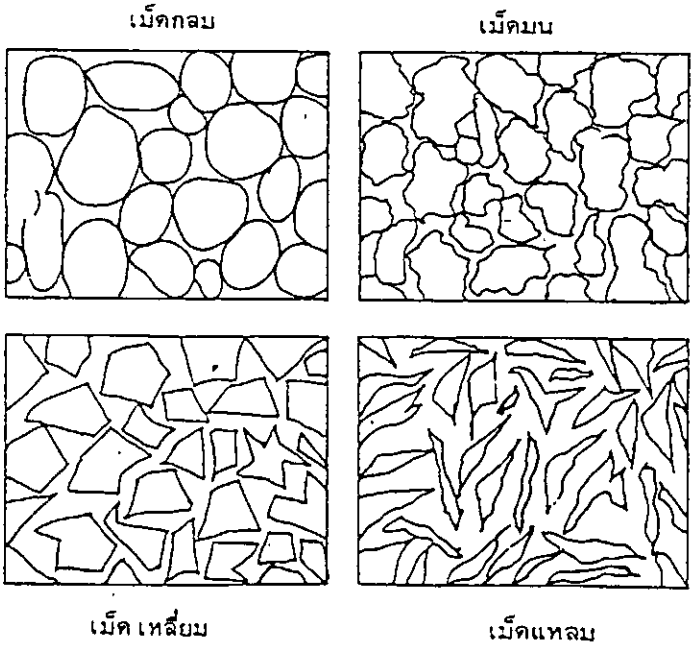
ภาพประกอบ 19 แสดงลำดับขั้นการหล่อหลอมโลหะจากแบบทราย
(หริส สูตะบุตร และ จิธิอิวา. 2535 : 3)

4.1 ขั้นเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ ในขั้นตอนนี้ประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการหลอมละลายอลูมิเนียม ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

4.1.1 วัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการหลอมละลายอลูมิเนียมด้วยเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงนั้น ประกอบไปด้วย ทรายหล่อ อลูมิเนียม น้ำมันดีเซล และฟลักซ์ (flurees)

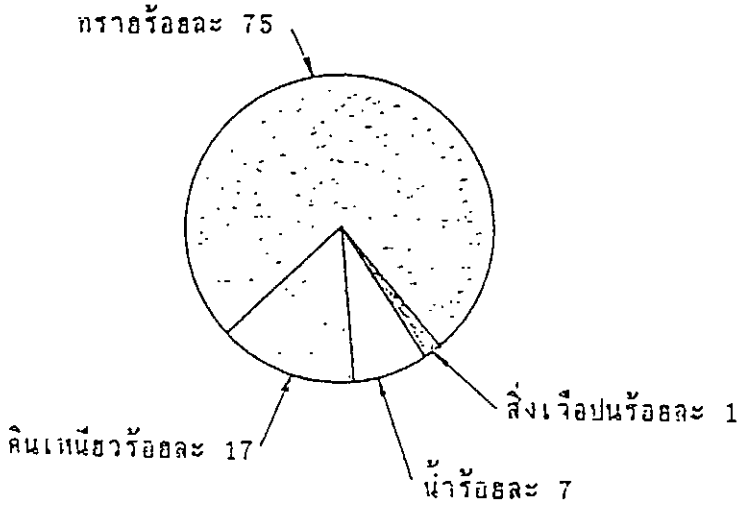
ทรายหล่อ การทำแบบหล่อทรายเป็นการทำแบบชั่วคราว จะต้องมีกระสวนอัดลงไปในทรายที่เตรียมไว้ ให้เกิดโพรงรูปร่างเหมือนกับชิ้นงานที่เราต้องการและเมื่อเราต้องการให้ชิ้นงานมีรูภายใน เราจะต้องใช้ไส้แบบ (core) วางลงไป ทรายหล่อโดยทั่วไปได้จากธรรมชาติ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ ทรายภูเขา ทรายทะเลและทรายแม่น้ำ ซึ่งทรายทั้ง 3 ชนิดนี้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือ ทนความร้อน ระบายไอได้ดี ใช้ได้

หลายครั้ง ขึ้นรูปได้ง่าย ขยายตัวได้น้อยเมื่อรับความร้อน และราคาถูก ทรายหล่อเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างธาตุซิลิกอนและออกซิเจน จึงมีจุดหลอมละลายที่ 1,750 องศาเซลเซียส เม็ดทรายที่เกิดจากภูเขาซึ่งแตกแยกออกจากกัน เป็นทรายที่สะอาดมีสิ่งเจือปนน้อย และโดยทั่วไปแล้วทรายจะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลม เม็ดมน เม็ดเหลี่ยม และเม็ดแหลม ดังภาพประกอบ 20

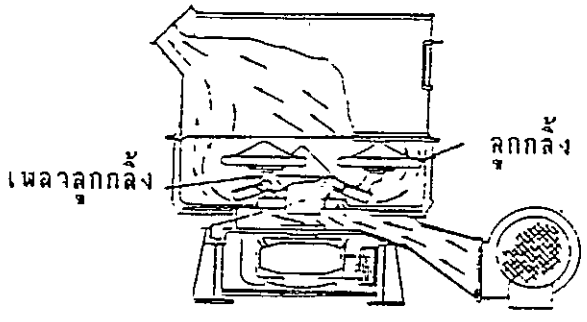


ภาพประกอบ 20 แสดงลักษณะของเม็ดทราย
(ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. ม.ป.ป. : 10)

ส่วนผสมของทรายทำแบบหล่อ มีส่วนผสมต่างๆกัน ซึ่งประกอบไปด้วยทราย น้ำ ดินเหนียว และสิ่งเจือปนอื่นๆ ดังภาพประกอบ 21 ทรายธรรมชาติที่ได้มาจากแหล่งต่างๆ จะถูกนำมาผสมด้วยเครื่องผสมทราย เพื่อให้ได้ทรายที่พร้อมจะนำไปใช้งานต่อไป ดังภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 21 แสดงส่วนผสมของทรายทำแบบหล่อ
(ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. ม.ป.ป. : 10)



ภาพประกอบ 22 แสดงลักษณะของเครื่องผสมทราย
(หริส สูตะบุตร และ จิยิอิวา. 2535 : 107)

อลูมิเนียม เป็นธาตุที่พบมากชนิดหนึ่งบนผิวโลก จะอยู่ในรูปของออกไซด์ ซึ่งปะปนอยู่กับออกไซด์ของซิลิคอนและเหล็ก และสามารถนำมาถลุงเพื่อผลิตอลูมิเนียม ซึ่งได้แก่ แร่บอกไซด์ (bauxite) และ แร่เคโอลิไนต์ (kaolinite)

สำหรับการเตรียมอลูมิเนียมเพื่อการหลอมละลาย โดยเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงนั้น จะใช้เศษอลูมิเนียมโดยซื้อจากแหล่งซื้อของเก่าและเศษอลูมิเนียมที่เหลือจากการขึ้นรูปทางกลจากโรงงานผลิตอุปกรณ์ที่ทำจากอลูมิเนียม และตัดเป็นชิ้นเล็กเพื่อสะดวกในการนำไปหลอมละลาย

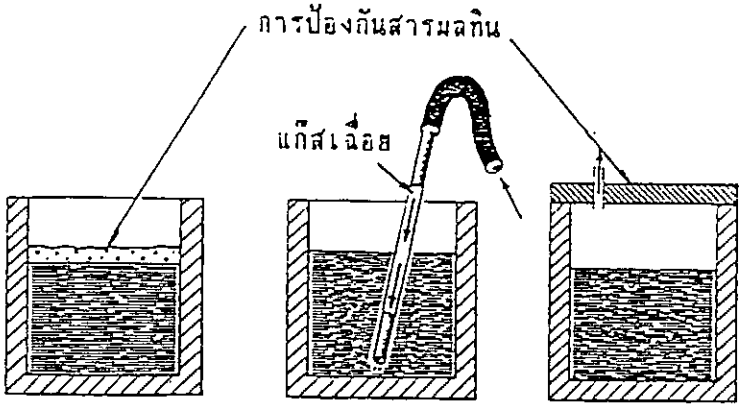
น้ำมันดีเซล เติมน้ำมันให้เต็มถัง เพราะโดยทั่วไปแล้วขนาดของถังน้ำมันจะถูกออกแบบให้มีขนาดบรรจุเหมาะสมกับปริมาณการหลอมละลายอลูมิเนียมแต่ละเบ้า ดังนั้น เมื่อการหลอมละลายผ่านไปหลายครั้งให้เปิดดูปริมาณน้ำมัน และเติมให้เต็มอยู่เสมอ

ฟลักซ์ คือ สารเคมีที่เติมลงในน้ำโลหะเหลว เพื่อปรับสภาพความบริสุทธิ์ของน้ำโลหะโดยการกำจัดสารมลทินที่ไม่พึงประสงค์ ลดการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ผิวหน้าของโลหะ ด้วยวิธีการปกคลุมผิวหน้าน้ำโลหะ ดังแสดงในภาพประกอบ 23 ในกรณีของสังกะสีออกไซด์นั้นก็สามารถป้องกันได้โดยการปกคลุมผิวหน้าโลหะผสมของทองแดงกับสังกะสีด้วยฟลักซ์ที่ผสมขึ้นจากแก้ว โซดาแอสหรือบอแรกซ์ ฟลักซ์ชนิดปกคลุมผิว มักใช้กับโลหะหรือโลหะผสมของอลูมิเนียม แมกนีเซียม และโลหะอื่นๆ ที่มีความไวในการรวมตัวกับออกซิเจน แต่จะต้องใช้ความระมัดระวังในการเทฟลักซ์ชนิดปกคลุมผิวหน้า เพื่อว่าสารเคลือบนี้จะได้ไม่เข้าไปรวมตัวกับเนื้อโลหะหล่อ ฟลักซ์ที่ใช้กับชิ้นงานหล่อแมกนีเซียมจะมีส่วนผสมคลอไรด์ ซึ่งมีอำนาจการกัดกร่อนรุนแรง จะต้องหาวิธีป้องกันมิให้ฟลักซ์ชนิดนี้สัมผัสผิวโลหะหล่อโดยตรง เพราะมันจะกัดเซาะผิวชิ้นงานหล่อ

ฟลักซ์ชนิดอื่นๆ ที่ใช้ จะเป็นฟลักซ์เพื่อการกำจัดสารมลทิน ลดออกไซด์และขัดแก๊สที่ละลายแทรกซึม ฟลักซ์เพื่อการแยกออกซิเจนจากโลหะ ก็คือ โลหะหรือสารประกอบชนิดที่มีแนวโน้มในการรวมตัวกับออกซิเจนได้ดีกว่าโลหะหล่อ เมื่อผสมลงไปมันจะดึงออกซิเจนเข้ามารวมตัวปลดปล่อยโลหะหล่อให้เป็นอิสระจากออกซิเจน ถ้าเป็นโลหะเหล็กโลหะที่แยกออกซิเจนออก คือ อลูมิเนียม ซิลิกอน หรือแมงกานิส สำหรับทองแดงจะใช้แคลเซียมหรือฟอสฟอรัสแยกออกซิเจนออก แต่ถ้าเป็นนิเกิลต้องแยกออกซิเจนโดยแคลเซียมหรือแมกนีเซียม การใช้ตัวลดออกซิเจนจะต้องปฏิบัติด้วยความระมัดระวัง เพราะส่วนที่รวมตัวไม่หมดจะตกค้างอยู่ในน้ำโลหะ ทำให้คุณสมบัติของโลหะผสมผิดไปจากเดิม ซึ่งจะส่งผลให้น้ำโลหะมีสารมลทินเหลือค้าง จะทำให้ชิ้นงานหล่อมีความบกพร่องจนไม่สามารถนำไปใช้งานได้

การขับไล่สารมลทินและแก๊สแทรกซึมออกจากน้ำโลหะ ทำได้โดยการผ่านฟองแก๊สเข้าใต้น้ำโลหะ แก๊สที่ใช้จะต้องเป็นแก๊สที่ไม่ละลายตัวในน้ำโลหะ เช่น ไนโตรเจน ฮีเลียม อาร์กอน หรือคลอรีน ฟองแก๊สเหล่านี้เมื่อสัมผัสกับแก๊สแทรกซึม เช่น ออกซิเจน จะรวมตัวกันแล้วลอยขึ้นสู่ผิวหน้า เมื่อแก๊สแทรกซึม เช่น ไฮโดรเจนสัมผัสกับฟองของไนโตรเจนมันจะแพร่ซึมเข้ารวมตัวลอยขึ้นสู่ผิวหน้า แล้วสลายตัวเข้าสู่บรรยากาศในที่สุด วิธีการอีกวิธีหนึ่งในการขับแก๊สแทรกซึมและออกไซด์ก็คือ การใช้ระบบสุญญากาศ

เมื่อลดความดันบรรยากาศเหนือผิวหน้าของโลหะเหลว แก๊สที่แทรกซึมอยู่จะลอยขึ้นมา จากผลการทดลองพบว่าวิธีการนี้ได้ผลดีและสะดวกในทางปฏิบัติ แต่อย่างไรก็ตามวิธีป้องกันมิให้เกิดการแทรกซึม น่าจะเป็นวิธีการแก้ปัญหาการขับไล่สารมลทินที่ดีที่สุด (วีรพันธ์ สิทธิพงศ์. 2533 : 287-288)

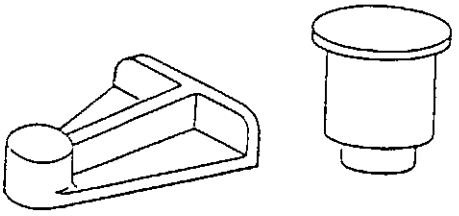


ภาพประกอบ 23 แสดงวิธีการทำน้ำโลหะให้บริสุทธิ์
(วีระพันธ์ สิทธิพงศ์. 2533 : 287-288)

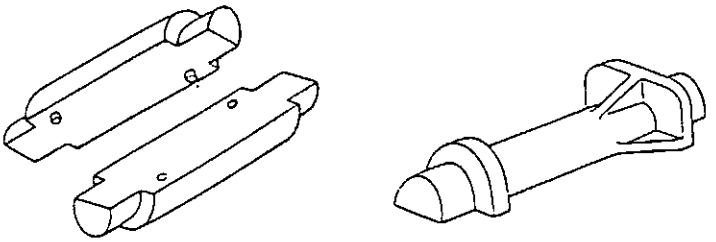
4.1.2 อุปกรณ์ การเตรียมอุปกรณ์สำหรับการหลอมละลายอลูมิเนียมด้วยเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงนั้น ประกอบไปด้วยหุ่นแบบ หีบหล่อแบบหล่อกาวแบบหล่อชั่วคราว และเครื่องมือหรือเครื่องจักรปั้นแบบ

หุ่นแบบ เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดโพรงภายในแบบหล่อ ซึ่งสามารถแบ่งได้หลายชนิด ในการเลือกใช้หุ่นแบบชนิดใดสำหรับการปั้นแบบนั้น ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการผลิต และคุณภาพของงานหล่อ ปัจจัยสำคัญจึงอยู่ที่การเลือกใช้หุ่นแบบให้เหมาะสม

กับงาน หุ่นแบบมีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้ทำแบบคือหุ่นแบบปกติ ซึ่งมีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงาน มีทั้งชนิดที่เป็นชิ้นเดียวและแยกชิ้นได้ ดังภาพประกอบ 24 และ 25 หุ่นแบบชนิดที่เป็นชิ้นเดียวจะมีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงาน แต่จะมีขนาดใหญ่กว่า ทั้งนี้เพราะการเผื่อหดตัวของน้ำโลหะ และหุ่นแบบที่แยกชิ้นได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ที่มีลักษณะเหมือนกัน เพื่อให้ง่ายต่อการทำแบบ ทั้งนี้เพราะชิ้นงานบางชิ้นมีรูปร่างสลับซับซ้อน ไม่สามารถทำเป็นหุ่นแบบชิ้นเดียวได้



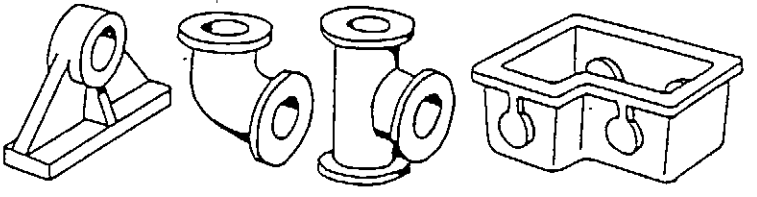
ภาพประกอบ 24 แสดงลักษณะหุ่นแบบชนิดชิ้นเดียว
(หริส สูตะบุตร และ จิธิอิวา. 2535 : 56)



ภาพประกอบ 25 แสดงลักษณะหุ่นแบบชนิดแยกชิ้น
(หริส สูตะบุตร และ จิธิอิวา. 2535 : 56)

ดังได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่าหุ่นแบบทำให้เกิดโพรงภายใน ที่มีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงานหล่อที่ต้องการ ดังภาพประกอบ 26 แต่จะมีขนาดใหญ่กว่า ทั้งนี้เพราะ

น้ำโลหะแต่ละชนิดเมื่อเย็นตัว เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งจะเกิดการหดตัว ดังนั้นการสร้างหุ่นแบบจึงต้องเผื่อขนาด และการเผื่อขนาดก็ขึ้นอยู่กับโลหะแต่ละชนิดด้วย ทั้งนี้เพราะโลหะแต่ละชนิดมีอัตราการหดตัวแตกต่างกันเช่น เหล็กหล่อ ทองแดง ดีบุกและตะกั่ว มีการหดตัวร้อยละ 1 แต่สำหรับอลูมิเนียม และแมกนีเซียม มีการหดตัวร้อยละ 1.25 ตัวอย่างการทำหุ่นแบบเผื่อหลอมละลายอลูมิเนียม ขนาดของหุ่นแบบที่มีความยาว 100 ม.ม. จะเปลี่ยนไปเป็น 101.25 ม.ม. ทั้งนี้เป็นไปตามอัตราการหดตัวของอลูมิเนียมดังกล่าวแล้ว

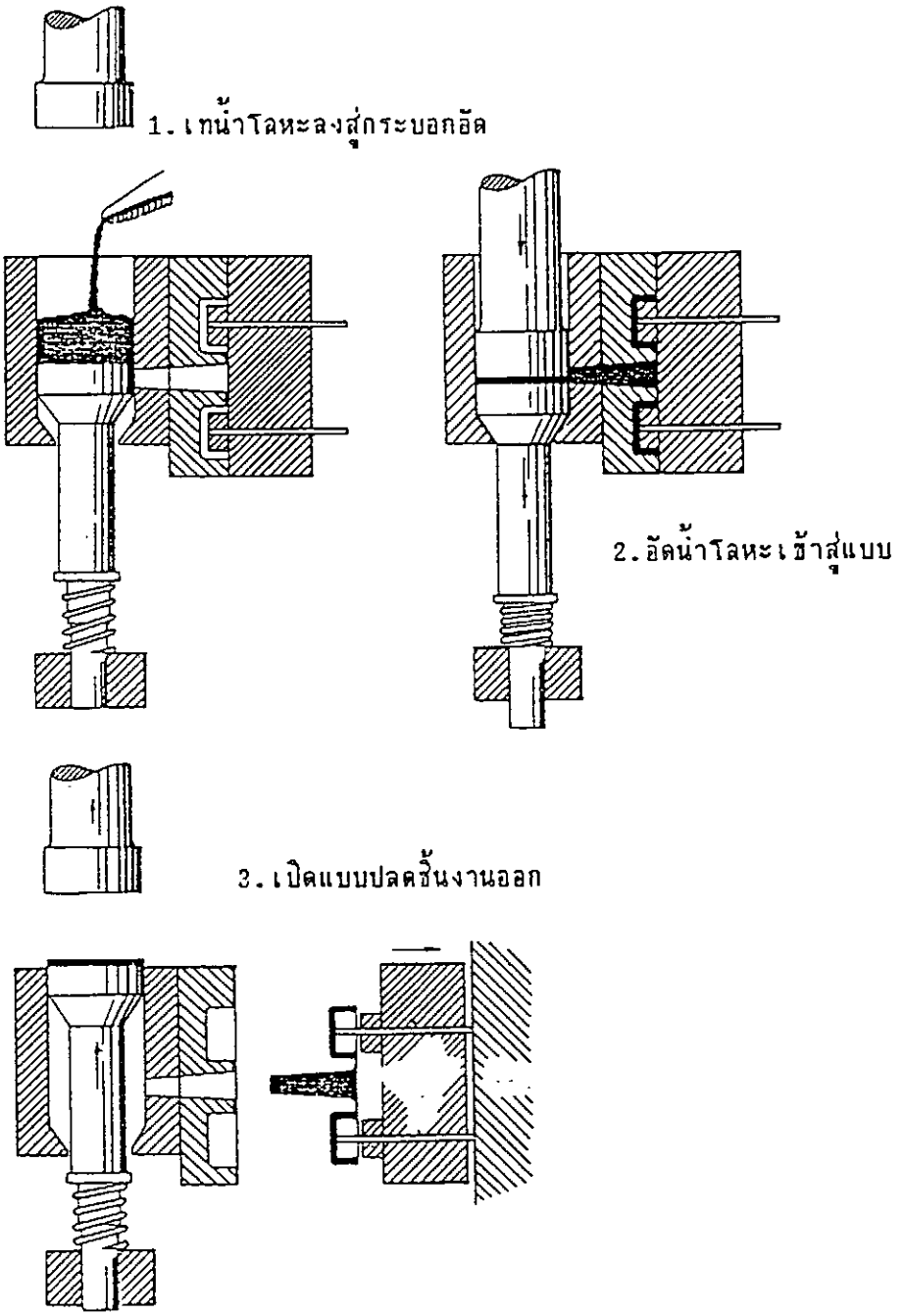


ภาพประกอบ 26 แสดงลักษณะชิ้นงานหล่อ
(ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. ม.ป.ป. : 5)

หีบหล่อ เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้ในการปั้นแบบหล่อ ก่อนที่จะกล่าวถึงหีบหล่อโดยละเอียดนั้น ควรกล่าวถึงแบบหล่อเสียก่อนว่า แบบหล่อแบ่งได้ 2 ชนิด คือ แบบหล่อถาวร และแบบหล่อชั่วคราว

แบบหล่อถาวร เป็นแบบหล่อสำเร็จรูป ทำให้เกิดโพรงแบบ โดยการใช้เครื่องจักรกล ซึ่งทำจากเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียว นิยมใช้กับชิ้นงานหล่อจำนวนมาก (mass production) เช่น การหล่อแบบอัด ดังภาพประกอบ 27

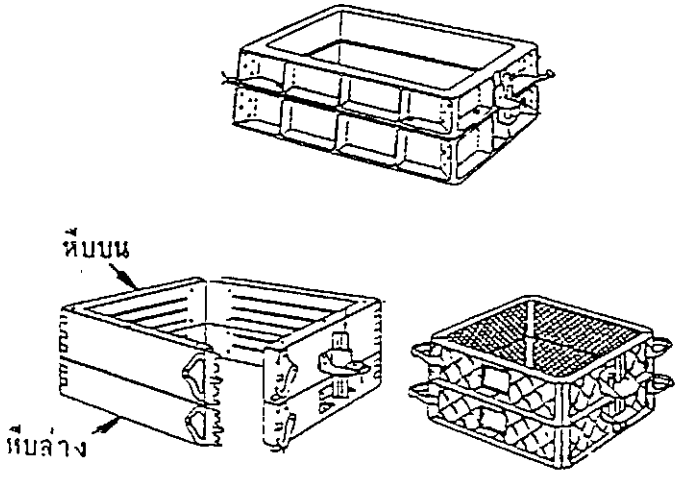
แบบหล่อชั่วคราว เป็นแบบหล่อที่ทำให้เกิดโพรงภายในโดยใช้หุ่นแบบ แบบหล่อชั่วคราวนี้ทำจากทราย และหีบหล่อใช้ได้ครั้งเดียวเท่านั้น ถ้าต้องการใช้ต้องทำขึ้นใหม่ทุกครั้ง



ภาพประกอบ 27 แสดงลักษณะการหล่อแบบอัด

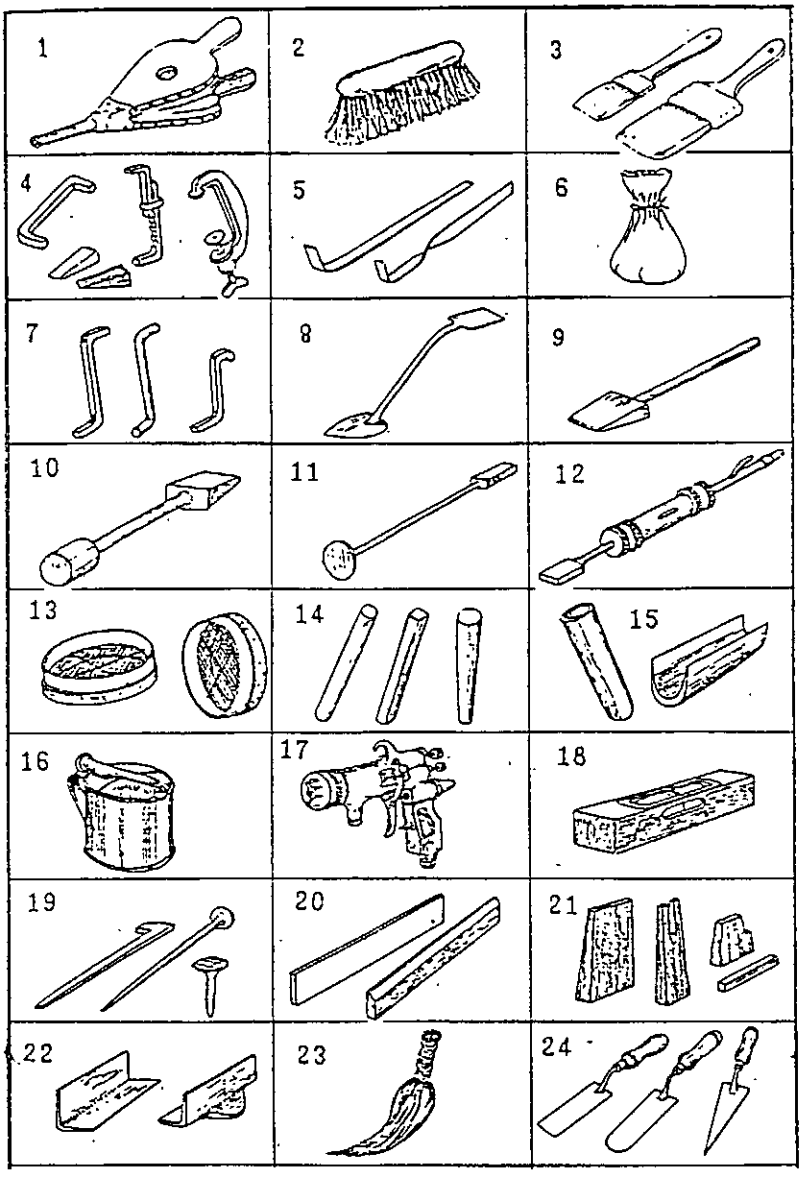
(Higgins. 1991 : 97)

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงหีบหล่อที่เป็นอุปกรณ์สำคัญในการทำแบบหล่อชั่วคราว หีบหล่อจะทำจากไม้และโลหะ แต่ที่นิยมใช้จะทำจากโลหะจำพวกเหล็ก หีบหล่อประกอบด้วยหีบชั้นบน(cope) และหีบชั้นล่าง (drag) รูปร่างของหีบหล่อมีหลายแบบ เช่น หีบหล่อแบบสี่เหลี่ยม หีบหล่อแบบกลม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ปั้นแบบ ซึ่งมีรูปร่างต่างๆ กัน ดังภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 แสดงลักษณะของหีบหล่อ
(หริส สูตะบุตร และ จิยิอิวา. 2535 : 86)

เมื่อเตรียมหุ่นแบบ หีบหล่อ และทรายหล่อเรียบร้อยแล้ว ในลำดับต่อไปคือการทำแบบหล่อ การทำแบบหล่อสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การทำแบบหล่อด้วยมือและการทำแบบหล่อด้วยเครื่อง ในปัจจุบันมีการทำแบบหล่อด้วยเครื่องมากขึ้นเพราะความก้าวหน้าของเครื่องทำแบบ ซึ่งมีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ สำหรับการทำแบบด้วยมือเหมาะกับการทำแบบขนาดใหญ่ หรือแบบที่มีความละเอียดและสลับซับซ้อน ในการทำแบบด้วยมือนั้นจะต้องใช้เครื่องมือในการทำแบบหลายชนิดด้วยกัน เช่น เหล็กกระทุ้งทราย ทำหน้าที่กระทุ้งทรายให้แน่น ไม้ปาด ทำหน้าที่ปาดทรายให้เรียบเสมอกับขอบหีบหล่อ เกรียง ทำหน้าที่ปาดทรายให้เรียบและได้ระดับ เหล็กยกแบบ ทำหน้าที่ยกหุ่นแบบออกจากทรายหล่อเพื่อให้เกิดโพรงแบบ เหล็กแทงรูไอ ทำหน้าที่แทงทรายให้เกิดช่องว่าง เพื่อให้แก๊สที่เกิดขึ้นจากการเทน้ำโลหะสามารถซึมผ่านช่องว่างเหล่านั้นได้โดยง่าย เป็นต้น ดังภาพประกอบ 29

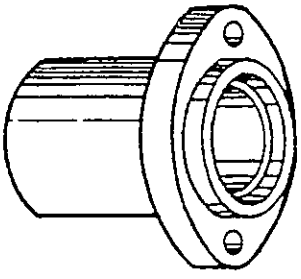


ภาพประกอบ 29 แสดงลักษณะเครื่องมือทำแบบ

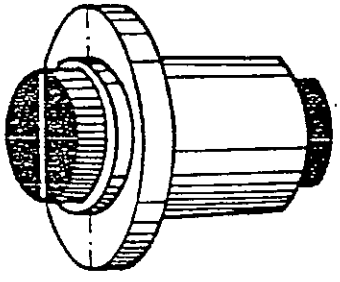
(Salmon and Simons. 1972 : 122)

ชิ่งเครื่องมือมีชื่อดังนี้ 1. หีบลม 2. แปรงขนอ่อน 3. แปรงทาสี 4. เครื่องมือยึดหีบ 5. เหล็กฉาก 6. ถุงฝุ่น 7. ฉากกลม 8. ช้อนหัวใจ 9.-12. เหล็กกระทุ้ง 13. ตะแกรงร่อนทราย 14. และ 15. ฉนวนรูเท รูล้น 16. และ 17. อุปกรณ์พ่นสี 18. ระดับน้ำ 19. เหล็กยกแบบ 20. ไม้ปาด 21. ลิ่มยึดหุ่นแบบ 22. ฉากแต่งแบบ 23. พู่กัน 24. เกรียง

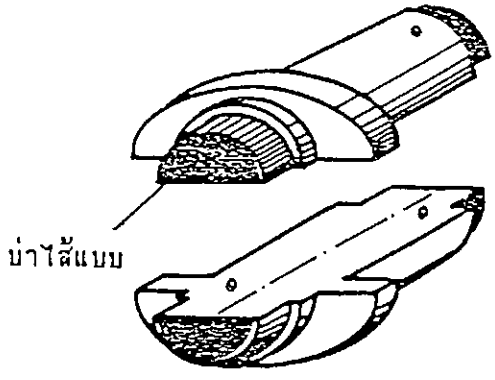
และมีขั้นตอนในการทำแบบ ดังภาพประกอบ 30-32 ซึ่งแสดงลำดับขั้นการทำแบบเริ่มตั้งแต่ นำงานหล่อที่ต้องการมาทำเป็นหุ่นแบบ เมื่อได้หุ่นแบบแล้วนำหุ่นแบบฝังลงในทราย เพื่อให้เกิดโพรงแบบ จากนั้นนำไส้แบบวางลงในโพรงแบบ ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ชิ้นงานหล่อเกิดช่องว่างภายใน จากนั้นนำหีบชั้นบนวางลงบนหีบชั้นล่าง เพื่อรอการเทน้ำโลหะต่อไป



ชิ้นงาน

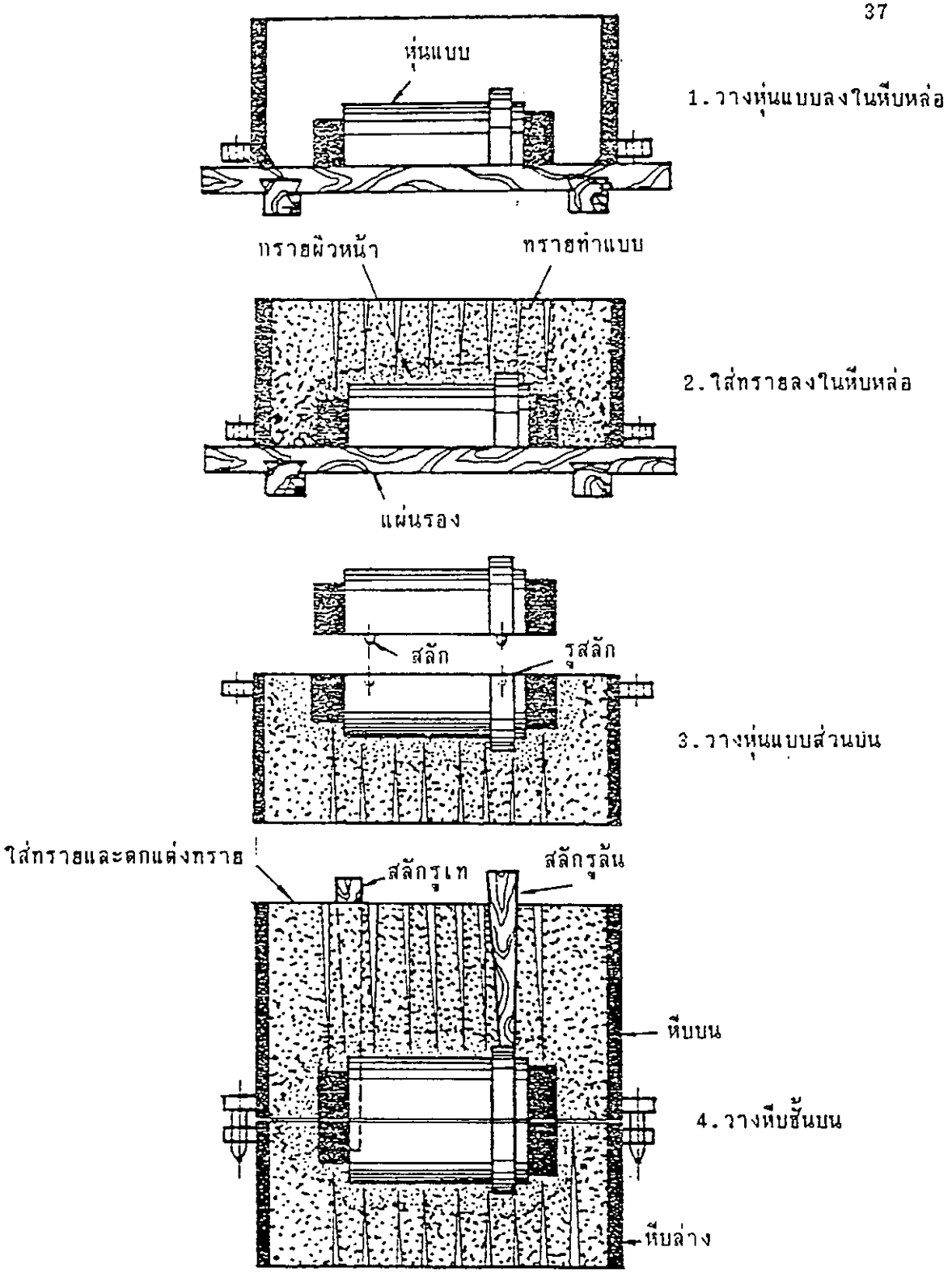


หุ่นแบบ



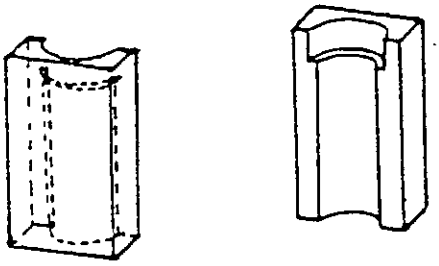
หุ่นแบบแยก

ภาพประกอบ 30 แสดงลักษณะชิ้นงานหล่อและหุ่นแบบ
(ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. ม.ป.ป. : 7)

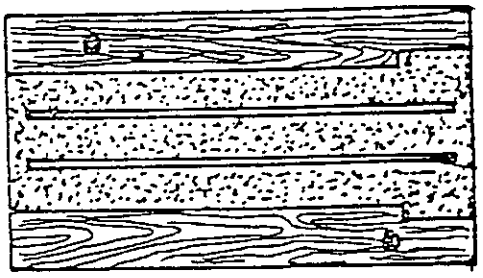


ภาพประกอบ 31 แสดงลำดับขั้นการทำแบบด้วยมือ

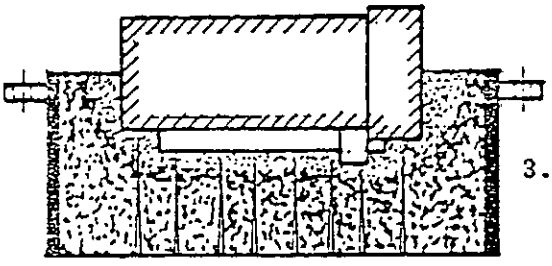
(ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. ม.ป.ป. : 8)



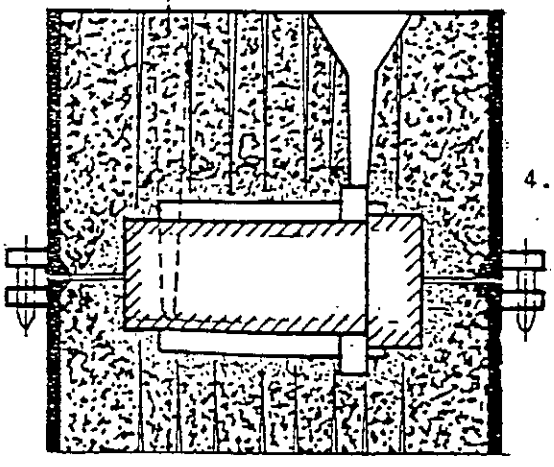
1. กล่องทำไส้แบบ



2. ใส่ทรายภายในกล่องทำไส้แบบ



3. วางไส้แบบลงบนบ่าไส้แบบ

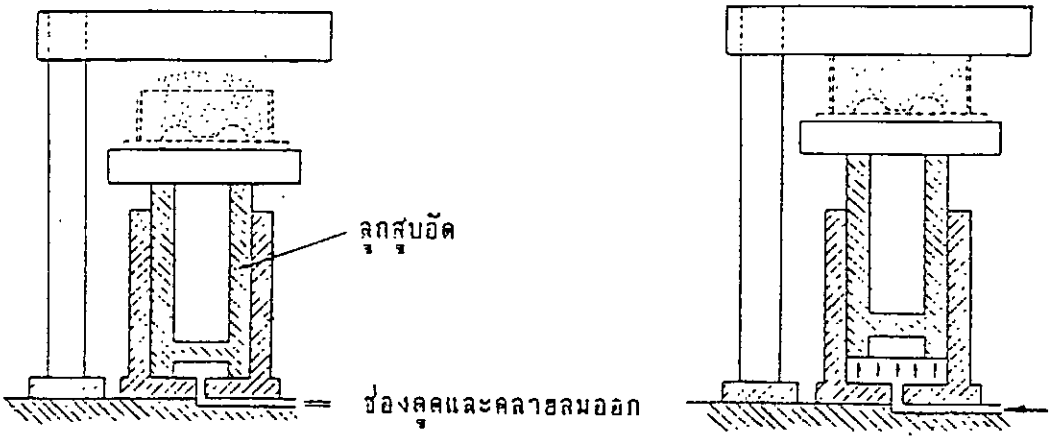


4. วางหีบชั้นบนลงบนหีบชั้นล่าง

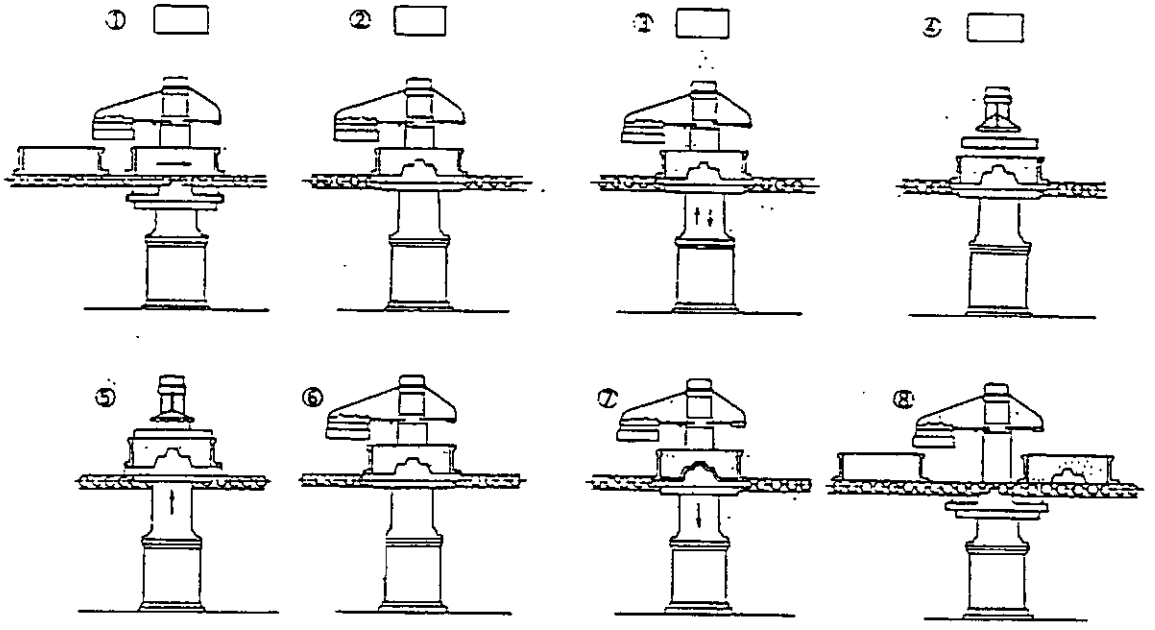
ภาพประกอบ 32 แสดงลักษณะการทำไส้แบบ

(ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. ม.ป.ป. : 9)

สำหรับการปั้นแบบด้วยเครื่องนั้น ได้กล่าวไว้แล้วว่า เหมาะสมกับการหล่อจำนวนมาก และความละเอียดซับซ้อนมีน้อย ซึ่งมีลักษณะและขั้นตอนการปฏิบัติ ดังภาพประกอบ 33 และ 34



ภาพประกอบ 33 แสดงการทำแบบด้วยเครื่อง
(หริส สูตะบุตร และ จิยิอิวา. 2535 : 89)



ภาพประกอบ 34 แสดงขั้นตอนการทำแบบด้วยเครื่อง
(หริส สูตะบุตร และ จิยิอิวา. 2535 : 91)

4.2 ขั้นการหลอมละลายอลูมิเนียม ก่อนที่จะหลอมละลายโลหะชนิดใด ควรศึกษาคุณสมบัติที่สำคัญของโลหะนั้นว่ามีลักษณะที่ให้ผลดีต่อการหลอมละลายหรือไม่ ซึ่งลักษณะดังกล่าวนั้นคือ ควรจะมีคุณสมบัติไหลง่าย (good fluidity) สามารถไหลผ่านช่องแคบๆ หรือไหลไปตามช่องทางของแบบที่สลับซับซ้อนได้โดยง่าย มีจุดหลอมตัวต่ำสะดวกในการหล่อหลอม (low melting point) ไม่ยอมให้แก๊สใดๆ ละลายได้ง่ายในขณะหลอมเหลว (low gas solubility) ไม่เปราะแตกง่ายในขณะเกิดการแข็งตัว (not hot shortness) สามารถผสมธาตุต่างๆ เข้าได้ง่ายและสม่ำเสมอ (good chemical reproducibility) ให้ผิวงานหล่อที่เรียบไม่ติดทรายแบบหรือสเกล (good as-cast surface finish) เราจะไม่พบโลหะชนิดใดที่จะให้คุณสมบัติทางด้านหล่อหลอมครบถ้วนตามที่กล่าวมานี้เลย ยกเว้นโลหะอลูมิเนียมที่ให้คุณสมบัติที่เข้าใกล้มากที่สุด จะเห็นว่าโลหะอลูมิเนียมมีจุดหลอมตัวต่ำประมาณ 690-730 องศาเซลเซียส มีช่วงของการแข็งตัวและไหลได้ง่าย ทำให้ปัญหาทางด้านวัสดุทำแบบหล่อ (molding material) หมดไป ปัญหาที่สำคัญและจัดเป็นเรื่องที่ต้องระมัดระวังในการหล่อหลอมอลูมิเนียมก็คือ คุณสมบัติเปราะแตกง่ายในช่วงเกิดการแข็งตัว และอีกประการหนึ่งคืออลูมิเนียมยอมให้แก๊ส โดยเฉพาะไฮโดรเจนละลายได้ดีมากในสภาพหลอมเหลว และปริมาณของแก๊สจะลดลงเมื่ออลูมิเนียมแข็งตัว นอกจากนี้ อลูมิเนียมรวมตัวกับออกซิเจนและกลายเป็นอลูมิเนียมออกไซด์ได้ง่าย และมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับโลหะอลูมิเนียม ทำให้การแยกตัวของอลูมิ-เนียมออกไซด์เป็นไปได้ยาก อันจะมีผลทำให้อลูมิเนียมออกไซด์สามารถไหลปะปนไปกับโลหะอลูมิเนียมเข้าแบบหล่อ ทำให้ได้ชิ้นงานหล่อที่คุณภาพต่ำ ประการสุดท้ายที่จัดว่าสำคัญไม่น้อยก็คือ เรื่องการหดตัวในสภาวะของแข็งค่อนข้างสูง ทำให้ควบคุมขนาดของงานหล่อได้ยาก ทั้งหมดที่กล่าวมานี้เป็นสิ่งที่จะต้องแก้ไขขณะทำการหล่อหลอม เพื่อให้ได้งานหล่อที่มีคุณภาพดีตามมาตรฐาน

4.2.1 ลำดับขั้นการหลอมละลายอลูมิเนียมด้วยเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะเสนอรายละเอียดเป็นขั้นตอน เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้โดยง่าย ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

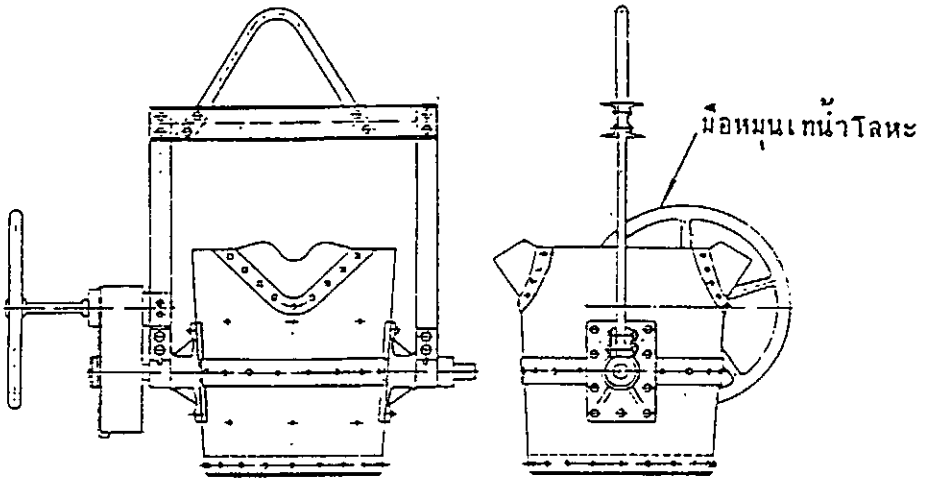
เตาเบ้า เตาที่จะใช้ในการหลอมละลายอลูมิเนียมนั้น ก่อนใช้งานต้องทำความสะอาด และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอต่างๆ ให้เรียบร้อยพร้อมที่จะนำไปใช้ปฏิบัติงานได้

เชื้อเพลิง เติมน้ำมันดีเซลให้เต็มถังเชื้อเพลิง ตรวจสอบสายส่งน้ำมันและหัวฉีดว่าอยู่ในสภาพที่ใช้ปฏิบัติงานได้ โดยทดลองเปิดน้ำมันให้ไหลออกมาที่หัวฉีด สังเกตดูว่าน้ำมันต้องไหลสะดวกและต่อเนื่อง

วัตถุดิบและอุปกรณ์ ตรวจดูวัตถุดิบและอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อลูมิเนียม น้ำมันดีเซลสำรอง ฟลักซ์ แบบหล่อ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ คีมด้ามยาว และเบ้าเทเพื่อให้พร้อมที่จะใช้ปฏิบัติงานต่อไป

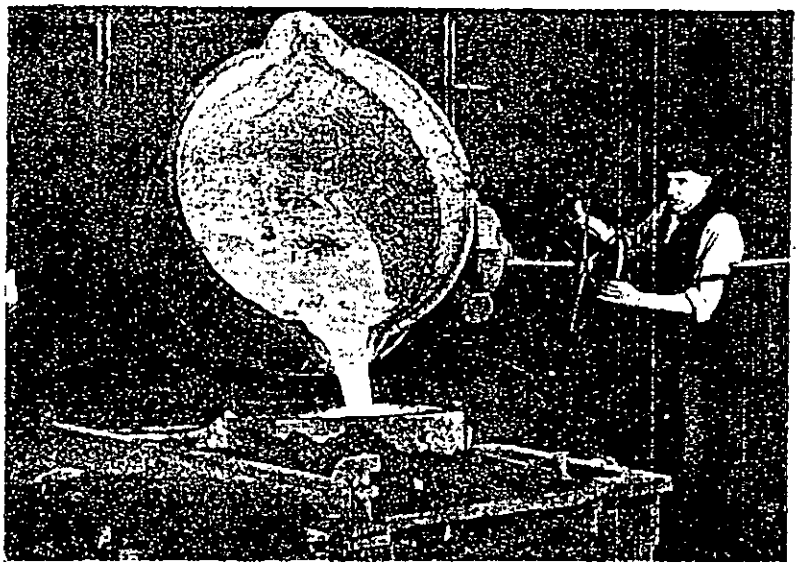
ติดเตาเบ้า นำเบ้าหลอมวางลงในเตา จากนั้นนำผ้าชุบน้ำมันวางลงในเตาใกล้กับหัวฉีดน้ำมัน เมื่อเรียบร้อยจุดไฟให้ติดผ้าที่ชุบน้ำมันนั้น เปิดน้ำมันให้น้ำมันไหลเข้าเตา พร้อมทั้งเปิดลมเพื่อช่วยในการเผาไหม้ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที เพื่ออุ่นเตาในทุกกรณีที่จะหลอมละลายโลหะโดยใช้เตาชนิดใดก็ตาม ต้องอุ่นเตาให้อุ่นเพื่อป้องกันการแตกร้าวที่จะเกิดขึ้นภายในเตา และความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับการเริ่มต้นหลอมละลายโลหะ แต่สำหรับเตาเบ้าขนาดเล็ก การอุ่นเตาจะใช้เวลาเพียงเล็กน้อยคือ ประมาณ 1-2 นาที เท่านั้น เมื่ออุ่นเตาเสร็จควรใส่อลูมิเนียมลงในเบ้าหลอมให้เต็ม และรอจนกว่าอลูมิเนียมจะหลอมละลาย ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 50 นาที เมื่ออลูมิเนียมหลอมละลายหมดแล้วนำฟลักซ์ใส่ลงในเบ้าหลอมเพื่อป้องกันสารมลทินที่จะเกิดขึ้น เมื่อถึงขั้นตอนนี้อลูมิเนียมก็พร้อมที่จะนำไปเทลงสู่โพรงแบบต่อไป

4.2.2 การเทน้ำโลหะ หมายถึงการเทน้ำโลหะจากเบ้าเทลงสู่แบบที่ได้เตรียมไว้ในการเทจะต้องใช้ความระมัดระวังในด้านอุณหภูมิเทตรวจสอบอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคับเปิล เพื่อให้น้ำโลหะมีอุณหภูมิที่เหมาะสม ความเร็วในการเทและอุณหภูมิเทขึ้นกับขนาดของชิ้นงาน ในด้านความเร็วในการเทนั้นจะต้องเทช้าๆ เพื่อมิให้เกิดจุดเสีย เช่น รอยร้าว แต่ถ้าเทช้าเกินไปจะเสียความสามารถในการไหล มีแก๊สติดเข้าไปกับน้ำเหล็กเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศและทำให้ผิวไม่เรียบ จะต้องกำหนดความเร็วในการเทที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงขนาดของชิ้นงานหล่อและแบบหล่อ (หริส สูตะบุตร และเดนจิ จิอิวา. 2521 : 142) แต่ถึงแม้ว่าจุดเสียในชิ้นงานหล่อจะเกิดขึ้นได้จากการเทน้ำโลหะเร็วหรือช้าเกินไปก็ตาม ความเสียหายที่เกิดจากสาเหตุดังกล่าวก็ไม่พบบ่อยนัก ดังนั้นเพื่อให้เป็นการง่ายต่อการเทน้ำโลหะ ผู้ควบคุมการเทน้ำโลหะควรยึดหลักขนาดของโพรงแบบเป็นข้อกำหนดความเร็วในการเท ดังภาพประกอบ 35-39



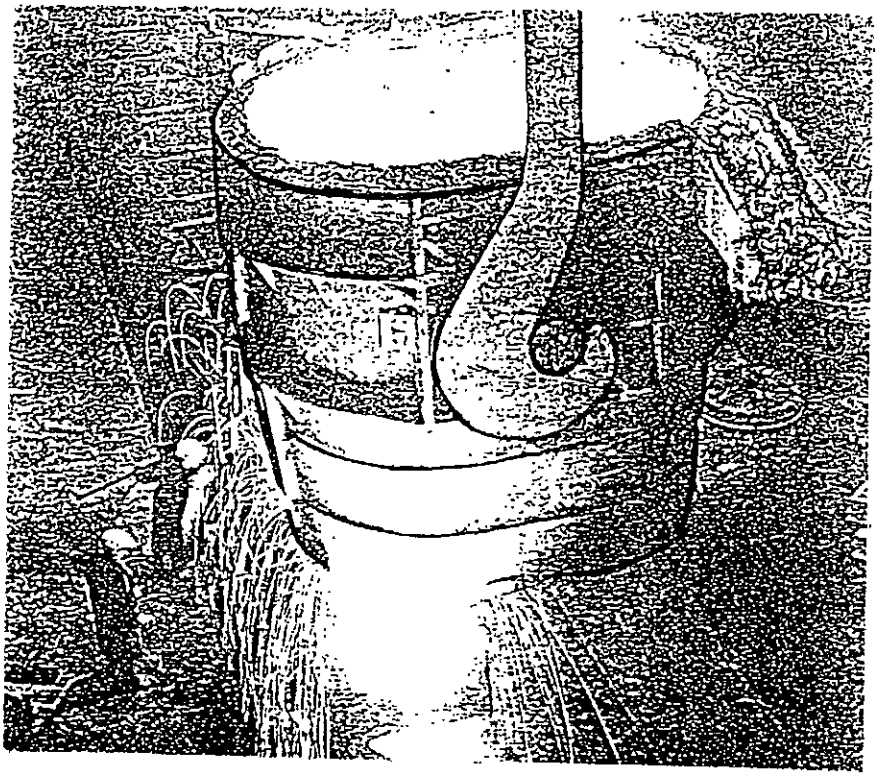
ภาพประกอบ 35 แสดงลักษณะเบ้าเอียงเทด้วยเฟือง

(หริส สูตะบุตร และ จิยิอิวา. 2535 : 148)



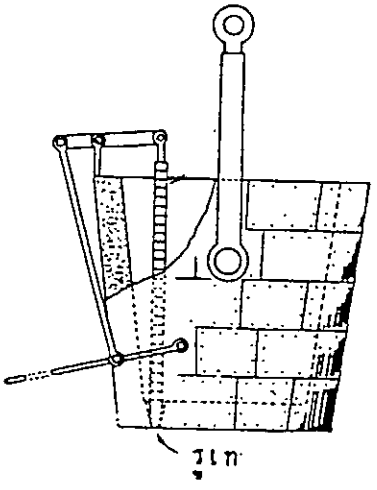
ภาพประกอบ 36 แสดงวิธีการเทน้ำโลหะ

(Higgins. 1991 : 83)



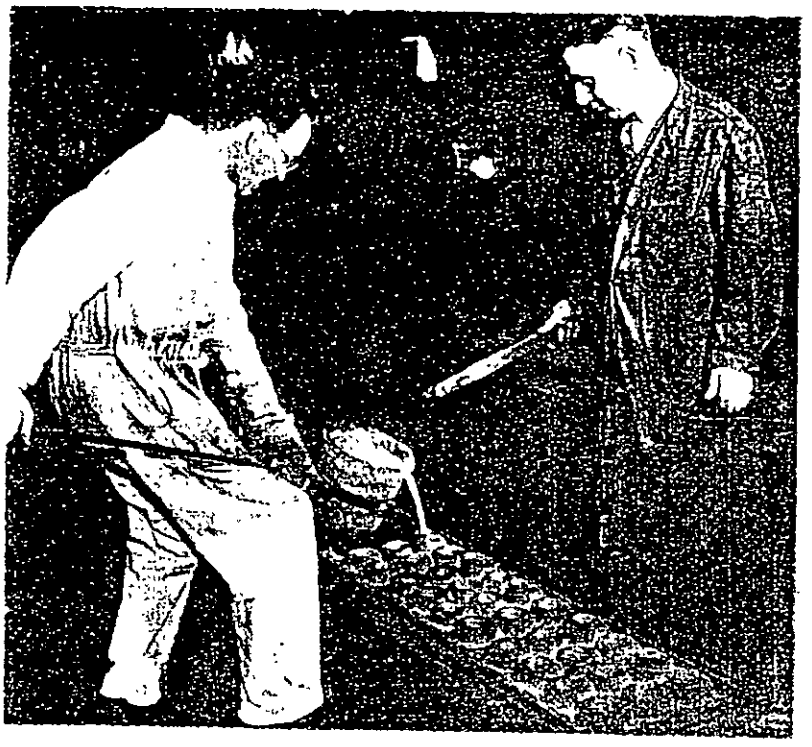
ภาพประกอบ 37 แสดงลักษณะการเทน้ำโลหะด้วยเบ้าเทขนาดใหญ่

(Amstead, Ostwald and Begeman. 1979 : 59)



ภาพประกอบ 38 แสดงลักษณะเบ้าเทด้านล่าง

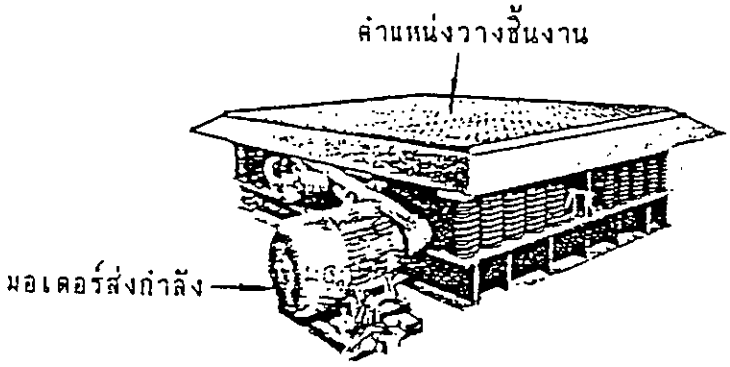
(Higgins. 1991 : 37)



ภาพประกอบ 39 แสดงลักษณะการเทน้ำโลหะด้วยเบ้าเทมือ

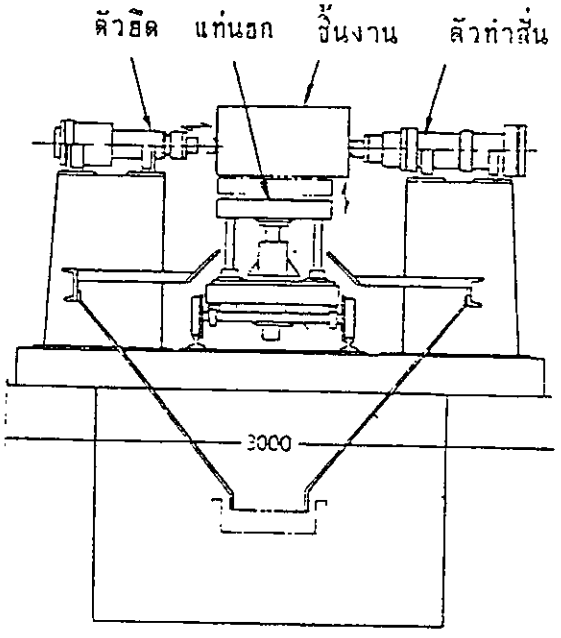
(Higgins. 1991 : 120)

4.3 ขั้นการตกแต่งชิ้นงานหล่อ ชิ้นงานหล่อเมื่อเย็นตัวลงแล้วจะต้องนำชิ้นงานหล่อดังกล่าวนั้นออกจากแบบหล่อ ไม่ว่าจะเป็นแบบหล่อถาวรที่ทำจากโลหะ หรือแบบหล่อชั่วคราวที่ทำจากทราย สำหรับในขั้นตอนนี้จะกล่าวเฉพาะการนำชิ้นงานหล่อออกจากแบบหล่อชั่วคราวเท่านั้น โดยการเขย่าทรายออกจากชิ้นงานหล่อด้วยเครื่องเขย่าทราย ดังภาพประกอบ 40-41 หลังจากนั้นนำชิ้นงานหล่อไปทำความสะอาดและตรวจสอบจุดเสียต่อไป



ภาพประกอบ 40 แสดงลักษณะเครื่องเจย่าทราย
(หริส สูตะบุตร และ จิยิอิวา. 2535 : 162)

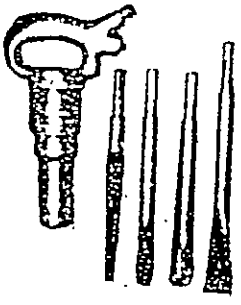
4.3.1 การทำความสะอาดชิ้นงานหล่อ ชิ้นงานที่นำออกจากทรายแล้วนำไปล้างน้ำหรือยิงด้วยเม็ดโลหะให้สะอาดปราศจากทราย และทลวงไส้แบบออกด้วยเครื่องทลวงไส้แบบ ดังภาพประกอบ 40 และ 41 แล้วจึงนำไปตกแต่งโดยการตัดรูเท รูล้นออก ในการเอารูเทและรูล้นออก อาจใช้วิธีต่างๆ ได้หลายวิธีเช่น การตีให้รูเท รูล้นหัก การตัดด้วยแก๊สและวิธีทางกล



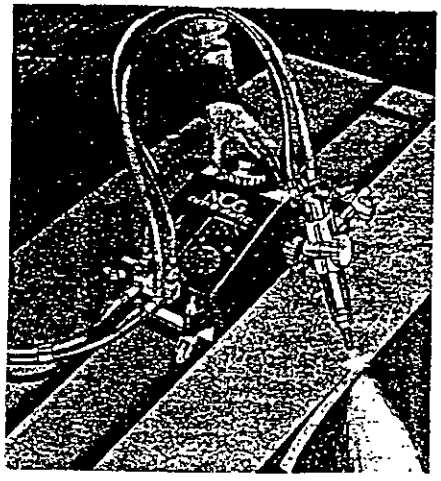
ภาพประกอบ 41 แสดงลักษณะเครื่องทลวงไส้แบบ
(หริส สูตะบุตร และ จิยิอิวา. 2535 : 162)

ภาพประกอบ 42 แสดงลักษณะการทำความสะอาดโดยการยิงด้วยเม็ดโลหะ
(Degarmo, Black and Kohser. 1990 : 965)

วิธีตีหัก ใช้กันมากที่สุดในการหล่อเหล็กหล่อเทาหรือเหล็กหล่อมัลลีเบิล วิธีนี้แยกออกเป็นวิธีใช้พลังงานคนคือ การใช้ค้อนตีและวิธีใช้พลังงานกล่เช่น การสั่น การกระแทกหรือการกด ดังภาพประกอบ 43 ในทางปฏิบัติถึงแม้ว่ามีกรณีที่รูเทและรูล้นหักออกเอง เนื่องจากการกระแทกเพื่อเอาทรายทำแบบออก โดยการเขย่าในเครื่องเขย่า แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะหักรูเท และรูล้นออกขณะที่ชิ้นงานอยู่ในเครื่องเขย่า หรืออยู่บนสายพานลำเลียงแขวน (hanger conveyor) เพื่อให้ชิ้นงานเย็นลง และในบางกรณีก็ใช้เครื่องอัดโดยมีที่รับและกำกับชิ้นงาน (jig) หรือใช้เครื่องหมุนกวน (tunbler) เพื่อเอารูเท และรูล้นออกในขณะเดียวกับที่เอาทรายออก



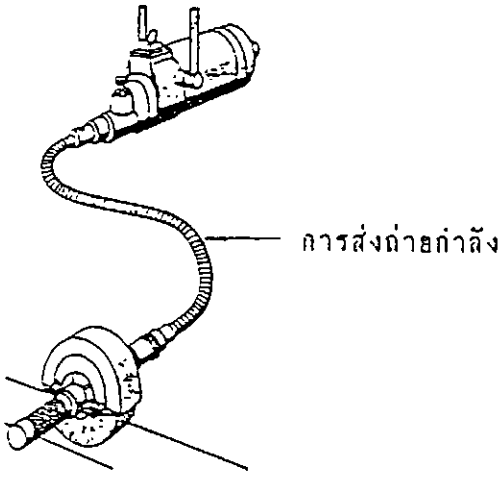
ภาพประกอบ 43 แสดงลักษณะค้อนลมและสกัด
(หริส สูตะบุตร และ จิธิอิวา. 2535 : 165)



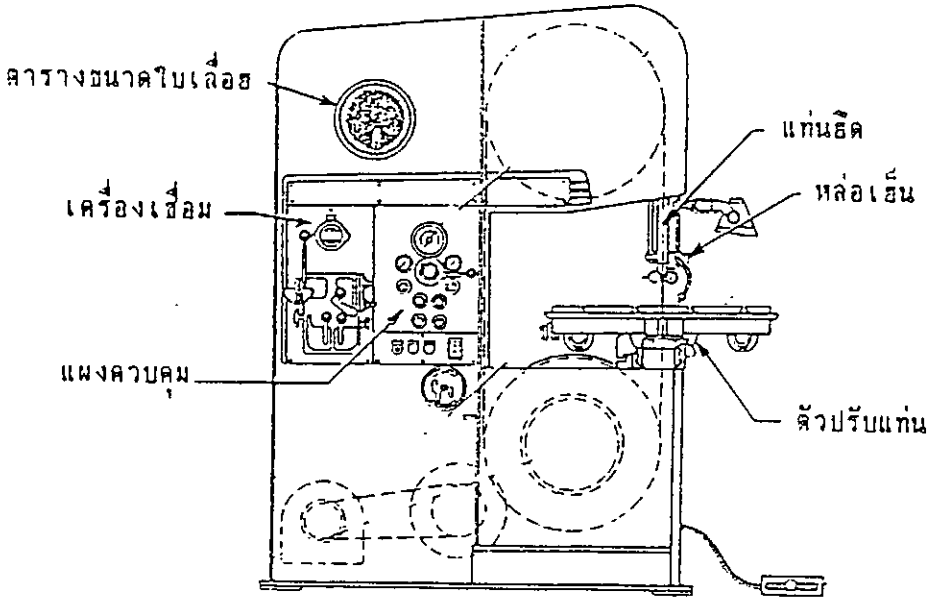
ภาพประกอบ 44 แสดงลักษณะการตัดงานหล่อด้วยแก๊ส
(Degarmo, Black and Kohser. 1990 : 877)

วิธีตัดด้วยแก๊ส ใช้สำหรับเหล็กเหนียวหล่อหรือถ้ามีปัญหาในการใช้เครื่องกลตัด ดังภาพประกอบ 44 เช่นเมื่อตัดเหล็กเหนียวโลหะผสมสูง เหล็กเหนียวไร้สนิมและเหล็กแมงกานีสสูง แต่ถ้าพบปัญหาในการตัดด้วยแก๊ส ถึงแม้จะใช้ตัดเหล็กหล่อหรือโลหะผสมนอกกลุ่มเหล็ก (non ferrous) ก็ตาม ก็ควรใช้วิธีตัดออกด้วยการอาร์ค

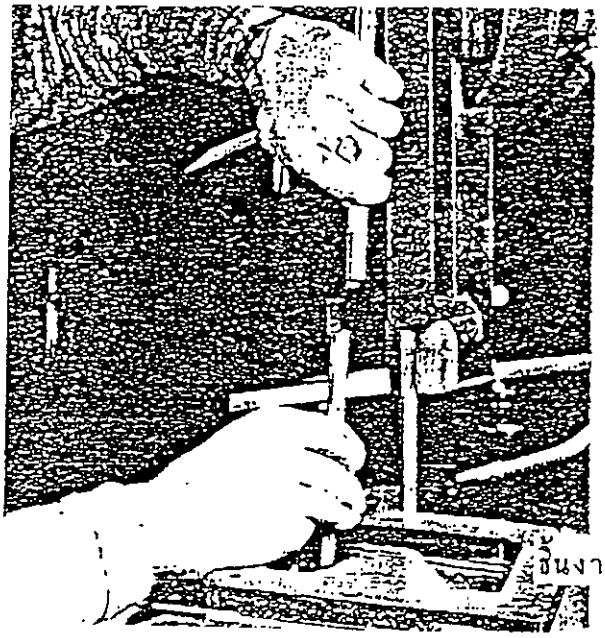
วิธีตัดโดยเครื่องกล การเลื่อยนั้นส่วนมากใช้กับชิ้นงานหล่อโลหะผสมทองแดง หรือโลหะผสมเบา (light alloy) การเลื่อยช้ากว่าการใช้แก๊สตัด และตัดด้วยเครื่องเจียรนัย แต่เมื่อตัดแล้วผิวจะเรียบและตัดได้เที่ยงตรง ทำให้ไม่ต้องตกแต่งมาก นอกจากนั้นถ้าส่วนตัดของงานจะต้องผ่านงานเครื่องกลโรงงาน ก็จะได้เปรียบตรงที่ไม่ต้องเผื่อไว้มาก อีกประการหนึ่งการเลื่อยทำให้ไม่เกิดปัญหาด้านการบิดเบี้ยวหรือร้าวเนื่องจากความร้อนและในกรณีที่ชิ้นงานทำด้วยวัสดุราคาแพง ก็สามารถทำให้รอยตัดแคบและถ้าจะเก็บเศษที่เกิดจากการตัดก็สามารถทำได้ เครื่องที่ใช้เลื่อยมีเครื่องตัดความเร็วสูง (high speed cutter) หรือเครื่องเลื่อยสายพาน (band saw) ดังภาพประกอบ 45-47



ภาพประกอบ 45 แสดงลักษณะเครื่องเจียรนัยเพลาอ่อน
(บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ. 2518 : 167)



ภาพประกอบ 46 แสดงลักษณะเครื่องเลื่อยสายพาน
(Amstead, Astwald and Begeman. 1979 : 598)



ภาพประกอบ 47 แสดงการตัดด้วยเครื่องเลื่อยสายพาน
(Amstead, Ostwald and Begeman. 1979 : 598)

4.3.2 การตรวจสอบ ชิ้นงานที่ทำความสะอาดแล้วจะต้องทำการตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้งานมีคุณภาพได้มาตรฐาน และการตรวจชิ้นงานหล่อนั้นอาจแบ่งออกเป็นลักษณะต่างๆ ดังนี้

การตรวจรูปร่างลักษณะ จากการตรวจประเภทนี้จะพบความไม่เรียบร้อยเกิดขึ้นภายนอกชิ้นงานเท่านั้น เช่น การมีวัสดุแทรกผิวของชิ้นงาน รอยร้าว การบิดงอ เป็นต้น ถ้าเกิดที่ผิวในส่วนที่ไม่สำคัญก็สามารถนำชิ้นงานนั้นไปใช้งานต่อไปได้ แต่ถ้าพบความไม่เรียบร้อยในส่วนที่สำคัญก็ควรกำจัดทิ้งและหลอมใหม่

การตรวจจุดเสียภายในโดยไม่ทำลาย การทดสอบโดยไม่ทำลายสภาพ คือ การตรวจสอบวัตถุโดยวิธีการต่างๆที่ไม่ทำให้วัตถุแตกหักเสียหาย แต่ยังคงอยู่ในสภาพเดิม โดยทั่วไปการทดสอบนี้มิได้มีความมุ่งหมายที่จะตรวจวัดคุณสมบัติทางกลของวัตถุ แต่มักใช้เพื่อตรวจหาบริเวณที่บกพร่องหาชิ้นส่วนจากสายพานการผลิตที่ไม่สมบูรณ์ เพื่อคัดออกก่อนที่จะนำมาประกอบเป็นเครื่องจักร ใช้ตรวจวัดความหนาของชิ้นโลหะที่มองไม่เห็นอีกด้านหนึ่ง และตรวจสอบชิ้นงานหล่อ

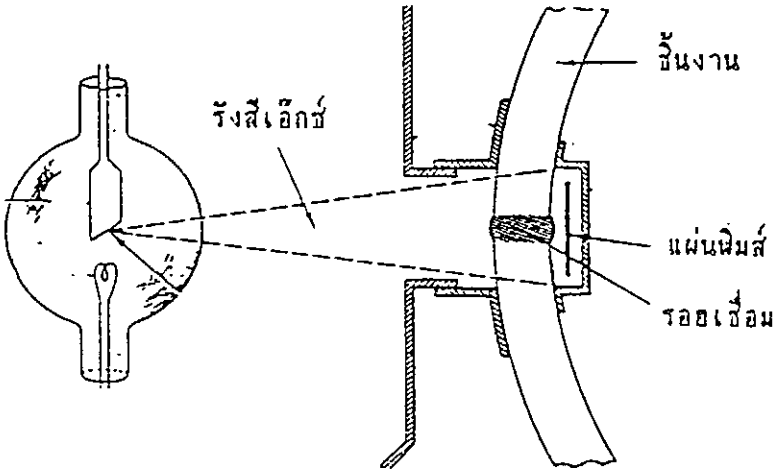
ผลจากการตรวจสอบด้วยเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพนี้ ทำให้ผลผลิตจากอุตสาหกรรมมีความเชื่อมั่นได้สูงขึ้น ปลอดภัยและประหยัด ช่วยให้ภาพพจน์ของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่ใช้เครื่องมือแบบนี้ดีกว่าเดิม อันจะส่งผลให้สินค้าของบริษัทขายดีและมีกำไรมาก นอกจากจะใช้เพื่อการตรวจสอบแล้ว วงการอุตสาหกรรมยังได้นำวิธีการดังกล่าวนี้มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผลผลิต และใช้เป็นเครื่องมือควบคุมในกระบวนการผลิตด้วย

ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 การทดสอบโดยไม่ทำลายสภาพยังไม่แพร่หลายมากนัก เพราะโรงงานต่างๆ สร้างผลิตภัณฑ์ขึ้นมาไม่มาก วิศวกรสามารถตรวจสอบด้วยตัวเองได้อย่างทั่วถึง การให้บริการหลังการขายเมื่อเครื่องจักรเครื่องมือบกพร่องยังไม่มี รวมทั้งสาเหตุแห่งการเสียหายแตกหักของวัสดุ ยังไม่มีใครทราบแน่ชัดว่าเกี่ยวพันกับสิ่งใดบ้าง จึงไม่มีผู้ใดทำการค้นคว้าเกี่ยวกับการทดสอบลักษณะนี้ ภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 โรงงานอุตสาหกรรมมีการแข่งขันกันมากขึ้น ต้องการชิ้นส่วนที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้ยืนยาวกว่า โรงงานและลูกค้าตระหนักถึงความปลอดภัยในการเลือกใช้ชิ้นส่วนที่มีคุณภาพ จึงได้มีหน่วยงานค้นคิดวิธีการตรวจสอบโลหะด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้เกิดเทคนิคการตรวจสอบวัสดุแบบไม่ทำลายสภาพขึ้นหลายวิธี เช่น การตรวจสอบโดยใช้รังสี การตรวจสอบโดยใช้ผงแม่เหล็ก การตรวจสอบโดยใช้สารเรืองแสง และการตรวจสอบโดยใช้เสียงอุลตร้าโซนิค

การตรวจสอบโดยใช้รังสี รังสีที่ใช้กันคือ รังสีแกมม่า ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความคลื่นสั้นมากๆ ทำให้มันสามารถทะลุทะลวงผ่านชิ้นโลหะหนาๆได้ รังสีแกมม่าได้จากสารรังสีที่มีในธรรมชาติ เช่น เรเดียม หรือไอโซโทปของสารรังสีเช่น โคบอลต์-60 รังสีแกมม่า มีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีเอกซ์ แต่ถูกรบกวนคลื่นได้ง่ายกว่าจึงนิยมใช้น้อยกว่ารังสีเอกซ์ การผลิตรังสีเอกซ์ทำได้โดยการระดมยิงชิ้นโลหะด้วยอนุภาคอิเล็กตรอนความเร็วสูง พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนส่วนหนึ่งก็จะกลายเป็นพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เปล่งออกมา การผลิตเอกซ์เรย์ต้องใช้ศักดาไฟฟ้าสูง จึงมีอันตรายจากการใช้เครื่องมือชนิดนี้สูงเช่นกัน การใช้งานจึงต้องมีเครื่องป้องกันอย่างพอเพียง

เรดิโอกราฟ (radiograph) คือ ภาพถ่ายหรือฟิล์มที่ได้จากการฉายรังสีเอกซ์ผ่านวัสดุออกมานำภาพถ่ายที่ได้มาวิเคราะห์ผลอีกทีหนึ่ง ซึ่งต้องใช้ผู้ชำนาญเฉพาะ การตรวจสอบด้วยรังสีถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกในการตรวจสอบงานหล่อ และงานเชื่อม

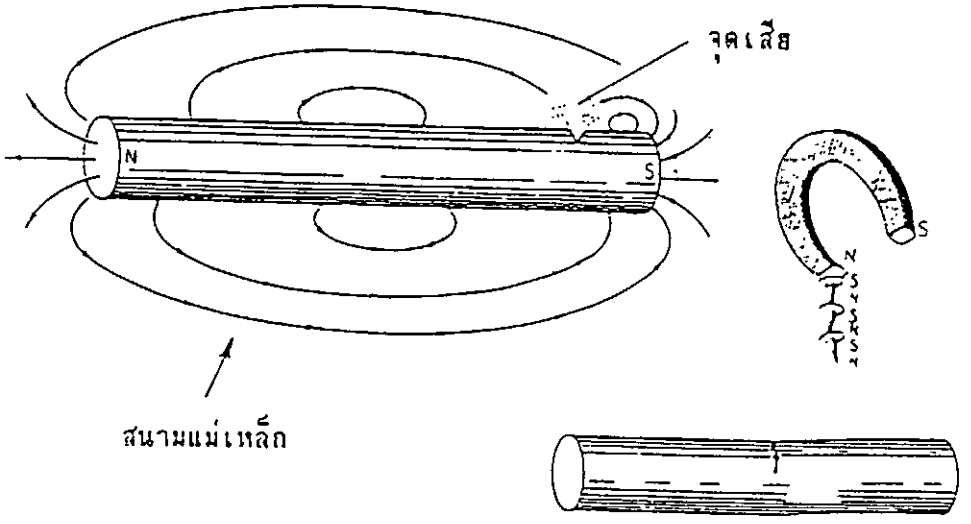
โลหะ การตรวจสอบด้วยรังสีสามารถใช้ในการวัดความหนาของวัสดุได้ด้วย ดังภาพประกอบ 48



ภาพประกอบ 48 แสดงการใช้รังสีตรวจสอบรอยเชื่อม
(วีระพันธ์ สิทธิพงศ์. 2531 : 43)

การตรวจสอบโดยใช้ผงแม่เหล็ก เครื่องมือชนิดนี้ใช้ตรวจสอบหารอยแตกร้าว รอยเหลื่อมล้ำ รอยฉีก รอยต่อตะเข็บและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับความไม่ต่อเนื่องของวัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยสารแม่เหล็ก เช่น เหล็ก และเหล็กกล้า วิธีการนี้สามารถใช้ตรวจหาพื้นผิวบริเวณที่ไม่มีความต่อเนื่อง ซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น และยังสามารถใช้ตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องของบริเวณใต้ผิวลงไปเล็กน้อยได้ด้วย แต่วิธีการนี้ไม่สามารถใช้ได้กับสารที่ไม่มีความเป็นแม่เหล็ก เช่น พวกทองแดงหรืออะลูมิเนียม

วิธีการตรวจสอบด้วยผงแม่เหล็กอาจทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่นิยมกันคือ ทำวัสดุที่จะตรวจสอบให้เป็นแม่เหล็ก แล้วคลุมผิวหน้าวัสดุด้วยผงแม่เหล็ก ผงเหล็กอาจผสมลงในของเหลว แล้วเอาของเหลวผสมผงเหล็กนั้นทาวัสดุ หรือจุ่มวัสดุในของเหลวผสมเรียกว่าวิธีเปียก หรืออาจใช้วิธีเอาฝุ่นผงเหล็กพ่นรอบๆ วัสดุก็ได้ เรียกวิธีแห้ง บริเวณไหนที่วัสดุมีความไม่ต่อเนื่อง ผงแม่เหล็กจะเกาะตัวเป็นรูปวงจรสนามแม่เหล็กปรากฏขึ้นบนผิววัสดุ โดยมีรูปแบบของการจัดเรียงอนุภาคเป็นรูปของความไม่ต่อเนื่องที่ผู้ใต้ผิว รูปการจัดตัวของผงเหล็กนี้มีชื่อเรียกว่า "อินดิเคชั่น" (indication) ดังภาพประกอบ 49



ภาพประกอบ 49 แสดงลักษณะการเหนี่ยวนำของอำนาจแม่เหล็ก
(วีระพันธ์ สิทธิพงศ์. 2531 : 45)

การตรวจสอบด้วยสารเรืองแสง เครื่องมือชนิดนี้สามารถตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพโดยมีความไวสูง ใช้ตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องของวัสดุขนาดเล็กๆ เช่น พวกรอยแตกร้าว รอยย่น รูหรือโพรงบนผิววัสดุ วิธีตรวจสอบทำได้ดังนี้

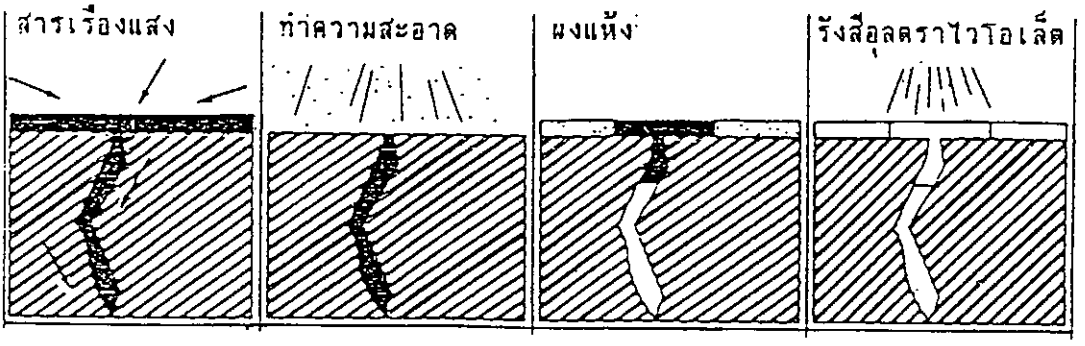
1. ทำให้สารตรวจสอบซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมัน แต่ไม่เกาะผิววัสดุแทรกซึมเข้าสู่ผิวของวัสดุ โดยการจุ่มชิ้นงานลงในสารตรวจสอบ หรือโดยการพ่น การทาสารตรวจสอบลงบนชิ้นงานก็ได้ ให้เวลาแก่การแทรกซึมนานพอควร ของเหลวจะซึมเข้าสู่วัสดุ

2. ทำความสะอาดสารตัวกลางที่ตกค้างอยู่บนผิวออกให้หมด

3. ทาผิววัสดุด้วยผงแห้ง ซึ่งผงจะปฏิบัติตัวคล้ายฟองน้ำดูดของเหลวขึ้นมาจากรอยแตก นำของเหลวที่ได้ไปตรวจวัดขนาดของรอยแตกในทางปฏิบัติของเหลวที่ซึมลงไป ควรจะมีสีแตกต่างจากผงแห้ง เพื่อว่าเวลาซึมกลับขึ้นมาจะได้มองเห็นสีและขนาดของของเหลวได้ชัดเจน

อีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากก็มีวิธีการและขั้นตอนเดียวกับวิธีแรก แต่วิธีหลังนี้อาบ

ของเหลวที่จะแทรกซึมลงไปด้วยสารเรืองแสง ซึ่งจะให้แสงเมื่อกระทบกับรังสีอุลตราไวโอเล็ตจากหลอดไฟฟ้า ทำให้มองเห็นส่วนของเหลวที่ซึมกลับขึ้นมาในผงแห้งได้ชัดเจน ภาพประกอบ 50 มักใช้วิธีการนี้ในการตรวจหารอยแตก รอยร่น ในงานหล่อ ตรวจสอบใบมีดเจียระไน ตรวจสอบงานเชื่อม ตรวจหารอยแตกของใบพัดเครื่องยนต์เทอร์ไบด์ รอยแตกในฉนวนซีรามิคของหัวเทียน และงานประยุกต์ทางไฟฟ้า-ฉนวน ไฟฟ้าชนิดอื่นๆ



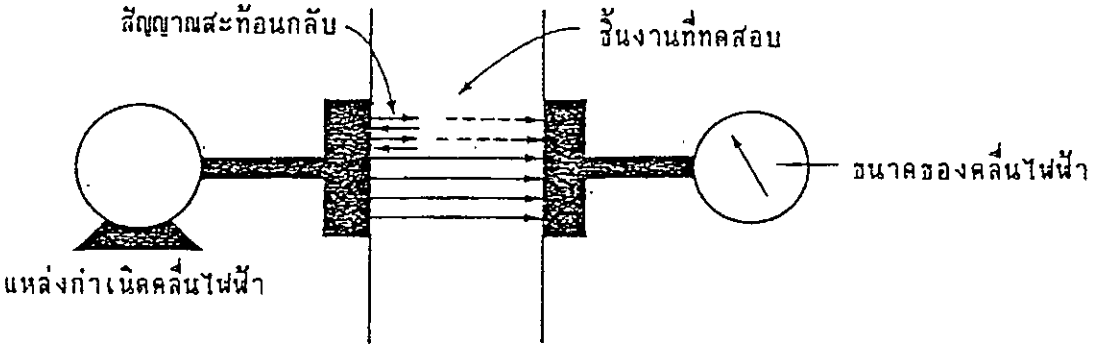
ภาพประกอบ 50 แสดงลำดับขั้นการตรวจสอบด้วยสารเรืองแสง
(วีรพันธ์ สิทธิพงศ์. 2531 : 47)

การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงอุลตราโซนิคเป็นการใช้คลื่นเสียงตรวจหารอยบกพร่องในวัสดุ คนโบราณรู้จักใช้วิธีการนี้ดี การใช้ค้อนตีโลหะ ถ้าชิ้นโลหะไม่มีโพรงข้างใน เสียงจะดังกังวาน ถ้ามีโพรงเสียงจะแตกพร่า แต่วิธีการนี้เหมาะสมกับชิ้นงานขนาดใหญ่เท่านั้น

การตรวจสอบปัจจุบันใช้คลื่นเสียงความถี่สูง เหนือความถี่ที่มนุษย์จะได้ยิน คือจาก 1-5 ล้านเฮิร์ท คลื่นเสียงความถี่ขนาดนี้ผลิตขึ้นโดยวงจรอีเลคทรอนิกส์ คลื่นเสียงอุลตราเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงยิ่ง มีอำนาจทะลุทะลวงสูง สามารถผ่านของเหลว ของแข็ง โลหะทุกชนิด วิธีการส่งผ่านคลื่นตลอดนั้น จะมีตัวส่งและรับคลื่น 2 ตัว วางอยู่ที่ด้านทั้งสองของวัสดุ ดังแสดงในภาพประกอบ 51 เมื่อแหล่งกำเนิดความถี่ไฟฟ้าส่งคลื่นไฟฟ้าผ่านมายังทรานสดิวเซอร์ตัวที่สองจะรับคลื่นและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อแปรผลอีกทีหนึ่ง สัญญาณไฟฟ้าจะปรากฏบนจอของหลอดรังสีคาโทด คลื่นที่ปรากฏจะเป็นตัวบอกคุณภาพของวัสดุ คือ ถ้าคลื่นมีขนาดใหญ่แสดงว่าไม่รอยแตก แต่ถ้ามีรอยแตกขวางอยู่ในเส้นทางเดินของเสียง คลื่นจะมีขนาดเล็กกว่าสภาพปกติ เพราะมีการสะท้อนคลื่นบริเวณรอยแตก จะปรากฏคลื่นเล็กๆ บนจอผสมกับคลื่นใหญ่

โดยทั่วไปเครื่องมือชนิดนี้เหมาะสมที่จะใช้กับชิ้นงานที่มีผิวหน้าเรียบ ความชำนิชำนาญของการใช้เครื่องมือมีผลต่อความเชื่อมั่นได้ของการตรวจสอบมาก ในขณะใช้ตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งทำจากผลึกควอทซ์และประกบติดอยู่กับชิ้นงานจะสั่นด้วยความถี่สูง ควรทาบริเวณสัมผัสด้วยน้ำมันบางๆ ถ้าเป็นชิ้นงานเล็กๆ ควรจุ่มระบบลงในอ่างน้ำ น้ำมันหรือกลีเซอรีน และควรได้ตรวจสอบผลึกควอทซ์เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งเพราะการสึกหรอจากการสั่นมีมาก

การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงอุลตรา โดยทั่วไปในงานอุตสาหกรรมมักใช้กันในกรณีการตรวจหาช่องหรือโพรงในวัสดุ การวัดความหนาของวัสดุ



ภาพประกอบ 51 แสดงการตรวจสอบด้วยเสียงอุลตร้าโซนิค
(วีระพันธ์ สิทธิพงศ์. 2531 : 50)

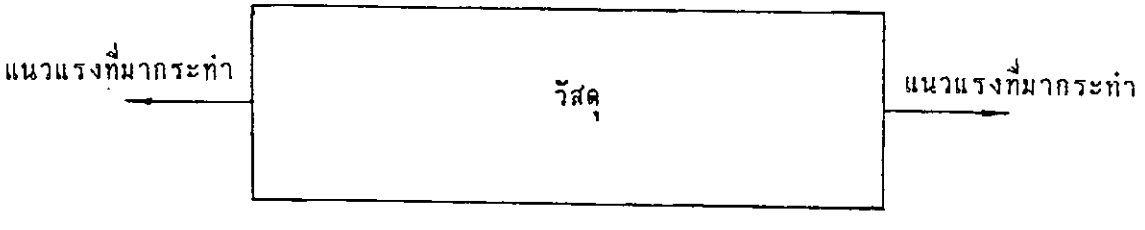
การตรวจจุดเสียภายในโดยทำลาย เป็นการตรวจโดยการหักหรือตัดชิ้นงานออก เพื่อให้แน่ใจว่ามีจุดเสียเกิดขึ้นจริง การตรวจคุณภาพและจุดเสียนั้นอาจใช้การสุ่มตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างขึ้นอยู่กับจำนวนการผลิต และในการจะตัดสินใจว่าจะรับหรือคัดทิ้ง จะต้องมีมาตรฐานทั้งในด้านคุณภาพการใช้งานและรูปร่างลักษณะ ในกรณีที่ไม่แน่ใจว่าควรรับหรือคัดทิ้ง ควรมีการทดสอบมาตรฐานการตรวจจะต้องเป็นมาตรฐานที่เหมาะสม คือไม่สูงหรือต่ำเกินไป ถ้าสูงเกินไปจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากและถ้าต่ำเกินไปก็จะทำให้โรงงานอุตสาหกรรมนั้นเสียชื่อเสียง เมื่อตรวจพบจุดเสียในชิ้นงานชนิดใด จุดเสีย และสภาพการผลิตชิ้นงานชิ้นนั้นจะเป็นข้อมูลที่จะต้องบันทึกไว้อย่างเที่ยงตรง เพื่อการปรับปรุงคุณภาพในการผลิตครั้งต่อไป สำหรับชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบนั้นก็จะต้องบันทึกระดับของคุณภาพด้วยเช่นกัน และชิ้นงานที่สมบูรณ์จะถูกนำไปเข้าขบวนการผลิตต่อไป

5. การทดสอบคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียม

ในงานวิศวกรรมต่างๆ เช่น งานวิศวกรรมโยธา งานวิศวกรรมเครื่องกล ลักษณะของงานเหล่านี้จะออกมาในรูปของ สะพาน ปั้นจั่น เครื่องบิน เรือ เครื่องจักรกล เครื่องยนต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯลฯ ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกแรงกระทำจากภายนอก ซึ่งแรงกระทำดังกล่าวมี 3 ชนิด คือ แรงที่อยู่นิ่ง (static load) ซึ่งเป็นแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนของโครงสร้างอย่างช้าๆ กระทั่งมีค่าถึงค่าหนึ่ง แล้วจะมีค่าคงที่ตลอดไป แรงกระทำซ้ำๆ (repeated load) หมายถึง แรงที่กระทำต่อวัตถุหลายครั้งซ้ำๆ กัน และสลับกันไปมาในช่วงเวลาหนึ่ง สุดท้ายคือแรงกระแทก (impact load) เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุในระยะสั้น ปกติแล้วไม่สามารหาเวลาที่แรงกระแทกนี้กระทำต่อวัสดุได้

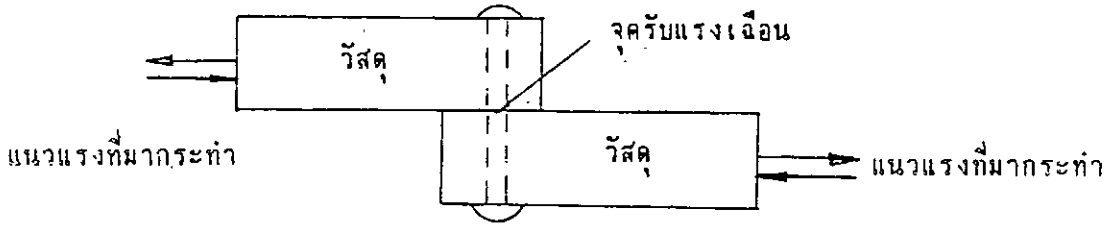
คุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียม โดยทั่วไปแล้วจะพบว่าอลูมิเนียมบริสุทธิ์จะมีคุณสมบัติทางกลคือ มีความแข็งแรง (tensile strength) 8-10 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร พิกัดความยืดหยุ่น (elastic limit) 3 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ความแข็ง (hardness) 16-20 H_B ส่วนคุณสมบัติทั่วไปคือ น้ำหนักอะตอม 26.97 ระบบผลึกแบบ face centered cubic ความหนาแน่น 2.70 กรัม ต่อตารางเซนติเมตร จุดหลอมเหลว 658 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1800 องศาเซลเซียส (มนัส สถิรจินดา. 2536 : 10)

ลักษณะของแรงที่กระทำต่อวัสดุจะเกิดความเค้นขึ้นภายในพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้น ซึ่งความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ ความเค้นดึง (tensile stress) ความเค้นอัด (compressive stress) ความเค้นเฉือน (shear stress) ดังภาพประกอบ 52-54



ภาพประกอบ 52 แสดงลักษณะแนวแรงที่เกิดความเค้นแรงดึง

ภาพประกอบ 53 แสดงลักษณะแนวแรงที่เกิดความเค้นแรงอัด

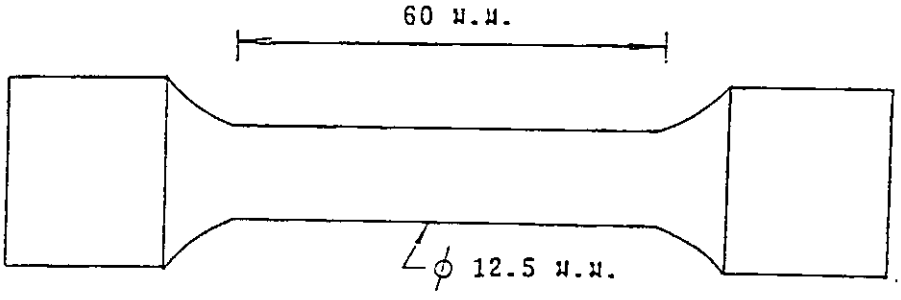


ภาพประกอบ 54 แสดงลักษณะแนวแรงที่เกิดความเค้นแรงเฉือน

อลูมิเนียมที่แข็งแรงต้องทนต่อความเค้นได้ทั้ง 3 ลักษณะ แต่ยังไม่พอเพียงที่จะนำไปใช้ทำชิ้นส่วนที่ต้องรับแรงมากๆ ได้ จำเป็นต้องมีความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย และไม่ว่าจะเป็นความแข็งแรงหรือความแข็งก็ตาม ผู้ผลิตอลูมิเนียมสามารถทำให้ความแข็งแรงและความแข็งเพิ่มขึ้นได้ โดยการผสมธาตุอื่นลงไป เช่น ทองแดง ซิลิคอน แมกนีเซียม ฯลฯ และเมื่อผสมธาตุเหล่านั้นลงไปกับอลูมิเนียมแล้ว ก็จำเป็นจะต้องทดสอบดูว่าความแข็งแรงและความแข็งเพิ่มขึ้นตามต้องการหรือไม่ การทดสอบความแข็งแรงทำได้โดยการทดสอบดึงอลูมิเนียมนั้น ถ้าสามารถรับแรงดึงได้สูง ก่อนที่อลูมิเนียมนั้นจะขาดออกจากกันก็หมายถึงอลูมิเนียมนั้นมีความเค้นแรงดึงสูง และขนาดของอลูมิเนียมที่ยืดออกต่อขนาดความยาวเดิม เราเรียกว่า อลูมิเนียมนั้นเกิดความเครียด (strain). ทั้งความเค้นและความเครียด จึงเป็นเสมือนหนึ่งการบอกถึงความแข็งแรงของอลูมิเนียมนั้นด้วย (สุรเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์. ม.ป.ป. : 14)

5.1 การทดสอบแรงดึง สำหรับอลูมิเนียมจะใช้แท่งทดสอบ (specimens) ขนาดความยาว 60 ม.ม. และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 ม.ม. โดยออกแบบปลาย

ทั้งสองข้างให้สามารถจับยึดได้กับเครื่องทดสอบแรงดึง (tensile testing mechine) ดังภาพประกอบ 55



ภาพประกอบ 55 แสดงลักษณะแท่งทดสอบแรงดึง

5.2 การทดสอบความแข็ง อลูมิเนียมบริสุทธิ์มีความแข็ง 16-20H_B การทดสอบสามารถทำได้โดยใช้เครื่องทดสอบแบบ บริเนน(brinell hardness test) เป็นการทดสอบการกระแทกชิ้นงานด้วยหัวกระทบมาตรฐาน แล้วตรวจดูรอยกดหรือรอยกระแทกว่าเป็นหลุมลึก เล็กใหญ่กว่ากันแค่ไหน ลักษณะของเครื่องมือจะประกอบด้วยเครื่องกดไฮโดรลิค ทำงานด้วยมือกดอัดชิ้นงานลงมาตามแนวดิ่ง โดยมีหัวกดเป็นลูกปืนกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ม.ม. ขนาดของแรงกดมาตรฐานมีดังนี้ โลหะที่เป็นเหล็กใช้แรงกด 3,000 กิโลกรัม กดนาน 10 วินาที โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ใช้แรงกด 500 กิโลกรัม กดนาน 30 วินาที วัดรอยบุ๋มหรือหลุมบนชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์ติดสเกลโดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมแล้วนำไปคำนวณความแข็งด้วยสูตรสำเร็จ

ค่าความแข็งแบบบริเนน (HB) คือ อัตราส่วนของแรงที่ใช้กดเป็นกิโลกรัม ต่อพื้นที่ปากหลุมเป็นตารางมิลลิเมตร โดยมีสูตรสำเร็จที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$HB = \frac{L}{\left(D/2 \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)\right.}$$

ในที่นี้ L คือ แรงที่ใช้กด มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหัวกด เป็นมิลลิเมตร

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของปากหลุม เป็นมิลลิเมตร

ในทางปฏิบัติจริงไม่ต้องไปคำนวณ เพราะมีผู้คิดตารางสำหรับเทียบระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางปากหลุม (d) กับค่าความแข็ง (HB) เอาไว้แล้ว

การเขียนค่าความแข็งนั้น มีทั้งตัวเลขและตัวอักษรเรียงกันเป็นชุด โดยกำหนดความหมายเอาไว้ดังนี้ ถ้าเขียนเป็นตัวเลขนำหน้าตัวอักษร HB โดยไม่มีชุดตัวเลขอื่นตามหลังมาอีก เช่น 40 HB จะมีความหมายว่า เป็นการทดสอบด้วยเงื่อนไขมาตรฐานคือ ใช้หัวกดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ม.ม. แรงกด 3000 กิโลกรัม และกดนาน 10-15 วินาที ถ้าแตกต่างไปจากนี้จะมีตัวเลขตามมาเป็นชุด เช่น 75 HB 10/500/30 แสดงว่ามีความแข็งแบบบริเนนเท่ากับ 75 โดยใช้หัวกดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ม.ม. แรงกด 500 กิโลกรัม กดอยู่นาน 30 วินาที

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิติยา จุฬาภรณ์ (2525 : 4) ได้ศึกษาเตาเผาชนิดห้องปฏิกิริยาสองห้อง และได้จำแนกชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเตาเผาไว้ดังนี้

1. โคลน (mud)
2. เซรามิค (ceramic)
3. โลหะ (metal)
4. อิฐ,ซีเมนต์,เหล็ก (brick, cement, steel)
5. เหล็ก,ซีรามิค (steel, ceramic)

วัสดุดังกล่าวเหล่านี้ในปัจจุบันต่างก็ถูกนำมาใช้ในการทำเตาเผา การที่จะเลือกวัสดุใดทำเตาเผานั้นก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในเตาเป็นสำคัญ

คลูส และสุลิลาทู (1983:89-103) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบเตาเผา 3 ชนิด ที่สร้างด้วยวัสดุต่างกันคือ ดินเหนียว, อิฐ และโลหะ พบว่าในสภาวะการทดสอบที่เหมือนกัน เตาที่ถูกทดสอบจะมีสภาพแตกต่างกันคือเตาที่ทำจากดินเหนียวจะมีประสิทธิภาพร้อยละ 18-22 เตาที่ทำจากอิฐจะมีประสิทธิภาพร้อยละ 15-23 สำหรับเตาที่ทำจากโลหะจะมีประสิทธิภาพร้อยละ 25-30 แต่ถ้าพิจารณาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงพบว่า จะมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเตาดินเหนียว เตาโลหะ แต่สำหรับเตาอิฐจะมีการ

เผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด และยังเสนอแนะว่าควรมีฉนวนหุ้มผนังเตา ทั้งนี้เพื่อให้เตามีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงขึ้น

จากการศึกษางานวิจัย ผู้วิจัยพบว่าไม่มีการศึกษาหรือกล่าวถึงการหลอมละลายโลหะโดยใช้เตาเบ้าโดยตรง แต่พบว่างานวิจัยบางเรื่องที่เกี่ยวข้อง เช่น งานวิจัยของ นิติมา จุฬาภรณ์ ซึ่งได้กล่าวถึงวัสดุที่ใช้ทำเตาชนิดต่างๆดังกล่าวแล้วข้างต้น หรืองานวิจัยของ คลูส และ สุลิลาทู ที่ได้นำวัสดุ 3 ชนิด คือ ดินเหนียว อิฐ และโลหะ มาทดลองทำเตาเผา และจากบทสรุปของงานวิจัยต่างๆ ดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำมาเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเตาเบ้าได้เป็นอย่างดี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังรายละเอียดเป็นข้อๆ ดังนี้

1. อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการวิจัย
2. สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย
3. การดำเนินการวิจัย
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยด้วยวิธีการทดลอง ซึ่งจะต้องใช้วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์เป็นส่วนใหญ่ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.1 วัสดุ

1.1.1 เหล็กแผ่น ขนาด 1200X2400X3 ม.ม. จำนวน 1 แผ่น

1.1.2 เหล็กแผ่น ขนาด 1200X2400x1.5 ม.ม. จำนวน 1 แผ่น

1.1.3 ลวดเชื่อมไฟฟ้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 ม.ม. จำนวน 2 กล่อง

1.1.4 ลวดเชื่อมแก๊ส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ม.ม. จำนวน 10 เส้น

1.1.5 สีรองพื้นกันสนิม ขนาด 1 แกลลอน จำนวน 1 กระป๋อง

1.1.6 สีเคลือบ ขนาด 1 แกลลอน จำนวน 1 กระป๋อง

1.1.7 ปูนซีเมนต์ทนความร้อน ขนาด 25 กิโลกรัม จำนวน 1 ถุง

1.1.8 อิฐทนความร้อน ขนาด 100X200x50 ม.ม. จำนวน 4 ก้อน

1.1.9 ดินเหนียว จำนวน 4 กิโลกรัม

1.1.10 ทรายขาว จำนวน 4 กิโลกรัม

1.1.11 น้ำ

1.1.12 สายยาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 ม.ม.

1.1.13 วาล์วปิด-เปิด น้ำมัน ขนาด 3 ม.ม. จำนวน 1 อัน

1.1.14 ท่อโลหะ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 ม.ม.

1.1.15 เหล็กเพลา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ม.ม. ยาว 200 ม.ม. จำนวน 1 ท่อน

1.1.16 ไม้อัดยาง ขนาด 1200x2400X20 ม.ม. จำนวน 1 แผ่น

1.1.17 กระดาษทรายเบอร์ 240 จำนวน 10 แผ่น

1.1.18 ทินเนอร์ ขนาด 1 แกลลอน จำนวน 1 กระป๋อง

1.1.19 เทปพันท่อ จำนวน 1 ม้วน

1.1.20 กระดาษทรายแบบจานหมุน จำนวน 1 แผ่น

1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.2.1 เครื่องเชื่อมไฟฟ้าพร้อมอุปกรณ์ จำนวน 1 ชุด

1.2.2 เครื่องเชื่อมแก๊สพร้อมอุปกรณ์ จำนวน 1 ชุด

1.2.3 เครื่องม้วนโลหะแผ่น จำนวน 1 เครื่อง

1.2.4 เครื่องพับโลหะแผ่น จำนวน 1 เครื่อง

1.2.5 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ themocouple จำนวน 1 ชุด

1.2.6 ปั๊มลม จำนวน 1 เครื่อง

1.2.7 อุปกรณ์พ่นสี จำนวน 1 ชุด

1.2.8 เลื่อยมือ จำนวน 1 อัน

1.2.9 เครื่องขัดกระดาษทราย แบบจานหมุน จำนวน 1 เครื่อง

1.2.10 เลื่อยฉันตา จำนวน 1 ปื้น

1.2.11 เครื่องเจาะตั้งพื้น ขนาด 1/2 แรงม้า จำนวน 1 เครื่อง

1.2.12 สว่านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2, 4, 6 และ 10 ม.ม. จำนวน 4 ดอก

1.2.13 ไขควงปลายแบน ขนาด 150 ม.ม. จำนวน 1 อัน

1.2.14 ไขควงปลายแฉก ขนาด 150 ม.ม. จำนวน 1 อัน

1.2.15 เครื่องเจียรนัยแบบมือถือ จำนวน 1 เครื่อง

2. สถานที่ และระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

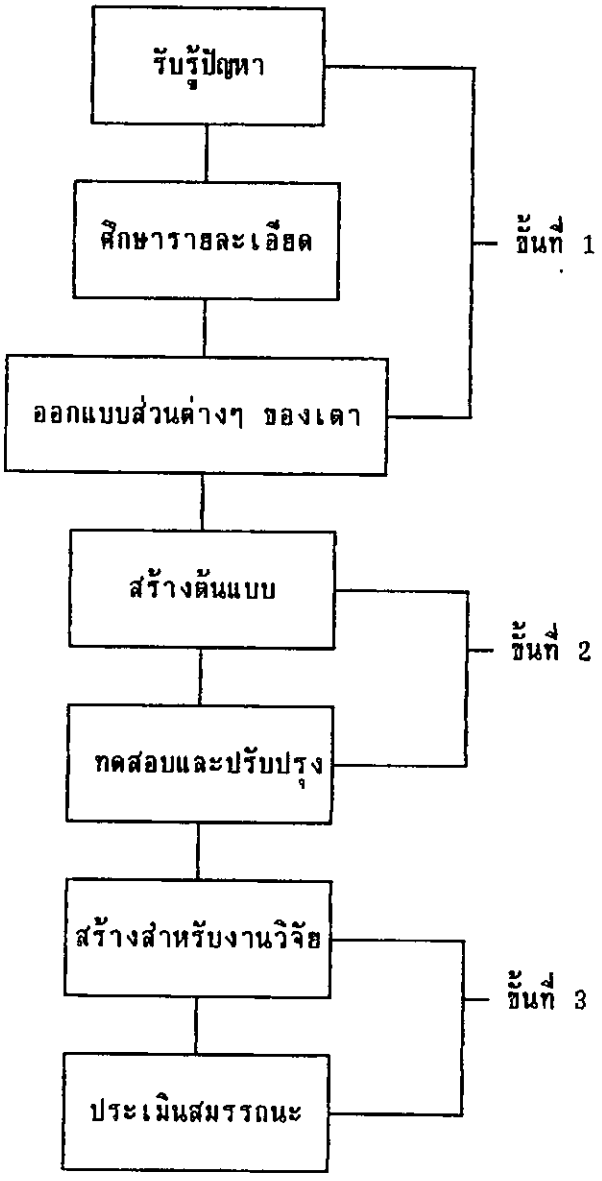
สถานที่สำหรับใช้ในการวิจัย การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้สถานที่ในการทดลองดังนี้

4.1 โรงฝึกงานหล่อโลหะ แผนกช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคลพบุรี อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี และภาควิชาโลหะ สถาบันราชภัฏ พระนคร

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เวลาในการวิจัย ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ.2537 ถึงเดือน มิถุนายน พ.ศ.2538 เป็นเวลา 14 เดือน

3. การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการวิจัยออกเป็น 3 ขั้น ดังนี้คือ ขั้นตอนที่ 1 ประกอบด้วย การรับรู้ปัญหา ศึกษารายละเอียด และออกแบบส่วนต่างๆ ของเตา ขั้นตอนที่ 2 ประกอบด้วยการสร้างต้นแบบ ทดสอบและปรับปรุง ขั้นตอนที่ 3 ประกอบด้วย การสร้างเนื้องานวิจัย และการประเมินสมรรถนะ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 56 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นที่ 1 ออกแบบส่วนต่างๆ ของเตาเบ้า

ในขั้นตอนที่ 1 จะประกอบไปด้วยการรับรู้ปัญหา การศึกษารายละเอียดของเตาเบ้า ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบเตาเบ้าเป็นลำดับสุดท้ายของกระบวนการทดลองขั้นที่ 1 ซึ่งผู้วิจัยจะได้แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ศึกษาปัญหาในขบวนการหล่อโลหะ ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม และโรงฝึกงานในสถานศึกษา

2. ศึกษาและค้นคว้าหนังสือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาเบ้า

3. ศึกษาคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆของเตาเบ้า เพื่อจัดหาวัสดุที่เหมาะสมนำมาผลิตชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านั้น

4. ออกแบบ ร่างแบบ และเขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของเตาเบ้า ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ในการเขียนแบบนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการเขียนแบบเป็นรายละเอียดแบบภาพประกอบ และภาพแยกชิ้นส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 โครงสร้างเตา ซึ่งประกอบด้วยผนังเตาด้านนอก และผนังเตาด้านในเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 220 ม.ม. ความสูง 235 ม.ม.

4.1.1 ผนังเตาด้านนอกทำจากเหล็กแผ่นหนา 3 ม.ม. นำมาม้วนให้เป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 220 ม.ม. และความสูง 235 ม.ม. ส่วนก้นเตาก็ใช้เหล็กแผ่นชนิดเดียวกัน ตัดเป็นรูปวงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 220 ม.ม. ซึ่งออกแบบให้สามารถบรรจุเบ้าหลอมขนาด 1 กิโลกรัม และมีฝาปิดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 220 ม.ม. ซึ่งทำจากวัสดุทนความร้อน ทั้งยังมีฝาปิดเตาส่วนนอกยึดฝาปิดเตาส่วนในไว้กับโครงสร้างเตา

4.1.2 ผนังเตาด้านใน ใช้วัสดุทนความร้อนสูง โดยมีรายละเอียดตามตาราง 1

ตาราง 1 อัตราส่วนผสมของผนังเตาด้านใน

วัสดุ	ส่วนผสมโดยปริมาตร	หมายเหตุ
ทรายขาว	1	ตัวประสานของผนังเตาด้านใน
ปูนซิเมนต์ทนความร้อน	2	ผู้วิจัยเลือกใช้ดินเหนียวเพราะ
ดินเหนียวบดละเอียด	1	หาได้ง่ายแทนการใช้ตัวประสาน
อิฐทนความร้อน	1	วิทยาศาสตร์ ซึ่งต้องนำเข้าจาก
น้ำ	1	ต่างประเทศและมีราคาแพง

4.2 เบ้า ผู้วิจัยใช้เบ้าขนาด 1 กิโลกรัม เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานฝึกปฏิบัตินักศึกษา และการทดลองในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้เพราะมีขั้นตอนในการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อนเหมือนเบ้าขนาดใหญ่ สำหรับเบ้าในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ ทั้งนี้เพราะความรู้ในด้านเทคโนโลยีการผลิตเบ้าในประเทศไทยไม่เพียงพอ เบ้าดังกล่าวจึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

4.3 พัดลมเป่า ผู้วิจัยเลือกใช้พัดลมเป่าขนาด 1/4 แรงม้า ซึ่งเป็นพัดลมเป่าขนาดเล็กราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย แต่ให้ปริมาณลมเพียงพอกับการเผาไหม้ และแรงลมพอเพียงต่อการเป่าให้น้ำมันจากหัวฉีดกระจายเป็นฝอยเข้าไปในเตา

4.4 ท่อส่งลม ติดยึดกับเตาโดยการเชื่อม จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 55 ม.ม. และมีความยาว 106 ม.ม. ทำหน้าที่ผสมน้ำมันกับอากาศแล้วส่งเข้าไปภายในเตาเพื่อทำการเผาไหม้ ท่อส่งลมมี 2 ส่วน คือ ส่วนใน และส่วนนอก

4.5 ถังน้ำมัน ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ดังนี้ ถังทรงกระบอก, ก้นถัง, ฝาปิด ซึ่งออกแบบให้สามารถใส่น้ำมันที่เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ได้ประมาณ 7 ลิตร ซึ่งเพียงพอต่อการหลอมละลายอลูมิเนียม 1 กิโลกรัม

4.6 สายส่งน้ำมัน ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเท่ากับ 5 ม.ม. เพื่อให้สามารถจ่ายน้ำมันจากถังน้ำมันไปยังหัวฉีดได้อย่างเหมาะสม โดยกำหนดให้มีความยาวประมาณ 600 ม.ม.

4.7 วาล์วปิด-เปิดน้ำมัน (valve) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วาล์วปิด-เปิดน้ำมัน ที่ใช้กับรถจักรยานยนต์ขนาดเล็ก ทั้งนี้เพราะสามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันได้อย่างเหมาะสม และราคาถูก

4.8 หัวฉีด ทำจากท่อโลหะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 5 ม.ม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 6 ม.ม. ยาว 300 ม.ม. ออกแบบให้ปลายอีกด้านหนึ่งแบนเพื่อให้ฉีดน้ำมันเข้าไปเผาไหม้ได้อย่างเหมาะสม

4.9 ขาตั้งถังน้ำมัน ออกแบบให้สูงจากพื้น 450 ม.ม. เพื่อให้น้ำมันไหลจากถังได้สะดวก ขาตั้งถังน้ำมันยังประกอบด้วยฐานรองรับถังน้ำมัน

4.10 ขาตั้งเตา ออกแบบเพื่อจับยึดเตาให้สูงจากพื้น 50 ม.ม. เพื่อป้องกันการนำความร้อนจากเตาไปสู่ส่วนอื่นๆ และยังออกแบบให้เตาสามารถหมุนเอียงได้ง่าย เพื่อสะดวกในการทำความสะอาด

4.11 ท่อส่งลมส่วนนอก ออกแบบเพื่อส่งลมจากพัดลมเป่าไปสู่ท่อส่งลมส่วนในทำจากเหล็กแผ่นม้วนเป็นทรงกรวย ด้านใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 58 ม.ม. ด้านเล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 53 ม.ม. โดยมีความยาวเท่ากับ 300 ม.ม.

4.12 มือจับ ทำจากเหล็กเหนียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ม.ม. และมีความยาว 105 ม.ม. จำนวน 4 ชิ้น ติดยึดกับฐานด้วยสลักเกลียว

4.13 ฐาน ประกอบด้วยฐานส่วนบน ทำจากเหล็กแผ่นขนาด 600x900x2 ม.ม. และฐานส่วนล่างทำจากไม้อัดยางขนาด 600x900x20 ม.ม. อุปกรณ์ต่างๆ จะจับยึดอยู่บนฐาน เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย

4.14 สลักเกลียวขนาด M6x1 M10x1.25 และ M16x2 พร้อมทั้งแป้นเกลียว เพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุงเมื่อเตาชำรุด ทั้งนี้เพราะสลักเกลียวเหล่านี้มีจำหน่ายอยู่ทั่วไป

ขั้นที่ 2 ดำเนินการสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของเตาเบ้า และนำมาประกอบเข้าด้วยกัน สำหรับในขั้นที่ 2 นี้ ผู้วิจัยเห็นว่าควรจะต้องแสดงขั้นตอนการสร้างเป็นหัวข้อตามลำดับดังนี้

1. เชื่อมผนังเตาด้านนอกซึ่งม้วนเป็นรูปทรงกระบอกแล้วกับก้นเตา โดยการเชื่อมแก๊ส

2. เชื่อมท่อส่งลมเข้ากับผนังเตาด้านนอกตรงส่วนที่เจาะรูไว้

3. บุผนังเตาด้านในด้วยวัสดุทนความร้อนตามอัตราส่วนดังกล่าวแล้ว โดยให้ผนังเตาด้านในที่บุนี้หนาข้างละ 35 ม.ม.

4. ติดตั้งตัวเตาบนฐาน และประกอบฝาปิดเตา

5. นำพัดลมเป่ามาประกอบเข้ากับท่อส่งลม และติดยึดพัดลมเป่าที่ฐานเดียวกันกับตัวเตา

6. เชื่อมส่วนต่างๆ ของถังน้ำมันเข้าด้วยกันโดยการเชื่อมแก๊ส

7. เจาะรูก้นถังน้ำมันแล้วนำวาล์วปิด-เปิดน้ำมันติดตั้งที่ก้นถัง

8. ต่อสายน้ำมันเข้ากับวาล์วปิด-เปิด และที่ปลายอีกข้างต่อกับหัวฉีดที่ออกแบบไว้แล้ว

9. นำหัวฉีดติดตั้งกับท่อส่งลมส่วนใน

10. ทิ้งไว้ประมาณ 15 วัน เพื่อให้ผนังภายในเตาที่บุไว้แห้งสนิท

11. ทดลองการทำงานของเตาว่ามีจุดบกพร่องที่ส่วนใดบ้าง เมื่อพบจุดบกพร่องต้องแก้ไขให้เรียบร้อย แล้วทดลองการทำงานของเตาอีกครั้งจนแน่ใจว่าไม่พบจุดบกพร่องใดๆ การทดลองในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยทดลองส่วนของเชื้อเพลิงและการหลอมละลายอลูมิเนียม

12. เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยผู้วิจัยจะดำเนินการต่อในขั้นที่ 3

ขั้นที่ 3 ทดสอบและประเมินสมรรถนะของเตาเบ้าที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ และสร้างขึ้น โดยสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญและสำหรับการสร้างแบบประเมินผล มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาวิธีการและข้อมูล เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมินสมรรถนะ

2. สร้างแบบประเมินสมรรถนะของเตาเบ้า ซึ่งมีรายละเอียดประกอบด้วย 4 ตอนคือ

ตอนที่ 1 เป็นคำชี้แจงวัตถุประสงค์และการตอบแบบประเมินสมรรถนะ

ตอนที่ 2 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 3 เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า(rating scale) กำหนดค่าคะแนนเป็น 5 ระดับ ตามวิธีของ ลิเคอร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2535 : 114)

5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดีมาก

4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดี

3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับพอใช้

2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับต้องปรับปรุง

1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

สมรรถนะที่ใช้ประเมิน ประกอบด้วย 5 ด้าน ดังนี้

1. ลักษณะกายภาพทั่วไป

2. ลักษณะการใช้งาน

3. ลักษณะการบำรุงรักษา

4. สมรรถนะการหลอมละลาย

5. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

ตอนที่ 4 เป็นคำถามแบบปลายเปิด สำหรับผู้ตอบแบบประเมินแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม และให้ข้อเสนอแนะต่างๆ

3. ตรวจสอบแบบประเมิน

3.1 นำแบบประเมินเสนอต่อกรรมการผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

3.2 นำแบบประเมินเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง สำหรับผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน ได้แก่

3.2.1 ศึกษานิเทศก์กรมอาชีวศึกษา เขตการศึกษาภาคตะวันออกและภาคกลางบางส่วน จำนวน 2 ท่าน

3.2.2 หัวหน้าคณะ และหัวหน้าแผนกช่างอุตสาหกรรมวิทยาลัยเทคนิคลพบุรี จำนวน 2 ท่าน

4. ผู้เชี่ยวชาญด้านงานหล่อโลหะ 10 ท่าน ตรวจสอบเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น พร้อมทั้งคู่มือการใช้ และประเมินสมรรถนะลงในแบบประเมิน

4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยทำด้วยตนเองดังนี้

4.1.1 ขอหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน ไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

4.1.2 มอบคู่มือการใช้ให้ผู้เชี่ยวชาญก่อนการทดสอบ 10 วัน

4.1.3 แนะนำส่วนประกอบและการใช้งานก่อนผู้เชี่ยวชาญทดสอบ

4.1.4 เมื่อทดสอบแล้ว ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นลงในแบบประเมินสมรรถนะ เพื่อนำผลการประเมินไปวิเคราะห์ต่อไป

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำแบบทดสอบและประเมินผลมาดำเนินการวิเคราะห์หาสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ด้วยวิธีการทางสถิติดังต่อไปนี้

1. ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านงานหล่อโลหะ เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะการใช้งาน ลักษณะการบำรุงรักษา สมรรถนะการหลอมละลาย และความ

เหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

2. นำคะแนนที่ได้มาคำนวณ

2.1 หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

ΣX คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

N คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างประชากร

2.2 หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สูตร

$$SD = \sqrt{\frac{N\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างประชากร

X คือ ข้อมูลแต่ละจำนวน

N คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่างประชากร

3. กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังต่อไปนี้

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง	แปลความ
4.50 - 5.00	ดีมาก
3.50 - 4.49	ดี
2.50 - 3.49	พอใช้
1.50 - 2.49	ต้องปรับปรุง
1.00 - 1.49	ใช้ไม่ได้

การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล จัดกระทำ 2 แบบดังนี้

1. เสนอเป็นการบรรยายเกี่ยวกับสมรรถนะ ทั้ง 5 ด้าน ของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ตารางแปลความหมายเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นการประเมินผลหาสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กของผู้เชี่ยวชาญด้านงานหล่อโลหะ

2. ส่วนข้อมูลจากคำถามปลายเปิดแสดงความเห็นอิสระ ผู้วิจัยนำคำตอบและข้อเสนอแนะมารวบรวมเรียงลำดับเสนอเป็นข้อ จากข้อที่มีความถี่ของผู้ตอบมากที่สุดไปจนถึงน้อยที่สุดตามลำดับ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนที่ 1 ออกแบบส่วนต่างๆ ของเตา ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบและปรับปรุง และขั้นตอนที่ 3 ประเมินสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก เมื่อผู้วิจัยดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้นทั้ง 3 ขั้นตอนแล้ว ได้นำข้อมูลการประเมินสมรรถนะของเตาในขั้นตอนที่ 3 มาวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลดังนี้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

การประเมินสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กนั้น ผู้วิจัยประเมินสมรรถนะ 5 ด้านดังนี้คือ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะการใช้งาน ลักษณะการบำรุงรักษา สมรรถนะการหลอมละลาย และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ทั้ง 5 ด้านดังต่อไปนี้

ตาราง 2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{X}$	SD	แปลความ
1.1 ขนาดของเตากระทัดรัดสวยงาม	4.40	.51	ดี
1.2 ชิ้นส่วนทุกชิ้นออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนและประกอบได้	4.00	.47	ดี
1.3 ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความแข็งแรง	3.40	.51	พอใช้
1.4 ชิ้นส่วนทุกชิ้นออกแบบและสร้างให้มีความปลอดภัยขณะใช้งาน	4.10	.31	ดี

ตาราง 2 (ต่อ)

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{X}$	SD	แปลความ
1.5 ลักษณะเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กออกแบบได้อย่างเหมาะสม	4.00	.47	ดี
รวม	3.98	.45	ดี

จากตาราง 2 สามารถวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ตามรายละเอียดสมรรถนะดังนี้

ขนาดของเตากระทัดรัดสวยงาม ข้อมูลจากตารางแสดงว่าขนาดของเตากระทัดรัดสวยงามอยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 4.40

ชิ้นส่วนทุกชิ้นออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนและประกอบได้ ข้อมูลจากตารางแสดงว่าชิ้นส่วนทุกชิ้นออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนและประกอบได้ อยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 4.00

ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความแข็งแรง ข้อมูลจากตารางแสดงว่าชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความแข็งแรง อยู่ในระดับพอใช้ คือมีค่าเฉลี่ย 3.40

ชิ้นส่วนทุกชิ้นออกแบบและสร้างให้มีความปลอดภัยขณะใช้งาน ข้อมูลจากตารางแสดงว่าชิ้นส่วนทุกชิ้นออกแบบและสร้างให้มีความปลอดภัยขณะใช้งาน อยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 4.10

ลักษณะเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กออกแบบได้อย่างเหมาะสม ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ลักษณะเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กออกแบบได้อย่างเหมาะสม อยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 4.00

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยในแต่ละหัวข้อแล้ว นำค่าเฉลี่ยเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าเฉลี่ย เพื่อเป็นตัวแทนของลักษณะทางกายภาพ จึงสามารถสรุปได้ว่าลักษณะทางกายภาพทั่วไปอยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 3.98

ตาราง 3 การวิเคราะห์ลักษณะการใช้งานของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{X}$	SD	แปลความ
2.1 การเตรียมวัตถุดิบสามารถทำได้สะดวก	3.40	.51	พอใช้
2.2 การอุ่นเตาสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว	4.30	.48	ดี
2.3 ประหยัดเวลาในการปฏิบัติงาน	4.60	.51	ดีมาก
2.4 การใส่วัตถุดิบเข้าเตาทำได้สะดวก	3.60	.51	ดี
2.5 การหยุดการปฏิบัติงานของเตาหลอมสามารถทำได้เพียงแต่ปิดน้ำมันและปิดหัดลม	4.60	.51	ดีมาก
รวม	4.10	.50	ดี

จากตาราง 3 สามารถวิเคราะห์ลักษณะการใช้งานของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ตามรายละเอียดสมรรถนะดังนี้

การเตรียมวัตถุดิบสามารถทำได้สะดวก ข้อมูลจากตารางแสดงว่า การเตรียมวัตถุดิบสามารถทำได้สะดวก อยู่ในระดับ พอใช้ คือมีค่าเฉลี่ย 3.40

การอุ่นเตาสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ข้อมูลจากตารางแสดงว่า การอุ่นเตาสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว อยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 4.30

ประหยัดเวลาในการปฏิบัติงาน ข้อมูลจากตารางแสดงว่า การประหยัดเวลาในการปฏิบัติงานอยู่ในระดับดีมาก คือมีค่าเฉลี่ย 4.60

การใส่วัตถุดิบเข้าเตาทำได้สะดวก ข้อมูลจากตารางแสดงว่าการใส่วัตถุดิบเข้าเตาทำได้สะดวก อยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 3.60

การหยุดการปฏิบัติงานของเตาหลอมสามารถทำได้เพียงแต่ปิดน้ำมันและปิดพัดลม ข้อมูลจากตารางแสดงว่า การหยุดการปฏิบัติงานของเตาสามารถทำได้เพียงแต่ปิดน้ำมันและปิดพัดลมอยู่ในระดับดีมาก คือมีค่าเฉลี่ย 4.60

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยในแต่ละหัวข้อแล้ว นำค่าเฉลี่ยเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวมเพื่อเป็นตัวแทนของลักษณะการใช้งาน จึงสามารถสรุปได้ว่า ลักษณะการใช้งานอยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 4.10

ตาราง 4 การวิเคราะห์ลักษณะการบำรุงรักษาของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{X}$	SD	แปลความ
3.1 การบำรุงรักษาก่อนการปฏิบัติงานทำได้อย่างเหมาะสม	3.90	.56	ดี
3.2 การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นไม่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหาย	4.10	.31	ดี
3.3 เมื่อผนังเตาชำรุดสามารถซ่อมแซมได้	4.10	.56	ดี
3.4 วัสดุที่ใช้ทำผนังเตาด้านในหาได้ง่ายและราคาถูก	4.70	.48	ดีมาก
3.5 หัวฉีดชำรุดสามารถซ่อมแซมได้	4.10	.31	ดี
รวม	4.18	.44	ดี

จากตาราง 4 สามารถวิเคราะห์ลักษณะการบำรุงรักษาของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ตามรายละเอียดสมรรถนะดังนี้

การบำรุงรักษาก่อนการปฏิบัติงานทำได้อย่างเหมาะสม ข้อมูลจากตารางแสดงว่า การบำรุงรักษาก่อนการปฏิบัติงานทำได้อยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 3.90

การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นไม่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหาย ข้อมูลจากตารางแสดงว่า การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นไม่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหาย อยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 4.10

เมื่อผนังเตาชำรุดสามารถซ่อมแซมได้ ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ผนังเตาสามารถซ่อมแซมได้อยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 4.10

วัสดุที่ใช้ทำผนังเตาด้านในหาได้ง่ายและราคาถูก ข้อมูลจากตารางแสดงว่า วัสดุที่ใช้ทำผนังเตาด้านในหาได้ง่าย และราคาถูกอยู่ในระดับดีมาก คือมีค่าเฉลี่ย 4.70

หัวฉีดชำรุดสามารถซ่อมแซมได้ ข้อมูลจากตารางแสดงว่าหัวฉีดชำรุดสามารถซ่อมแซมได้อยู่ในระดับดี คือมีค่าเฉลี่ย 4.10

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยในแต่ละหัวข้อแล้ว นำค่าเฉลี่ยเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนของลักษณะการบำรุงรักษา จึงสามารถสรุปได้ว่า ลักษณะการบำรุงรักษาอยู่ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 4.18

ตาราง 5 การวิเคราะห์สมรรถนะการหลอมละลายของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{X}$	SD	แปลความ
4.1 หลอมละลายอลูมิเนียมได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม	4.40	.51	ดี
4.2 เวลาในการหลอมละลายอลูมิเนียม 1 เบ้า ไม่เกิน 30 นาที	4.50	.52	ดีมาก

ตาราง 5 (ต่อ)

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{X}$	SD	แปลความ
4.3 ทำให้อลูมิเนียมที่หลอมละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิเท	4.00	.66	ดี
4.4 หลอมละลายโลหะอื่นๆ ได้	3.70	.56	ดี
4.5 ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง	4.30	.48	ดี
รวม	4.18	.54	ดี

จากตาราง 5 สามารถวิเคราะห์สมรรถนะการหลอมละลายของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ตามรายละเอียดสมรรถนะดังนี้

หลอมละลายอลูมิเนียมได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม ข้อมูลจากตารางแสดงว่า หลอมละลายอลูมิเนียมได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม อยู่ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 4.40

เวลาในการหลอมละลายอลูมิเนียม 1 เบ้า ไม่เกิน 30 นาที ข้อมูลจากตารางแสดงว่า เวลาในการหลอมละลายอลูมิเนียม 1 เบ้า ไม่เกิน 30 นาที อยู่ในระดับดีมาก คือมีค่าเฉลี่ย 4.50

ทำให้อลูมิเนียมที่หลอมละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิเท ข้อมูลจากตารางแสดงว่า อลูมิเนียมหลอมละลายถึงอุณหภูมิเทได้ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 4.00

หลอมละลายโลหะอื่นๆได้ ข้อมูลจากตารางแสดงว่า สามารถหลอมละลายโลหะอื่นๆ ได้อยู่ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 3.70

ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ข้อมูลจากตารางแสดงว่าประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 4.30

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยในแต่ละหัวข้อแล้ว นำค่าเฉลี่ยเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวมเพื่อเป็นตัวแทนของสมรรถนะการหลอมละลาย จึงสามารถสรุปได้ว่า สมรรถนะการหลอมละลายอยู่ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 4.16

ตาราง 6 การวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งานของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{X}$	SD	แปลความ
5.1 ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน สามารถปฏิบัติงานได้	4.50	.52	ดีมาก
5.2 สามารถนำไปใช้ในห้องทดลอง	4.10	.31	ดี
5.3 สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการฝึกนักศึกษา	4.20	.64	ดี
5.4 สามารถนำไปใช้ในการหล่อแบบวิจิตร	3.50	.52	ดี
5.5 เคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต่างๆ ได้	4.20	.52	ดี
รวม	4.10	.50	ดี

จากตาราง 6 สามารถวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งานของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ตามรายละเอียดสมรรถนะดังนี้

ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน สามารถปฏิบัติงานได้ ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน สามารถปฏิบัติงานได้อยู่ในระดับดีมาก คือ มีค่าเฉลี่ย 4.50

สามารถนำไปใช้ในห้องทดลอง ข้อมูลจากตารางแสดงว่า สามารถนำไปใช้ในห้องทดลองได้ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 4.10

สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการฝึกนักศึกษา ข้อมูลจากตารางแสดงว่าการนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการฝึกนักศึกษา สามารถทำได้ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 4.20

สามารถนำไปใช้ในการหล่อแบบวิจิตร ข้อมูลจากตารางแสดงว่า การนำไปใช้ในงานหล่อแบบวิจิตรสามารถทำได้ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 3.50

เคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต่างๆ ข้อมูลจากตารางแสดงว่า การเคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต่างๆ สามารถทำได้ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 4.20

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยในแต่ละหัวข้อแล้ว นำค่าเฉลี่ยเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวมเพื่อเป็นตัวแทนความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน จึงสามารถสรุปได้ว่า ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งานอยู่ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ย 4.10

หลังจากทราบผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กทั้ง 5 ด้านแล้ว ผู้วิจัยได้นำผลการวิเคราะห์สมรรถนะทั้ง 5 ด้าน รวมเข้าด้วยกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยดังนี้

ตาราง 7 การวิเคราะห์สมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

สมรรถนะด้าน	$\bar{X}$	SD	แปลความ
1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป	3.98	.45	ดี
2. ลักษณะการใช้งาน	4.10	.50	ดี
3. ลักษณะการบำรุงรักษา	4.18	.44	ดี
4. สมรรถนะการหลอมละลาย	4.18	.54	ดี
5. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน	4.10	.50	ดี
รวม	4.10	.48	ดี

จากตาราง 7 สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงได้ดังนี้

ผลรวมค่าเฉลี่ยสมรรถนะที่เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพทั่วไปเท่ากับ 3.98 ลักษณะการใช้งาน 4.10 ลักษณะการบำรุงรักษา 4.18 สมรรถนะการหลอมละลาย 4.18 และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน 4.10 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 20.54 โดยมีจำนวนสมรรถนะทั้งหมด 5 ด้าน จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดหาค่าเฉลี่ย จึงสามารถสรุปได้ว่า สมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอยู่ในระดับดี ตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

สำหรับข้อมูลจากคำถามปลายเปิด เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระเกี่ยวกับสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ผู้วิจัยได้นำคำตอบและข้อเสนอแนะมารวบรวมและเรียงลำดับเป็นรายข้อ จากข้อที่มีผู้เชี่ยวชาญตอบมากที่สุดไปจนถึงข้อที่ผู้เชี่ยวชาญตอบน้อยที่สุดดังนี้

ตาราง 8 จัดลำดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 ท่าน ที่มีต่อสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

ลำดับความคิดเห็น	จำนวนผู้แสดงความคิดเห็น
1. ฐานรองรับเบ้าหลอมควรปรับให้สูงขึ้นเพื่อให้การจับเบ้าทำได้ง่าย	3
2. ช่องใส่วัสดุควรขยายให้กว้างมากขึ้น	2
3. ลดความหนาของผนังเตาด้านในช่วยเพิ่มพื้นที่ภายในเตาเพื่อการปฏิบัติงานคล่องตัวขึ้น	2

ตาราง 8 (ต่อ)

ลำดับความคิดเห็น	จำนวนผู้แสดงความคิดเห็น
4. คีมด้ามยาวควรปรับปรุงให้สามารถจับเบ้าได้มั่นคง	2
5. ขยายหัวฉีดน้ำมันให้ใหญ่ขึ้นในกรณีที่ใช้น้ำมันเตา	1
6. ควรใช้สารกำจัดสิ่งสกปรกเพื่อให้น้ำโลหะสะอาด	1
7. เปลวไฟไม่ควรให้สัมผัสกับผนังเตาด้านนอก	1
8. ควรทำความสะอาดอุปกรณ์ทุกครั้งเมื่อเสร็จงาน	1

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อการสร้างเตาหลอมละลายอลูมิเนียมขนาด 1 กิโลกรัม ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญในงานหล่อโลหะจำนวน 10 ท่าน เป็นผู้ประเมินสมรรถนะดังกล่าวแล้ว โดยได้ดำเนินการเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

จุดมุ่งหมายในการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ให้มีความสามารถในการหลอมละลายอลูมิเนียมครั้งละ 1 กิโลกรัม
2. เพื่อทดสอบและประเมินสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

ความสำคัญของการวิจัย

1. สามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในกระบวนการหล่อโลหะ
2. สามารถนำไปใช้ในโรงฝึกงานสถานศึกษา และนำไปใช้ในห้องทดลองของโรงงานหล่อโลหะ

สมมุติฐานการวิจัย

เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะอยู่ในระดับดี

การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการวิจัยออกเป็น 3 ขั้น ดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 ประกอบด้วย การรับรู้ปัญหาทั้งในโรงงานหล่อโลหะและโรงฝึกงานสถานศึกษา จากนั้นศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาหลอมละลายโลหะและสุดท้ายออกแบบ ร่างแบบ และเขียนแบบส่วนต่างๆ ของเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการสร้างส่วนประกอบต่างๆของเตาเบ้า และนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นต้นแบบ และผู้วิจัยได้นำเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงต้นแบบนี้ ทำการทดสอบเพื่อปรับปรุงส่วนต่างๆ โดยเฉพาะส่วนของเชื้อเพลิงซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 ปรับปรุงต้นแบบของเตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในขั้นตอนที่ 2 เพื่อนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 ท่าน ที่มีประสพการณ์ในการควบคุมงานหล่อโลหะไม่น้อยกว่า 5 ปี ประเมินสมรรถนะ ซึ่งการประเมินสมรรถนะนั้นประเมิน 5 ด้าน ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป
2. ลักษณะการใช้งาน
3. ลักษณะการบำรุงรักษา
4. สมรรถนะการหลอมละลาย
5. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้กล่าวถึงผลการวิจัยโดยละเอียดไปแล้วในบทที่ 4 แต่เพื่อให้เกิดความเข้าใจโดยชัดเจนเกี่ยวกับผลของการวิจัย ผู้วิจัยจึงได้นำผลการวิจัยมานำเสนอเป็นหัวข้อเพื่อให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการวิจัยดังนี้

1. การออกแบบและสร้างเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีความสามารถในการหลอมละลายอลูมิเนียมได้ครั้งละไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม

2. ประเมินสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ผลการประเมินเตา

หลอมละลายโลหะขนาดเล็กสมรรถนะอยู่ในระดับดี สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ผู้วิจัยได้ตั้งไว้

อภิปรายผล

จากสมมุติฐานการวิจัยที่ได้ตั้งไว้ในบทที่ 1 นั้น ปรากฏผลการวิจัยในบทที่ 4 สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ได้ตั้งไว้คือ สมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง อยู่ในระดับดี ผลการประเมินนั้นเป็นผลรวมของสมรรถนะทุกด้าน แต่ผู้วิจัยยังเห็นว่า ถ้าวิเคราะห์รายละเอียดสมรรถนะเป็นหัวข้อย่อยจะพบว่า ลักษณะทางกายภาพของเตาโดยเฉพาะความแข็งแรงอยู่ในระดับพอใช้เท่านั้น จึงควรปรับปรุงลักษณะทางกายภาพให้ดียิ่งขึ้น

ลักษณะการใช้งานของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ก็มีสมรรถนะอยู่ในระดับพอใช้เท่านั้น ผู้วิจัยหมายถึง ขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบกระทำได้ไม่สะดวกนัก ดังนั้นจึงควรปรับปรุงให้ดีขึ้น กล่าวโดยสรุประดับสมรรถนะที่ต่ำกว่าสมมุติฐานก็คือ ชิ้นส่วนของเตาบางชิ้นส่วนยังไม่แข็งแรงพอ และการเตรียมวัตถุดิบใส่เตาหลอมทำได้ไม่สะดวกเท่าที่ควร

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การวิจัยนี้สมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนะบางสิ่งบางอย่างเพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ๆ เกี่ยวกับงานวิจัยนี้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคตดังนี้

1. การปรับปรุงเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ ควรปรับปรุงในส่วนที่ยังมีสมรรถนะอยู่ในระดับพอใช้ ทำได้โดย

1.1 ฝาปิดเตาควรออกแบบให้มีแผ่นเหล็กห่อหุ้ม จะทำให้แข็งแรงยิ่งขึ้น

1.2 ท่อส่งลมควรเพิ่มความหนาให้มากขึ้นเป็น 1.5 ม.ม. จะทำให้ท่อส่งลมแข็งแรงยิ่งขึ้น

1.3 ฝาปิดเตาควรขยายช่องบรรจุวัสดุให้ใหญ่ขึ้น เพื่อความสะดวกในการบรรจุวัสดุ

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาวิจัยการสร้างเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก โดยใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง

2.2 ควรศึกษาวิจัยการสร้างเตาหลอมละลายโลหะขนาด 80 กิโลกรัม โดยใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงสำหรับนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม

2.3 ควรศึกษาวิจัยการสร้างเครื่องมือในการทดสอบทรายทำแบบหล่อ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกลของทราย เช่น เครื่องทดสอบแรงดึง เครื่องทดสอบแรงอัด และเครื่องทดสอบแรงเฉือน เป็นต้น

2.4 ควรศึกษาวิจัยเปรียบเทียบการประหยัดเชื้อเพลิงของเตาในงานวิจัยนี้กับเตาเบ้าชนิดอื่นๆ เช่น เตาแก๊ส เตาไฟฟ้า และเตาถ่านโค้ก ซึ่งจะทำให้สามารถเข้าใจสมรรถนะของเตาในด้านการหลอมละลายได้ละเอียดดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

จุมพล เทียมเมืองแผน. ศึกษาสภาพและปัญหาการใช้เครื่องจักรในการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ สาขาช่างกลโรงงาน แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิค สังกัดกรมอาชีวศึกษา. วิทยานิพนธ์ ค.อ.บ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, 2532. อัดสำเนา.

ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และสาโรช ฐิติเกียรติพงศ์. วัสดุในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์น่าอักษร, 2521.

ชาโตะ, ฟูจิอิ. การทดสอบแบบไม่ทำลาย. แปลโดย ปริทรรศน์ พันธุบรรยงค์ และคนอื่นๆ. กรุงเทพฯ : เอช-เอน การพิมพ์, 2530.

ทวี พรหมพฤกษ์. เตาและการเผา. กรุงเทพฯ : หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู, 2525.

นิติยา จุฬาภรณ์. การศึกษาเตาเผาชนิดห้องปฏิกิริยาสองห้อง. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525. อัดสำเนา.

บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ. ทฤษฎีงานเครื่องมือกล. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ครุสภา, 2518.

ประกอบ บุญยงค์. โลหะวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ประกอบเมไตร, 2521.

ประสาท อิศรปรีดา. ธรรมชาติและขบวนการเรียนรู้. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : กรุงสยามการพิมพ์, 2520.

ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. เทคนิคการหล่อโลหะ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, ม.ป.ป.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. วิธีวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ฟิงเกอร์ปริ๊นแอนด์มีเดีย จำกัด, 2535.

มนัส สถิรจินดา. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

_____. วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

ราชบัณฑิตยสถาน. พจนานุกรม. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์, 2531.

วิชัย แหวนเพชร. "แนวทางการทำวิจัยเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมศึกษา," พิษเนศวร. 1(2) : 31-35 ; ธันวาคม-พฤษภาคม 2535.

วีระพันธ์ สิทธินงค์. โลหะวิทยากายภาพสำหรับวิศวกร ภาค 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์นิยมวิทยา, 2531.

ศึกษาธิการ, กระทรวง. หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2530. กรุงเทพฯ : กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ, 2530.

สุรเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์. กลศาสตร์ของแข็ง. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, ม.ป.ป.

หริส สูตะบุตร และ เคนจิ จิอิวา. หล่อโลหะ. กรุงเทพฯ : ศูนย์การพิมพ์ดวงกมล, 2535.

อรรจน์ ประภาพิทยากร และพิพัฒน์ เมฆประเสริฐ. ที่สุดของวัสดุช่าง. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2531.

Amstead, B H., Phillip F. Ostwald and Mylon L. Begeman. Manufacturing Process. 7th ed. New York : John Wiley & Sons, 1979.

Best, John W. Research in Education. 4th ed. New Jersey : Prentice Hall, 1981.

Claus, J. and W.F. Sulilatu. "A Comparison of the Performance of Three Woodstove," Wood Heat for Cooking p. 89-103. Banhalore : Indian Academy of Sciences, 1983.

Cliffe, D.R. Technical Metallurgy. London : Photolithography Unwin Brothers Limited, 1971.

Degrarmo, E.Paul, J. Temple Block and Ronald A. Kohser. Material and Processes in Manufacturing. 7th ed. New York : Macmillan Publishing Company, 1990.

Higgins, Raymond A. Engineering Metallurgy. 2nd ed. Hong Kong : Colorcraft Ltd., 1991.

Salmon, William H. and Eric N. Simons. Foundry Practice. 3rd ed. London : Pitman Publishing, 1972.

Taylor, Howard F., Merton C. Fleming and John Wulff. Foundry Engineering. New Delhi : Pramodh Kapur, 1973.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เปรียบเทียบเคาเข้าในงานอุตสาหกรรมกับเคาในงานวิจัย

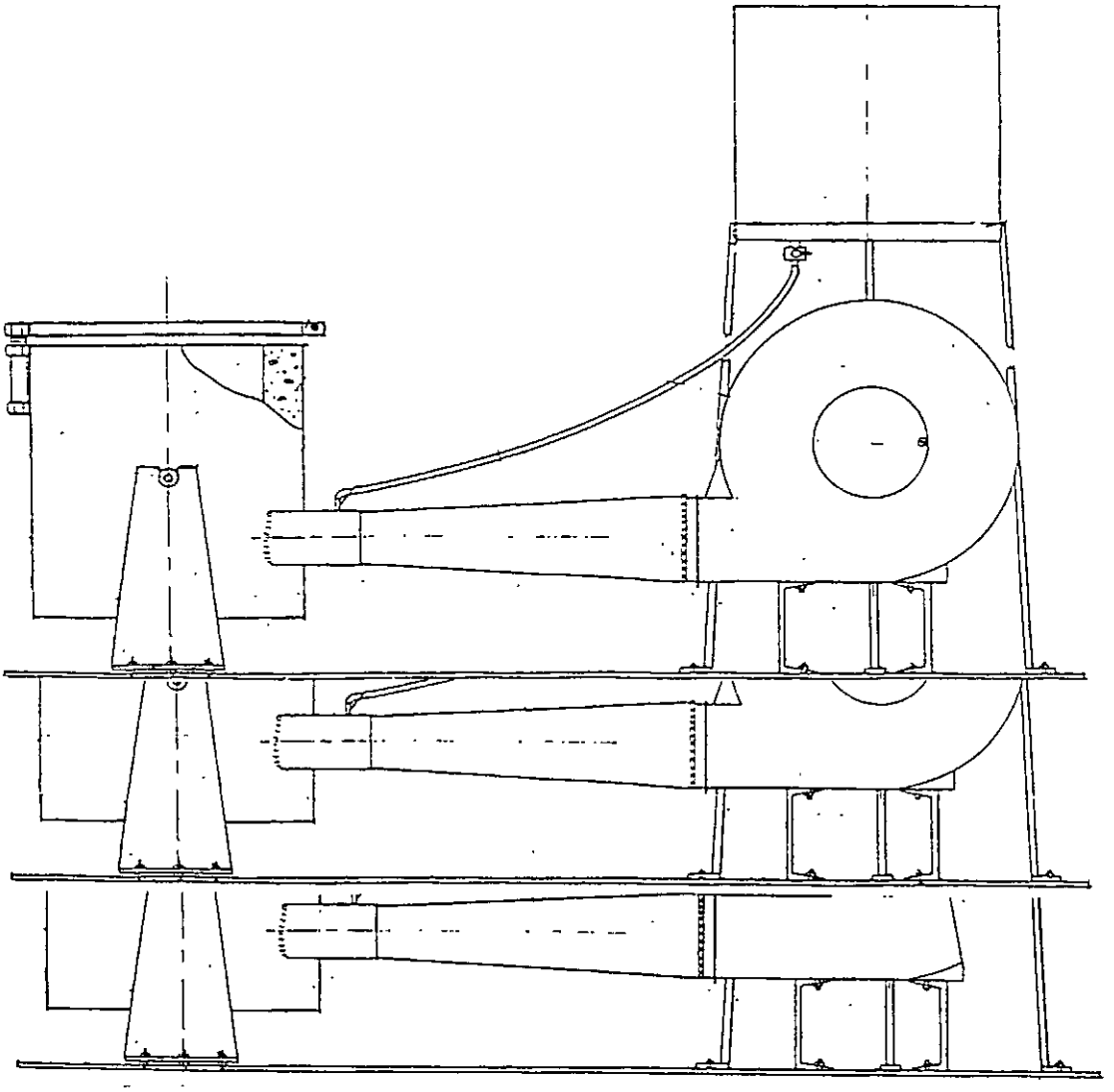
ตาราง 9 เปรียบเทียบเตาเบ้าในงานอุตสาหกรรมกับเตาเบ้าในงานวิจัยนี้

ลำดับที่	ส่วนประกอบต่างๆ	เตาในงานอุตสาหกรรม	เตาในงานวิจัย
1	ผนังเตาด้านนอก	ผนังเตาหนา 3-5 ม.ม.	ผนังเตาหนา 3 ม.ม.
2	ผนังเตาด้านใน	ทำจากวัสดุทนความร้อน ได้แก่ ทรายขาว, ซิเมนต์ทนความร้อน, ตัวประสานวิทยาศาสตร์ อิฐทนความร้อน, น้ำ ผสมกันโดยอัตราส่วน 1 : 2 : 1 : 1 : 1	อัตราส่วนและส่วนผสม เหมือนกับเตาในงาน อุตสาหกรรม แตกต่างที่ ผู้วิจัยไม่ใช้ตัวประสาน วิทยาศาสตร์ แต่ใช้ดิน เหนียวแทน
3	พัดลมเป่า	ขนาดมอเตอร์ 1/2 กำลังม้าขึ้นไป	ขนาดมอเตอร์ไม่เกิน 1/4 กำลังม้า
4	ท่อส่งลม	ขนาดจะขึ้นอยู่กับขนาด ของเตา	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 55 ม.ม. ยาว 106 ม.ม.
5	เบ้าหลอม	ขนาดตั้งแต่ 80 กิโลกรัมขึ้นไป	ขนาด 1 กิโลกรัม
6	ถังน้ำมัน	ขนาดขึ้นอยู่กับขนาด ความจุของเบ้าหลอม	ความจุ 7 ลิตร
7	สายส่งน้ำมัน	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในจะขึ้นอยู่กับขนาด ความจุของเบ้า โดยทั่ว ไปจะใช้ประมาณ 10 ม.ม. และทำด้วยโลหะ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในเท่ากับ 5 ม.ม. และทำด้วยยาง
8.	หัวฉีด	เป็นหัวฉีดแบบกลม ต้องใช้เครื่องจักรกล ในการผลิต ทำให้มี ราคาแพง	ใช้ท่อโลหะปลายแบนที่มี เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5 ม.ม.

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้เตาหลอมละลายโลหะ

คู่มือ ;



การใช้เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

คำนำ

คู่มือการใช้เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้ท่านได้ทำความเข้าใจกับชิ้นส่วนต่างๆ ของเตาและการใช้งาน ทั้งยังอธิบายให้เห็นถึงการทำงานของเตาหลอมนี้โดยละเอียด ซึ่งผู้จัดทำแน่ใจว่าเมื่อท่านอ่านคู่มือฉบับนี้แล้ว ท่านจะสามารถใช้เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กนี้ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย เพราะนอกจากจะอธิบายถึงชิ้นส่วนต่างๆ ของเตาและการใช้งานแล้ว ยังได้เสริมในส่วนของการซ่อมบำรุงและความปลอดภัยในการปฏิบัติงานอีกด้วย

ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่าคู่มือฉบับนี้จะทำให้ท่านปฏิบัติงานหลอมละลายโลหะ โดยใช้เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กนี้ ได้อย่างดี

ชวลิต เชียงกูล

สารบัญ

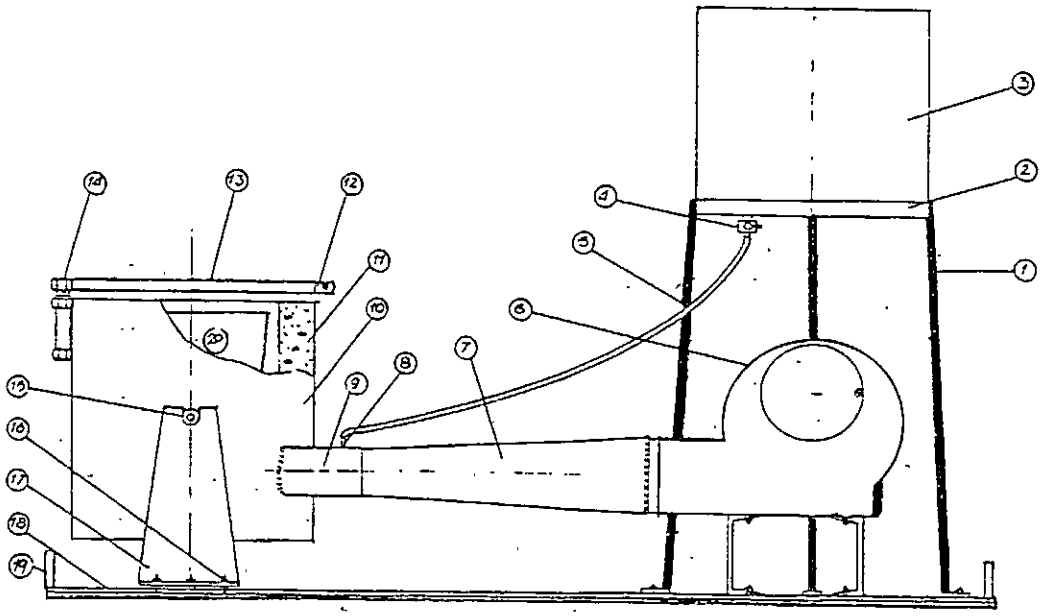
	หน้า
ลักษณะเฉพาะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก	1
ส่วนประกอบของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก	1
ส่วนประกอบและการปฏิบัติงาน	2
อุปกรณ์ร่วมการปฏิบัติงาน	3
ลำดับขั้นการปฏิบัติงานของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก	4
การบำรุงรักษา	4
ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน	4

เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กนี้ ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อให้สามารถหลอมละลายอลูมิเนียมได้ 1 กิโลกรัม ต่อ 1 ครั้ง โดยใช้ผู้ปฏิบัติงานร่วม 1 คน เท่านั้น ทั้งที่มีขั้นตอนในการปฏิบัติงานเช่นเดียวกันกับเตาขนาดใหญ่โดยทั่วไป จากลักษณะดังกล่าวเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กนี้จึงสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ในการฝึกปฏิบัติงานหล่อโลหะในสถานศึกษา หรือนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการของโรงงานหล่อโลหะ

ลักษณะเฉพาะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

ชื่อ	เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก
ชนิด	เตาเบ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง
หลอมละลายโลหะ	อลูมิเนียม
ขนาด	1 กิโลกรัมอลูมิเนียม
ผู้ปฏิบัติงาน	1 คน
การนำไปใช้งาน	1. โรงฝึกงานสถานศึกษา
	2. ห้องปฏิบัติการ
อื่นๆ	สามารถเคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต่างๆ ได้

ส่วนประกอบของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก



ภาพประกอบ 1 แสดงส่วนประกอบของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

1. ขาตั้งถังน้ำมัน
2. ฐานรองรับถังน้ำมัน
3. ถังน้ำมัน
4. วาล์วปิด-เปิดน้ำมัน
5. สายส่งน้ำมัน
6. พัดลมเป่า
7. ท่อส่งลมส่วนนอก
8. หัวฉีด
9. ท่อส่งลมส่วนใน
10. ผนังเตาด้านนอก
11. ผนังเตาด้านใน
12. ฝาปิดเตาส่วนนอก
13. ฝาปิดเตาส่วนใน
14. สลักเกลียวและแป้นเกลียว M 16x2
15. สลักเกลียวและแป้นเกลียว M 10x1.25
16. สลักเกลียวและแป้นเกลียว M 6x1
17. ขาตั้งเตา
18. ฐาน
19. มือจับ
20. เบ้าหลอม

ส่วนประกอบและการปฏิบัติงาน

1. ขาตั้งถังน้ำมัน รองรับถังน้ำมันซึ่งประกอบด้วยขาตั้ง 3 ขา ติดยึดกับฐาน

2. ฐานรองรับถังน้ำมัน รองรับถังน้ำมันโดยติดยึดกับขาตั้งด้วยการเชื่อม ยกขอบสูงเพื่อให้ถังวางได้อย่างมั่นคง

3. ถังน้ำมัน ออกแบบให้สามารถบรรจุน้ำมันดีเซลได้ประมาณ 7 ลิตร ซึ่งเพียงพอต่อการหลอมละลายอลูมิเนียม 1 กิโลกรัม

4. วาล์วปิด-เปิดน้ำมัน ทำหน้าที่ปิดหรือเปิดน้ำมันจากถังน้ำมันที่จะส่งไปยังเตาหลอม โดยปรับให้วาล์วตรงกับตำแหน่งสีแดง

5. สายส่งน้ำมัน ซึ่งทำหน้าที่จ่ายน้ำมันจากถังน้ำมันไปยังหัวฉีด และเตาหลอมจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเท่ากับ 5 มม. และมีความยาว ประมาณ 600 มม.

6. พัดลมเป่า ขนาดของพัดลมเป่าเท่ากับ 1/4 แรงม้า เป่าลมเข้าไปในเตาหลอมเพื่อช่วยในการเผาไหม้ ปริมาณลมที่เป่าเข้าไปจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันที่ไหลเข้าเตาหลอม ควรปรับลมเข้าให้อยู่ในตำแหน่งปิด

7. ท่อส่งลมส่วนนอก ส่งลมจากพัดลมเป่าต่อไปยังท่อส่งลมส่วนใน ท่อส่งลมส่วนนอกนี้ อาจออกแบบให้ยาวหรือสั้นก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่การปฏิบัติงาน

8. หัวฉีด ทำหน้าที่จ่ายน้ำมันให้เป็นฝอยเข้าไปภายในเตา ปลายของหัวฉีดถูกออกแบบให้เป็นปลายแบน ซึ่งสะดวกในการซ่อมบำรุงเมื่อเกิดชำรุดเสียหาย

9. ท่อส่งลมส่วนใน ติดยึดอยู่กับผนังเตาด้านนอกด้วยการเชื่อม และเจาะรูเพื่อเป็นตำแหน่งติดตั้งหัวฉีด

10. ผนังเตาด้านนอก ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ผนังเตาด้านในเสียรูป และยังป้องกันความร้อนภายในเตาไม่ให้สูญเสียไป อีกทั้งยังสามารถติดตั้งฝาปิดเตาและสลักเกลียวยึดเตาด้วย

11. ผนังเตาด้านใน ป้องกันความร้อนภายในเตาไม่ให้สูญเสียไป ซึ่งผนังเตาด้านในนี้จะสัมผัสโดยตรงกับเปลวไฟ ดังนั้นจึงต้องใช้วัสดุทนความร้อนสูง ประกอบด้วย ทรายขาว ปูนซีเมนต์ทนความร้อน ดินเหนียวบดละเอียด อิฐทนความร้อน และน้ำ ซึ่งมีอัตราส่วนผสม 1:2:1:1:1 ตามลำดับ

12. ฝาปิดเตาส่วนนอก ทำหน้าที่ยึดฝาปิดเตาส่วนในให้มั่นคงแข็งแรงอยู่กับผนังเตาส่วนนอก การปิด-เปิดฝาปิดเตาทำได้โดยการหมุนฝาปิดเตาได้รอบตัว

13. ฝาปิดเตาส่วนใน ทำจากวัสดุทนความร้อนสูง โดยมีฝาปิดเตาส่วนนอกบีบตัวรัดฝาปิดเตาด้านในไว้อย่างแข็งแรง

14. สลักเกลียวและแป้นเกลียว M 16x2 ติดยึดอยู่กับฝาปิดเตาส่วนนอก ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนปิด-เปิดเตา

15. สลักเกลียวและแป้นเกลียว M 10x1.25 ติดยึดอยู่กับผนังเตาส่วนนอก เพื่อจับยึดเตาหลอมให้ติดแน่นอยู่กับขาตั้งเตาทั้ง 2 ขา

16. สลักเกลียวและแป้นเกลียว M 6x1 จับยึดขาตั้งเตาทั้ง 2 ขาให้มั่นคง อยู่บนฐาน ประกอบด้วยสลักเกลียวและแป้นเกลียวจำนวน 6 ตัว

17. ขาตั้งเตา จับยึดเตาให้มั่นคงโดยเตาสามารถหมุนเอียงตัวได้ ใช้สลักเกลียวและแป้นเกลียวขนาด M 10x1.25 จำนวน 2 ตัว

18. ฐาน รองรับส่วนประกอบทุกชิ้นให้อยู่บนฐานเดียวกัน เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเตา

19. มือจับ ติดยึดกับฐานใช้ยกเมื่อต้องการเคลื่อนย้ายเตาไปปฏิบัติงานในที่ต่างๆ

20. เบ้าหลอม ใส่อลูมิเนียมที่ต้องการหลอมละลาย และนำน้ำโลหะไปเทลงสู่แบบ

<u>อุปกรณ์ร่วมการปฏิบัติงาน</u>

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ทำหน้าที่ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำโลหะก่อนนำไปเทลงสู่แบบ

2. คีมด้ามยาว ทำหน้าที่จับและยกเบ้าหลอมเพื่อนำน้ำโลหะไปเทลงสู่แบบ

ลำดับขั้นการปฏิบัติงานของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

1. จัดเตรียมเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กและอุปกรณ์อื่นๆ

2. ตรวจสอบส่วนต่างๆ ของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กและระดับน้ำมันภายในถัง

3. นำเบ้าหลอมวางลงในเตา

4. นำเศษผ้าชุบน้ำมันวางในเตาบริเวณท่อส่งลมส่วนใน

5. จุดไฟเศษผ้าภายในเตา เปิดน้ำมันไปในตำแหน่งสีแดง และเปิดลมในตำแหน่งปิด

6. บรรจุอลูมิเนียมภายในเบ้าหลอม จนกระทั่งอลูมิเนียมหลอมละลายเต็มเบ้าหลอม

7. ใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำโลหะ

8. ปิดน้ำมัน และปิดพัดลมเป่า

9. นำคีมด้ามยาวจับเบ้าหลอมเพื่อนำน้ำโลหะเทลงสู่แบบ

10. ตรวจสอบส่วนประกอบต่างๆ ของเตาหลอมอีกครั้งก่อนเก็บเข้าที่

การบำรุงรักษา

1. ตรวจสอบส่วนประกอบต่างๆ ของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กทุกครั้งก่อนการปฏิบัติงาน จะทำให้ส่วนประกอบทุกส่วนทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ภายหลังจากปฏิบัติงาน ควรตรวจสอบส่วนประกอบต่างๆ ของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก โดยเฉพาะผนังเตาด้านใน ซึ่งจะชำรุดได้ง่ายกว่าส่วนอื่นๆ ถ้าพบจุดบกพร่องควรซ่อมแซมทันที

เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กนี้ ถูกสร้างขึ้นโดยคำนึงถึงความสะดวกในการปฏิบัติงาน และการซ่อมบำรุง โดยการออกแบบให้ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้สลักเกลียวและการสวม จึงทำให้การซ่อมแซมสามารถทำได้โดยง่าย โดยการถอดส่วนที่ชำรุดออก และนำชิ้นส่วนใหม่มาประกอบ ก็สามารถปฏิบัติงานได้โดยทันที

ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

ผู้ปฏิบัติงานควรสวมถุงมือป้องกันความร้อนทุกครั้งเมื่อปฏิบัติงาน

ภาคผนวก ค

แบบประเมินสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะ

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบทดสอบความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านงานหล่อโลหะ เกี่ยวกับสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

<u>คำชี้แจง</u> แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอน

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยคำถามจำนวน 5 ข้อ

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านงานหล่อโลหะเกี่ยวกับสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก จำนวน 25 ข้อ

1. ลักษณะกายภาพทั่วไป 5 ข้อ
2. ลักษณะการใช้งาน 5 ข้อ
3. ลักษณะการบำรุงรักษา 5 ข้อ
4. สมรรถนะการหลอมละลาย 5 ข้อ
5. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน 5 ข้อ

ตอนที่ 4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

<u>ตอนที่ 1</u> จุดประสงค์ของแบบประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านงานหล่อโลหะ เกี่ยวกับสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น

ดังนั้นแบบประเมินนี้ จึงมีสาระครอบคลุมสมรรถนะด้านต่างๆของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก 5 ด้าน ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป
2. ลักษณะการใช้งาน
3. ลักษณะการบำรุงรักษา
4. สมรรถนะการหลอมละลาย
5. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

<u>ตอนที่ 2</u> ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาเขียนเครื่องหมาย ✓(ถูก) ลงในกรอบ [ ] หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และ/หรือเติมคำหรือข้อความลงในช่องว่าง

1. เพศ

[ ] ชาย

[ ] หญิง

2. อายุ.....ปี

3. ระดับการศึกษา

[ ] ปริญญาตรี หรือเทียบเท่า

[ ] ปริญญาโท หรือเทียบเท่า

[ ] อื่นๆ (โปรดระบุ).....

4. ประสบการณ์ด้านงานหล่อโลหะ.....ปี

5. ตำแหน่งหน้าที่ในหน่วยงาน

.....

.....

.....

.....

.....

อื่นๆ (โปรดระบุ)

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านงานหล่อโลหะ ในการทดสอบและประเมินสมรรถนะของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินในตอนที่ 3 นี้ มีทั้งหมด 25 ข้อ

2. โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน หลังจากทดสอบใช้เตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก

3. ค่าระดับคะแนนกำหนดไว้ดังนี้

5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดีมาก

4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดี

3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับพอใช้

2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับต้องปรับปรุง

1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
	1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป					
1.1	ขนาดของเตากระทัดรัดสวยงาม	....	...	....	...	....
1.2	ชิ้นส่วนทุกชิ้นออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะที่สามารถแยกชิ้นส่วนและประกอบได้	....	...	....	...	....
1.3	ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความแข็งแรง	....	...	....	...	....
1.4	ชิ้นส่วนทุกชิ้นออกแบบและสร้างให้มีความปลอดภัยขณะใช้งาน	....	...	....	...	....
1.5	ลักษณะเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็กออกแบบได้อย่างเหมาะสม	....	...	....	...	....
	2. ลักษณะการใช้งาน					
2.1	การเตียมวัตถุดิบสามารถทำได้สะดวก	....	...	....	...	....
2.2	การอุ่นเตาสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว	....	...	....	...	....
2.3	ประหยัดเวลาในการปฏิบัติงาน	....	...	....	...	....
2.4	การใส่วัตถุดิบเข้าเตาทำได้สะดวก	....	...	....	...	....
2.5	การหยุดการปฏิบัติงานของเตาหลอมสามารถทำได้เพียงแต่ปิดน้ำมันและปิดพัดลมเป่า	....	...	....	...	....
	3. ลักษณะการบำรุงรักษา					
3.1	การบำรุงรักษาก่อนการปฏิบัติงานทำได้เหมาะสม	....	...	....	...	....
3.2	การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นไม่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหาย	....	...	....	...	....
3.3	เมื่อผนังเตาชำรุด สามารถซ่อมแซมได้	....	...	....	...	....
3.4	วัสดุที่ใช้ทำผนังเตาด้านในหาได้ง่ายและราคาถูก	....	...	....	...	....
3.5	ถ้าหัวฉีดชำรุดก็สามารถซ่อมแซมได้	....	...	....	...	....

ข้อที่	รายละเอียดหัวข้อ	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
	4. สมรรถนะการหลอมละลาย					
4.1	หลอมละลายอลูมิเนียมได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม	....	...	....	...	....
4.2	เวลาในการหลอมละลายอลูมิเนียม 1 เบ้า ไม่เกิน 30 นาที	....	...	....	...	....
4.3	ทำให้อลูมิเนียมที่หลอมละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิเท	....	...	....	...	....
4.4	หลอมละลายโลหะอื่นๆ ได้	....	...	....	...	....
4.5	ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง	....	...	....	...	....
	5. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน					
5.1	ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน ก็สามารถปฏิบัติงานได้	....	...	....	...	....
5.2	สามารถนำไปใช้ในห้องทดลอง	....	...	....	...	....
5.3	สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการฝึกนักศึกษา	....	...	....	...	....
5.4	สามารถนำไปใช้ในการหล่อแบบวิจิตร	....	...	....	...	....
5.5	เคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต่างๆ ได้	....	...	....	...	....

ตอนที่ 4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

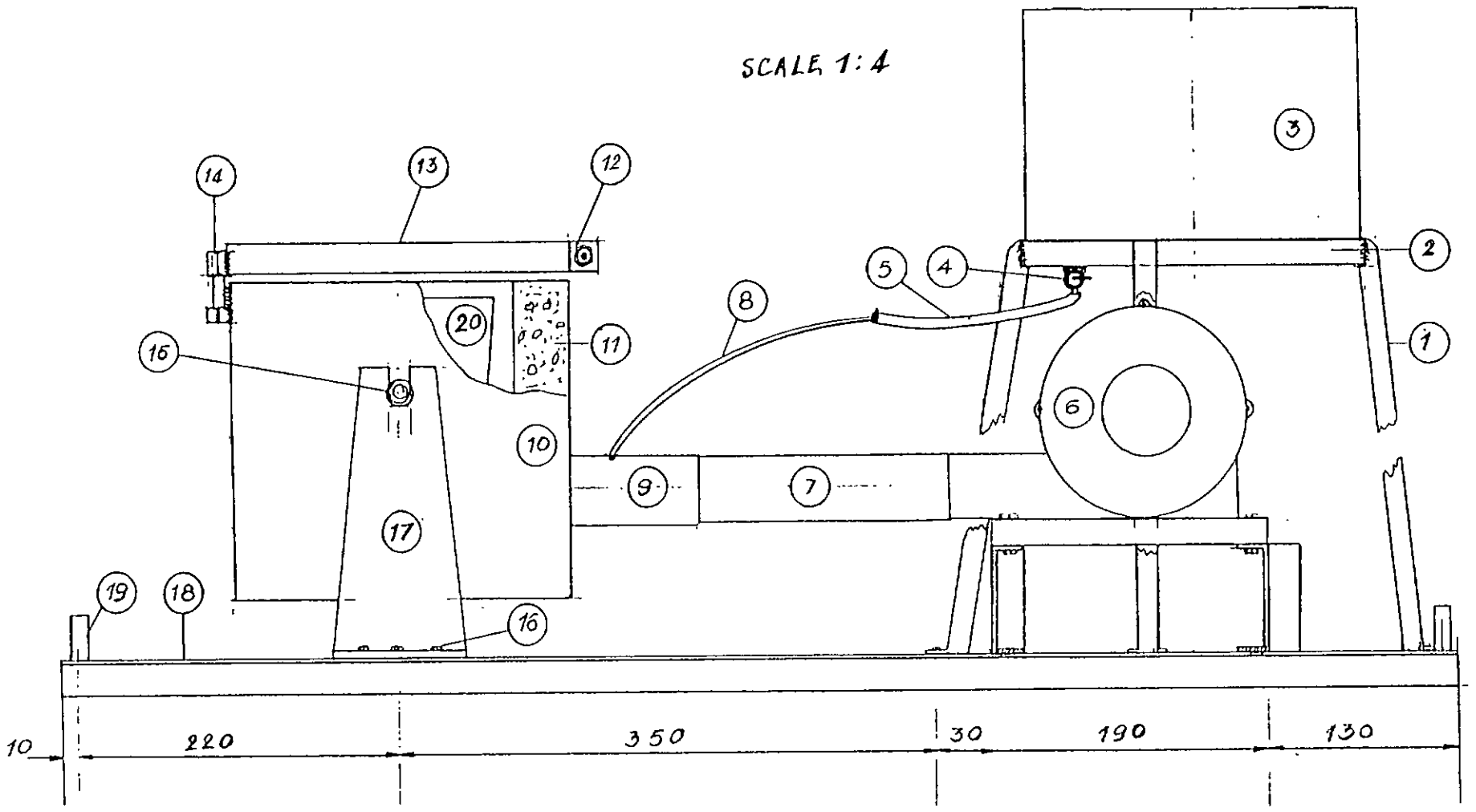
.....

.....

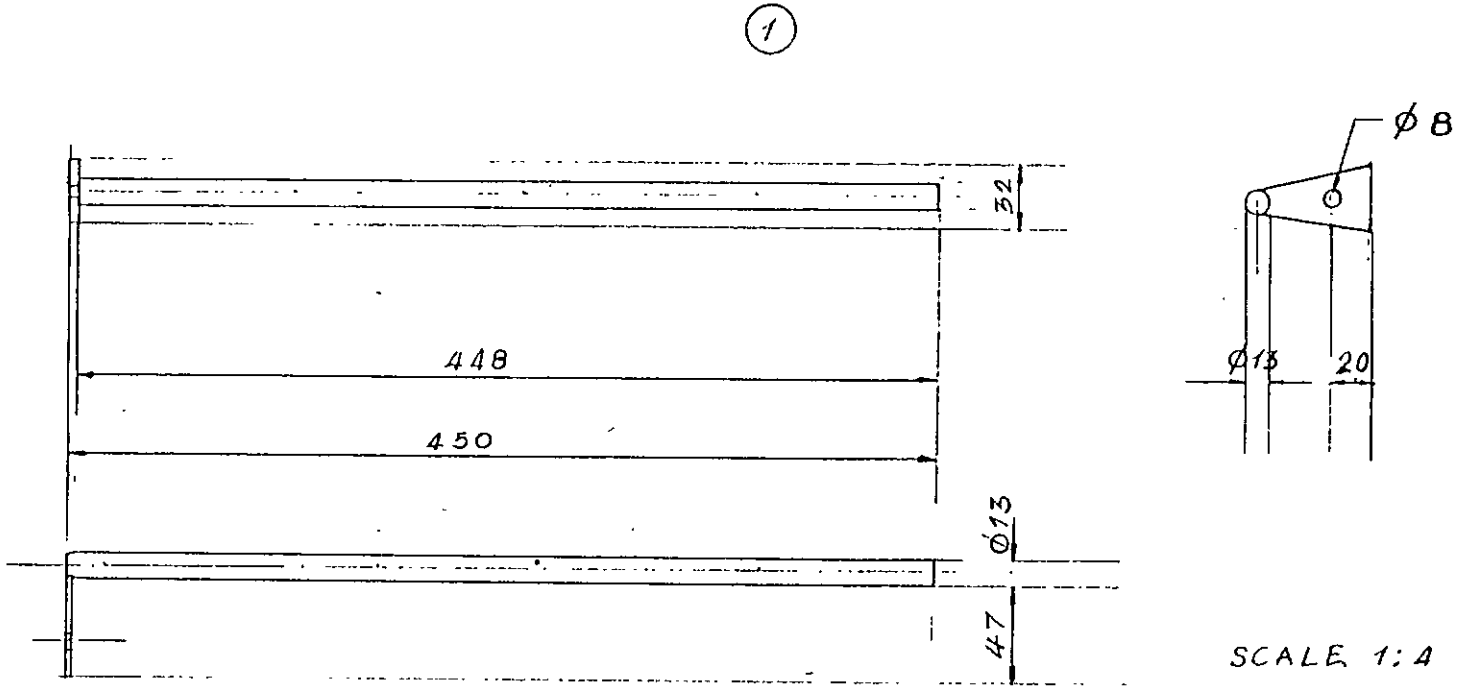
.....

ภาคผนวก ง

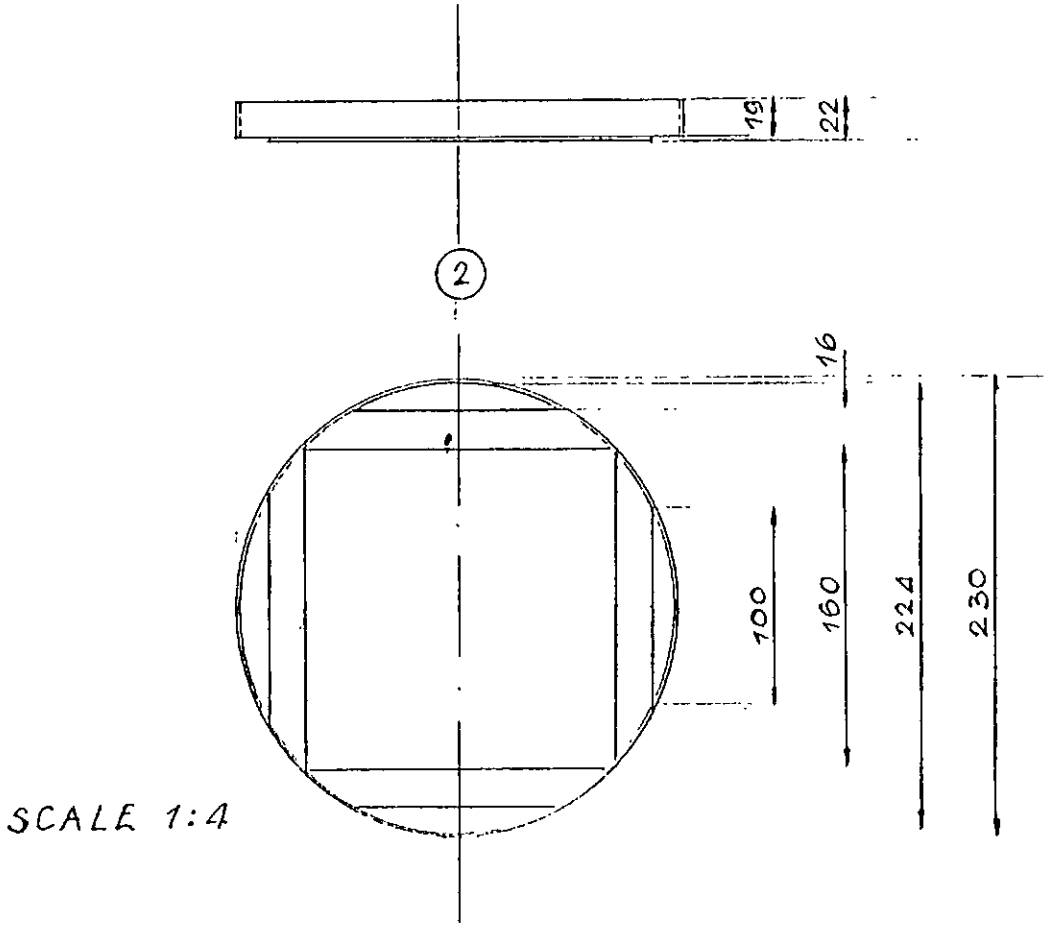
ส่วนประกอบของเตาหลอมละลายโลหะ



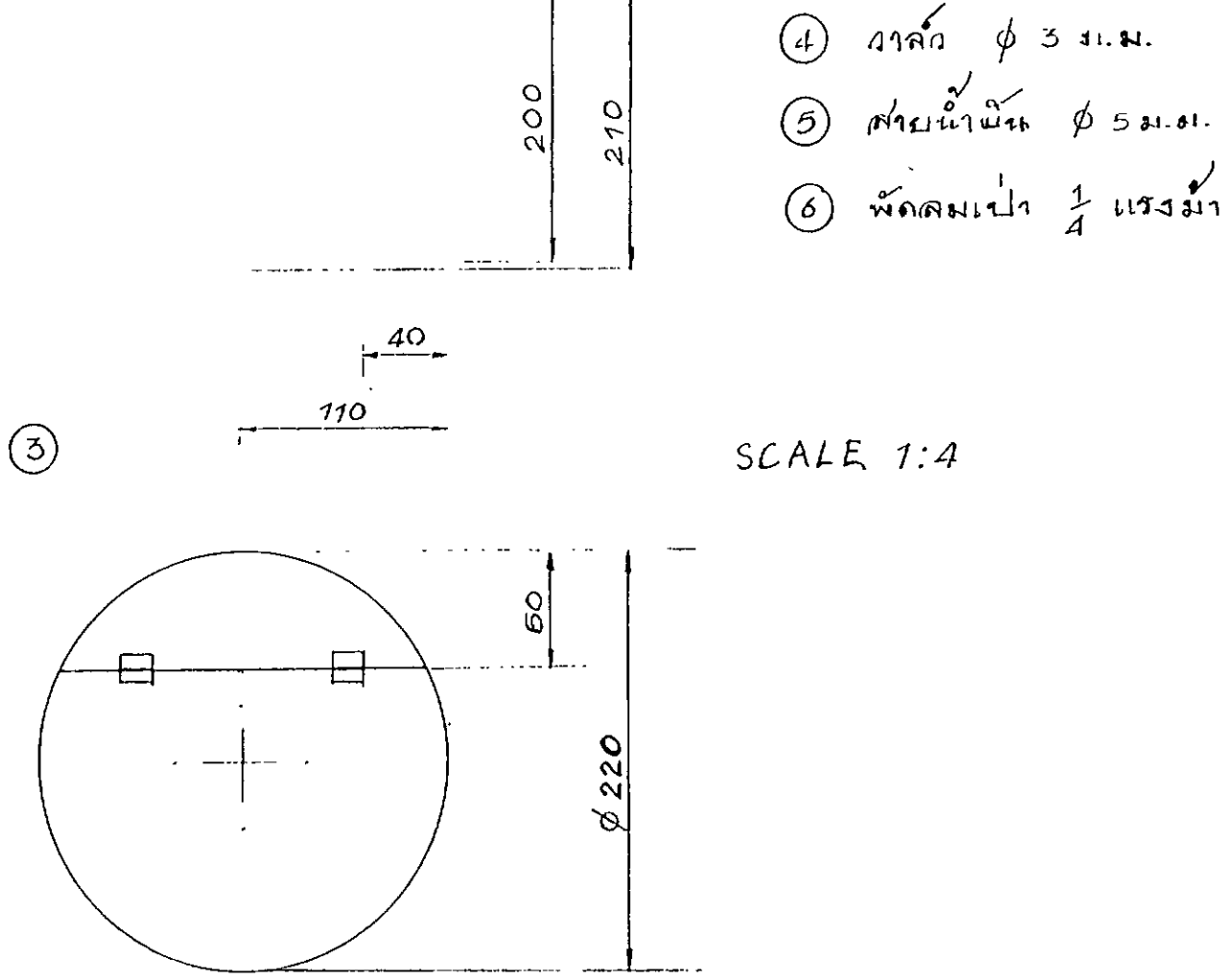
ภาพประกอบ 57 แสดงส่วนประกอบของเตาหลอมละลายโลหะขนาดเล็ก



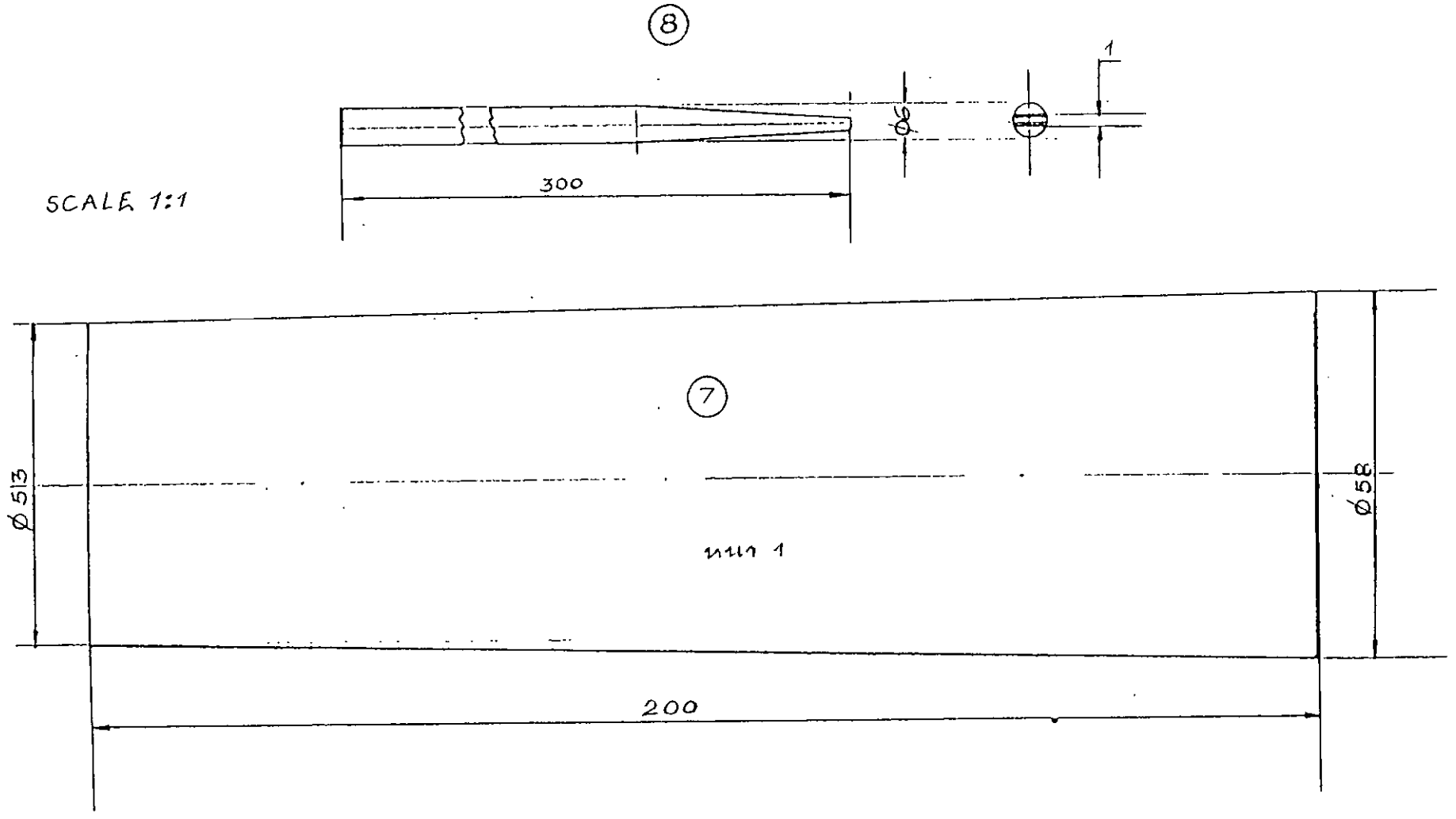
ภาพประกอบ 58 แสดงขนาดของขาตั้งถังน้ำมัน



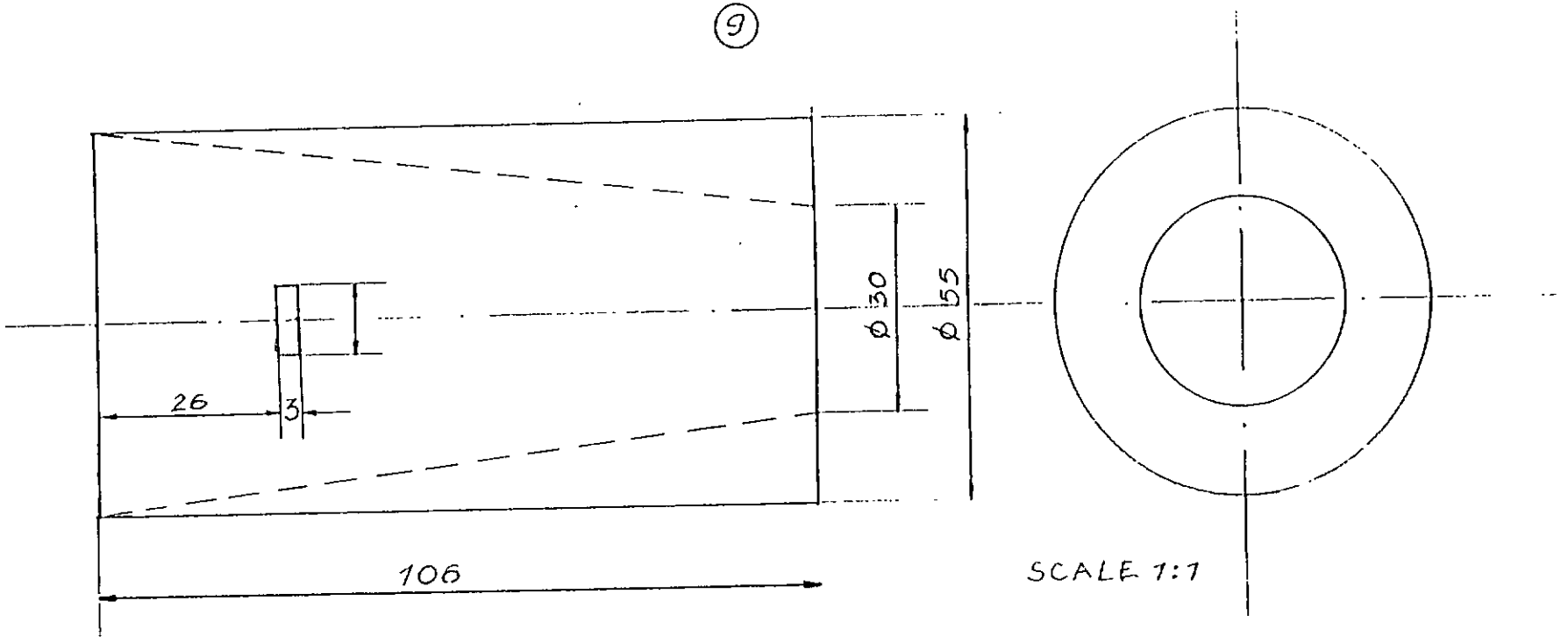
ภาพประกอบ 59 แสดงลักษณะและขนาดของฐานรองรับถังน้ำมัน



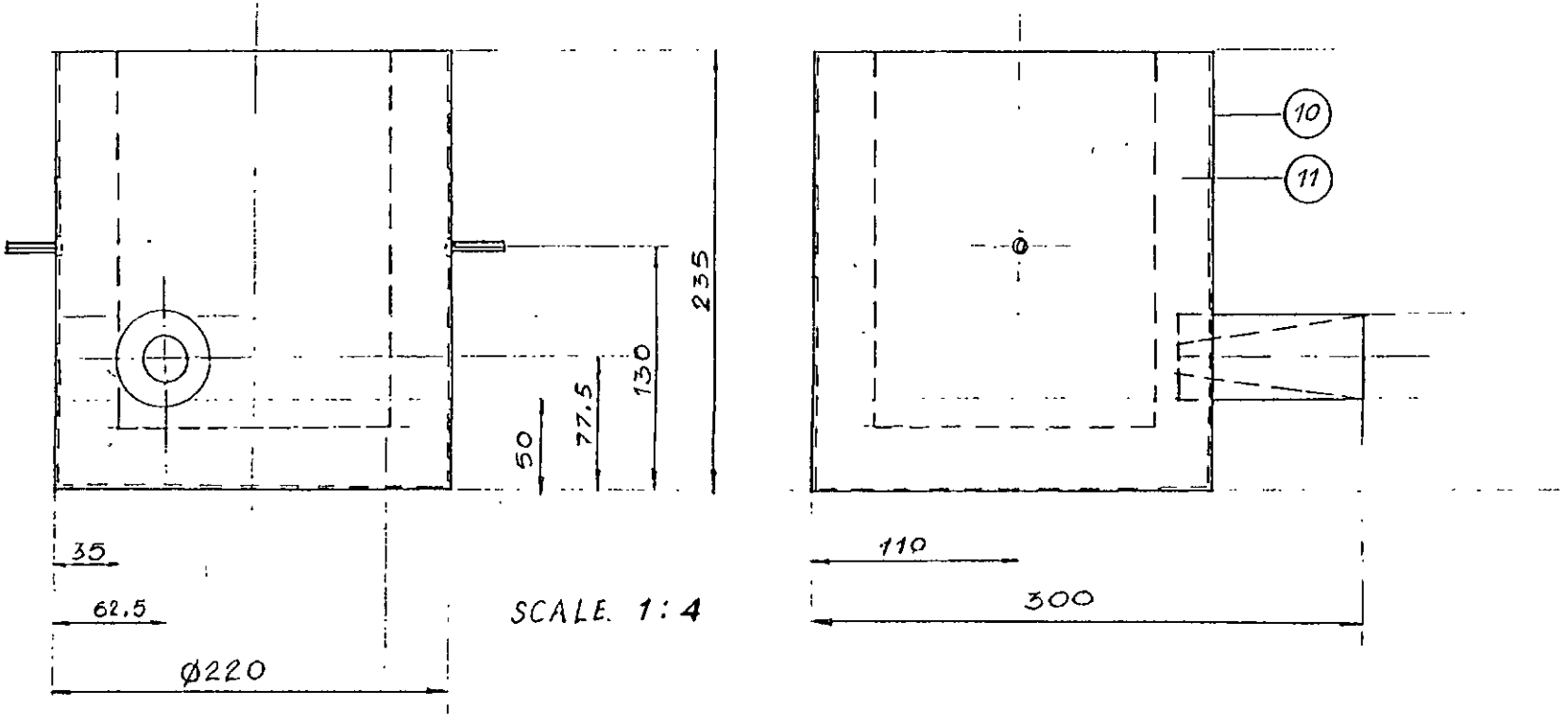
ภาพประกอบ 60 แสดงขนาดของถังน้ำมันและรายละเอียดข้องวาล์วปิด-เปิดน้ำมัน สายส่งน้ำมัน และพัดลมเป่า



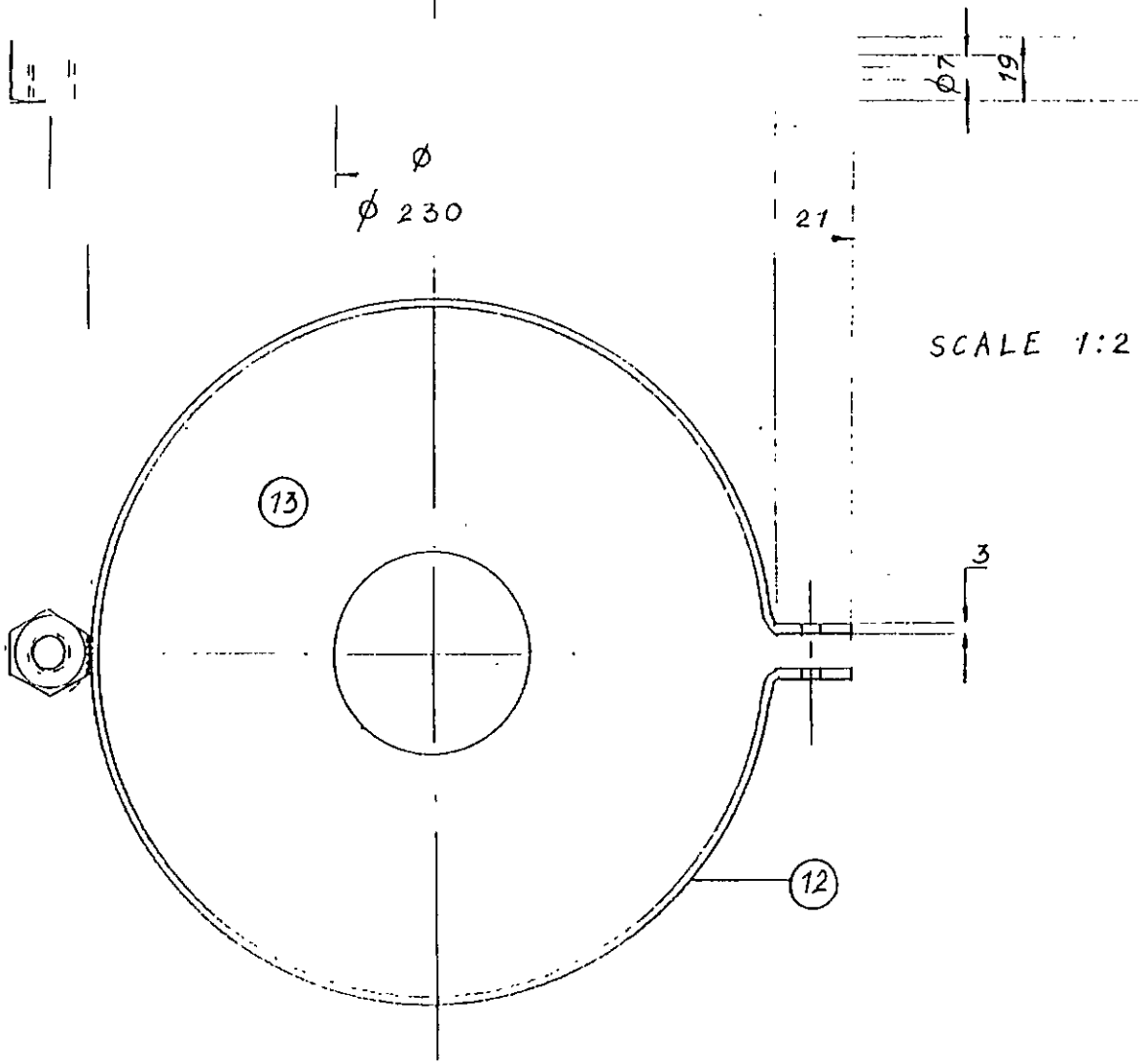
ภาพประกอบ 61 แสดงขนาดของท่อส่งลมส่วนนอกและหัวฉีดน้ำมัน



ภาพประกอบ 62 แสดงขนาดของท่อส่งลมส่วนใน



ภาพประกอบ 63 แสดงขนาดของผนังเตาด้านนอก ผนังเตาด้านใน และการประกอบท่อส่งลมส่วนใน

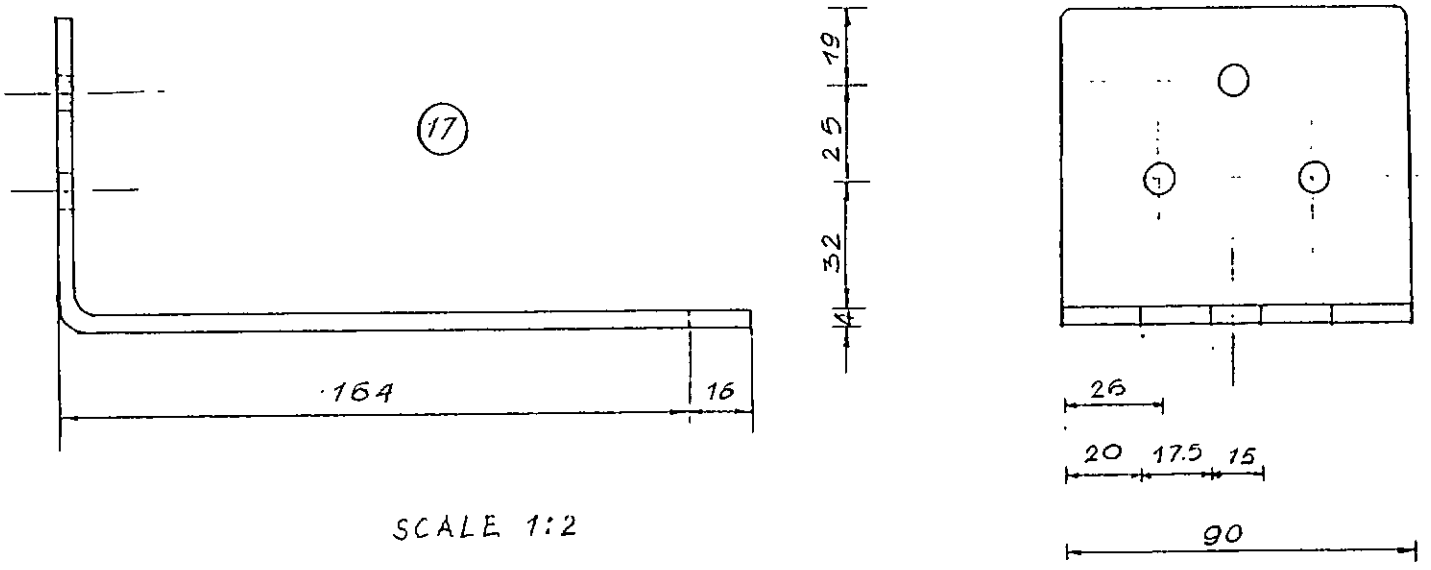


ภาพประกอบ 64 แสดงขนาดของฝาปิดเตา

(14) M16×2

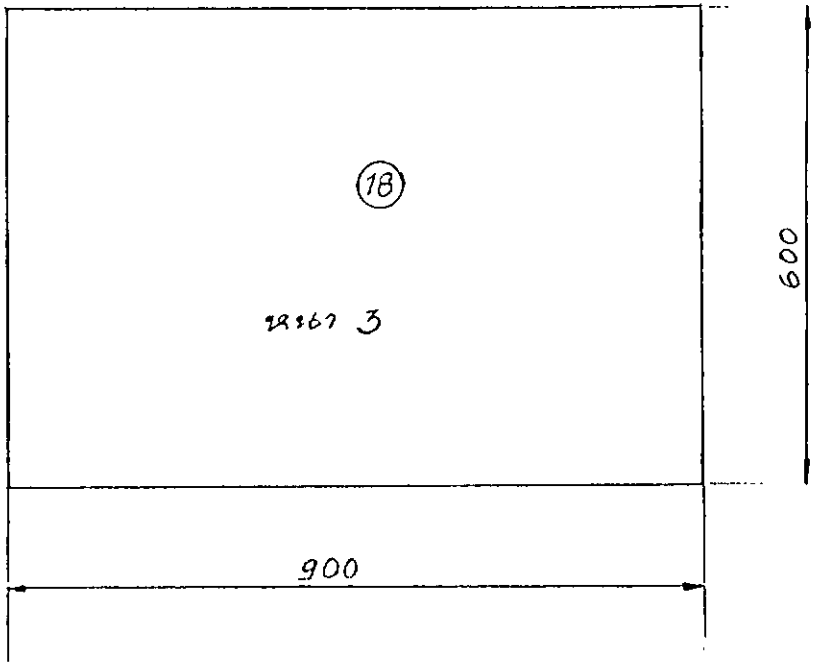
(15) M10×1.25

(16) M6×1



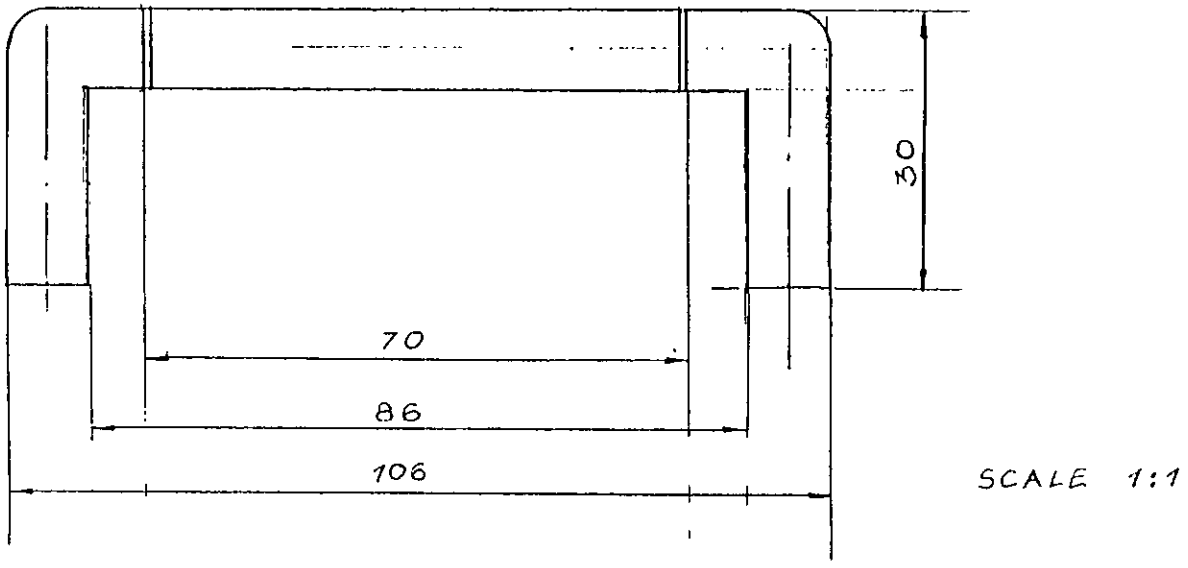
SCALE 1:2

ภาพประกอบ 65 แสดงขนาดของขาตั้งเตาและรายละเอียดของสลักเกลียวและแป้นเกลียว



ภาพประกอบ 66 แสดงขนาดของฐาน

(19) (20) เบ้าหลอมขนาด 1 กิโลกรัม



ภาพประกอบ 67 แสดงขนาดของมือจับและเบ้าหลอม

ภาคผนวก ฉ

หนังสือขอความอนุเคราะห์

ที่ ทม 1007/ [illegible]

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

8 กุมภาพันธ์ 2538

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้จัดการโรงงาน บริษัท เหล็กสยาม

บัณฑิตวิทยาลัย ขอรับรองว่า นายชวลิต เชียงกูล เป็นนิสิตระดับบริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

นิสิตผู้นี้มีความประสงค์จะมาติดต่อขอความสะดวกในการศึกษาค้นคว้า เพื่อทำบริญญานิพนธ์ เรื่อง การสร้างเตาหลอมละลายอลูมิเนียมขนาด 1 กิโลกรัม

ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผศ.พูนเกียรติ ประณมบุตร ประธาน

ดร.อุบวิทย์ สุวคันธกุล กรรมการ

สิ่งที่นิสิตใคร่ขอความอนุเคราะห์ คือ ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะเตาหลอมละลายโลหะขนาด 1 กิโลกรัม

บัณฑิตวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าท่านจะกรุณาให้ความร่วมมือในครั้งนี้ และขอขอบคุณในความช่วยเหลืออนุเคราะห์ใด ๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่นิสิตผู้นี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ศิริยุภา พูลสุวรรณ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 2584119

ที่ ทม 1007/1051

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

8 กุมภาพันธ์ 2538

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้จัดการโรงงาน บริษัท นวโลหะไทย

บัณฑิตวิทยาลัย ขอรับรองว่า นายชวลิต เชียงกูล เป็นนิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

นิสิตผู้นี้มีความประสงค์จะมาติดต่อขอความสะดวกในการศึกษาค้นคว้า เพื่อทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง การสร้างเตาหลอมละลายอลูมิเนียมขนาด 1 กิโลกรัม

ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผศ.พูนเกียรติ ประถมบุตร ประธาน
ดร.อุปวิทย์ สุวดันธกุล กรรมการ

สิ่งที่นิสิตใคร่ขอความอนุเคราะห์ คือ ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะเตาหลอมละลายโลหะขนาด 1 กิโลกรัม

บัณฑิตวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าท่านจะกรุณาให้ความร่วมมือในครั้งนี้ และขอขอบคุณในความช่วยเหลืออนุเคราะห์ใด ๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่นิสิตผู้นี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.สิริยุภา พูลสุวรรณ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 2584119

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นาย ชวลิต เชียงกูล

เกิดวันที่ 28 เดือน มิถุนายน พุทธศักราช 2498

สถานที่เกิด อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 224 ถนนศรีปราชญ์ ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน อาจารย์ 2 ระดับ 6

สถานที่ทำงานปัจจุบัน วิทยาลัยเทคนิคลพบุรี อ.เมือง จ.ลพบุรี

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2514	มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนบ้านหมอ พัฒนานุกูล อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี
พ.ศ.2517	ปวช.ช่างกลโรงงาน จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี จ.นนทบุรี
พ.ศ.2521	ปวส.ช่างกลโลหะ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.นครราชสีมา
พ.ศ.2527	คอ.บ. อุตสาหการ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์ กรุงเทพมหานคร
พ.ศ.2538	กศ.ม. อุตสาหกรรมศึกษา จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กรุงเทพมหานคร