A Research Report

Structure and Properties of Brass casting by Lost-wax casting Processed

Cast study : Bronzeware group, Ban Pa-Ao, Ubon Ratchathani province Thailand

Researchers

Head of Project

Suriya Choksavusdi

Faculty of Engineering Ubonratchathani University

Co-researchers

Apichart Atnasaew

Faculty of Engineering Ubonratchathani University

This Research was Financially Supported from The National Research Council of Thailand

In Fiscal Year, 2544

Research Code ISBN : 974-609-215-4

รายงานการวิจัยเรื่อง	โครงสร้างและคุณสมบัติของทองเหลืองหล่อโดยกรรมวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย กรณีศึกษา : กลุ่มหัตถกรรมหล่อทองเหลืองบ้านปะอาว
หัวหน้าโครงการวิจัย	นายสุริยา โชคสวัสดิ์
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ร่วมโครงการวิจัย	นายอภิชาติ อาจนาเสียว
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีงบประมาณ	2544
งบประมาณที่ได้รับ	183,300.- บาท
คำสำคัญ	Structure and Properties/Brass casting/lost-wax /Pa-Ao village

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของทองเหลือหล่อโดยกรรมวิธีขี้ผึ้งหาย กรณีศึกษาหัตถกรรมหล่อทองเหลืองบ้านปะอาววิธีการศึกษาวิจัยในโครงการนี้ โดยนำวัตถุดิบและงานหล่อมาผ่านการเตรียมโครงสร้างจุลภาคตามกรรมวิธีทางโลหะวิทยา การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีโดยใช้เครื่อง emission spectrometer และการทดสอบความแข็งแบบHRB

ผลของการศึกษาพบว่า วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหลอมหล่อส่วนมาก เป็นเศษข้อต่อ และก๊อกน้ำทองเหลืองและชิ้นส่วนเครื่องยนต์อื่นๆที่มีทองแดงเป็นส่วนผสมหลัก จากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีพบว่ามี ก๊อกน้ำ มี Cu 61.6%, Zn 33.37%, Pb 2.42%, Sn 0.42%, Ni 1.67% Fe 0.33% และ Al 0.035% มีความแข็งประมาณ 41 HRB, กระดิ่งมี Cu 71.84%, Zn 17.10%, Pb 1.81%, Sn 8.27%, Ni 0.27% Fe 0.57%และ Al 0.023% มีความแข็งประมาณ 58.17 HRB, กระพรวนหรือหมากหึ่ง มี Cu 69.79%, Zn 23%, Pb 2.58%, Sn 2.48%, Ni 0.2% Fe 0.42%และ Al 1.43% มีความแข็งประมาณ 52.33 HRB

โครงสร้างจุลภาคของทุกตัวอย่างมีพื้นเป็น α และ β แต่ เฟส ε จะมีในตัวอย่างที่มีธาตุ Sn เป็นส่วนผสม โครงสร้างทั้งหมดจะเป็น dendritic ธาตุอื่นที่พบนอกจาก Cu และ Zn ซึ่งทำให้เกิดเฟสอื่นเพิ่มขึ้นอีกในระบบ คือ Sn,Pb,Al,และ Ni มีผลทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไป จากการศึกษาทำให้ทราบว่า งานหล่อที่ต้องการคุณสมบัติทางเสียงขึ้นกับธาตุเพิ่มพิเศษคือ Sn และลักษณะของโครงสร้างและเกรน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

A Research Report : Structure and Properties of Brass casting by Los-wax casting processed
A cause study of the brass casting of Pa -Ao village, Ubon Ratchathani province
Head of Project : Suriya Choksavusdi
faculty of Engineering Ubonratchathani University
Co-researchers : Apichart Atnaseaw
Faculty of Engineering Ubonratchathani University
In Finance Year : 2544 for 183,300 Bath
Keyword : Structure and Properties/Brass casting/lost-wax /Pa-Ao village

Abstract

This work presents a study of microstructure and mechanical properties of the brass casting (big bell and small bell brass) that were casted by loss-wax casting process, the brass casting of Pa-Ao village Ubon Ratchathani, in order to improve process. Tested by spectrometer, chemical composition of the raw materials that have 41 HRB hardness were Cu 61.6%, Zn 33.37%, Pb 2.42%, Sn 0.42%, Ni 1.67% Fe 0.33% และ Al 0.035% and of the big bell that have 58.17 HRB hardness were Cu 71.84%, Zn 17.10%, Pb 1.81%, Sn 8.27%, Ni 0.27% Fe 0.57% and Al 0.023% and of the small bell that have 52.33 HRB hardness were Cu 69.79%, Zn 23%, Pb 2.58%, Sn 2.48%, Ni 0.2% Fe 0.42% and Al 1.43%. The big bell and small bell were similar to same dendritic structure, consisting of α, β and ε phase. The ε phase and voice quality of the bell were found to be greatly affected by amount of Sn in composition.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติที่ให้ความเห็นชอบในการอนุมัติโครงการ และจัดสรรเงินงบประมาณของแผ่นดินให้แก่ข้าพเจ้าและคณะได้มีโอกาสทำงานวิจัยชิ้นนี้ และงานวิจัยจะสำเร็จลงได้ ต้องขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ใช้สถานที่ในการปฏิบัติการทดลองและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ขอขอบคุณนักศึกษาผู้ช่วยวิจัย ที่ช่วยในการดำเนินงานทดลอง คุณอภิชาติ แสนชัย คุณเกรียงศักดิ์ บุญส่ง ครูประจำห้องปฏิบัติการหล่อโลหะ ที่ช่วยเหลืองานวิจัยตั้งแต่เริ่มโครงการ จนสิ้นสุด และ ที่สำคัญที่สุดคือสมาชิกกลุ่มหัตถกรรมหล่อทองเหลือง ผู้นำชุมชนบ้านปะอาวทุกๆท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่ง มีส่วนในการทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลงได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ จึงขอขอบพระคุณทุกๆมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

26 พฤษภาคม 2547

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	3
2.2 ประวัติบ้านปะอาว	4
2.3 การทำหัตถกรรมหล่อทองเหลืองในยุคปัจจุบัน	4
2.4 การศึกษากระบวนการผลิต	5
2.5 โลหะวิทยาของโลหะผสมของทองแดง	19
2.6 การหลอมหล่อโลหะตระกูลทองแดง	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	28
3.1 การศึกษาผลิตภัณฑ์ทองเหลืองและสำริด	28
3.1.1 ศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนการทำหัตถกรรมทองเหลือง	28
3.1.2 ศึกษาโครงสร้างจุลภาค	28
3.1.3 ศึกษาคุณสมบัติทางกล	29
3.2 ศึกษาคุณลักษณะของ ขี้ผึ้ง ขี้สูด และ ขี้ซี	30
3.2.1 ศึกษาสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	30
3.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินจอมปลวก	30
3.2.3 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของดินจอมปลวกผสมมูลวัว	31
3.2.4 การทดสอบความแข็งแรงของดินทำแบบ	31
3.2.5 การทดสอบความแข็งที่ผิวของแบบหล่อ	33
3.2.6 การทดสอบหาขนาดความละเอียดของทราย	34
3.2.7 การทดสอบหาอัตราลมผ่าน	38
3.2.8 การวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมีของทองเหลืองและสำริด	40
บทที่ 4 ผลการวิจัย	42
4.1 ศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนการทำหัตถกรรมทองเหลือง	42
4.1.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิต	42

4.2 ศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทองเหลืองและสำริดหล่อ 44
4.3 การทดสอบความแข็ง 44
4.4 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของทองเหลืองและสำริด 44
4.5 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกลของดินจอมปลวก ขี้ผึ้ง ขี้สูด และ ขี้ซี 58
4.5.1 ขี้ผึ้ง 58
4.5.2 ขี้ซี หรือ ชันณรงค์ 58
4.5.3 ซำมะโรง หรือขี้สูด 58
4.6 ความความแข็งแรงและความโปรงของดินจอมปลวกผสมมูลวัว 60
4.7 การทดสอบหาปริมาณความชื้น 63
4.8 การทดสอบหาความแข็งของแบบหล่อ 64
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผล 66
5.1 วิจารณ์ผลการวิจัย 66
5.1.1 การวิเคราะห์ผลของวัสดุที่นำมาหลอมหล่อ 66
5.1.2 การวิเคราะห์ผลของงานหล่อ 66
5.2 สรุปผลการวิจัย 67
บรรณานุกรม 68
ประวัตินักวิจัย 69

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะผสมทองแดงกับสังกะสี 25
ตารางที่ 2.2 อุณภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิเทของโลหะผสมบรอนซ์ 26
ตารางที่ 3.1 ค่าความแข็งผิวของแบบทรายหล่อทั่วไป 33
ตารางที่ 4.1 ปริมาณธาตุต่างๆในโลหะทองเหลืองและสำริดหล่อ 44
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความแข็งของโลหะที่ใช้หล่อและงานหล่อทองเหลือง 44
ตารางที่ 4.3 ส่วนประกอบของดินจอมปลวก 59
ตารางที่ 4.4 ความชื้นในดินจอมปลวกและมูลวัว 59
ตารางที่ 4.5 การกระจายตัวของขนาดของดินจอมปลวกและมูลวัว 59
ตารางที่ 4.6 การทดสอบความแข็งแรง และความโปร่ง 63
ตารางที่ 4.7 การทดสอบหาปริมาณความชื้น 64
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความแข็งดินจอมปลวกผสมแกลบ 64
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบความแข็งดินจอมปลวกผสมมูลวัว 65
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความแข็งดินเหนียวผสมแกลบ 65
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบความแข็งของดินจอมปลวก 65

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของมอนน้อย 6
รูปที่ 2.2 การกลึงแต่งหุ่นขี้ผึ้ง 7
รูปที่ 2.3 บั้งเดียก 7
รูปที่ 2.4 ลูกกลิ้งพิมพ์ลาย 8
รูปที่ 2.5 ขี้ผึ้งและส่วนผสม 8
รูปที่ 2.6 เตาและกระทะต้อมหลอมขี้ผึ้ง 9
รูปที่ 2.7 เบ้าหลอมทองเหลือง 9
รูปที่ 2.8 การตำดินโพนหรือดินจอมปลวก 10
รูปที่ 2.9 การปั้นหุ่นดิน 10
รูปที่ 2.10 การเสียบไม้มอนเข้ากับหุ่นดิน 11
รูปที่ 2.11 การเสี่ยนพิมพ์ดิน 11
รูปที่ 2.12 การเคียนขี้ผึ้ง 12
รูปที่ 2.13 การบีบขี้ผึ้งให้เรียบสม่ำเสมอกัน 12
รูปที่ 2.14 การเสี่ยนหรือกลึงแต่งขี้ผึ้ง 13
รูปที่ 2.15 การพิมพ์ลาย 13
รูปที่ 2.16 การติดชนวนเพื่อทำเป็นรูเททองเหลืองให้น้ำโลหะไหลเข้าเบ้า 14
รูปที่ 2.17 การโอบเพชร 14
รูปที่ 2.18 การเตรียมดินโอบเบ้า 15
รูปที่ 2.19 การนำเบ้าที่โอบดินแล้วไปตากแดดให้แห้ง 15
รูปที่ 2.20 นำเบ้าที่ตากแดดแล้วมาสุมหรือเผาให้ร้อนด้วยฟืน 16
รูปที่ 2.21 นำเศษทองเหลืองใส่ในเบ้าหลอมจนหลอมเหลว 16
รูปที่ 2.22 การเทหล่อทองเมื่อโลหะหลอมเหลว 17
รูปที่ 2.23 การแกะแบบโดยทุบด้วยค้อนให้แบบแตก 17
รูปที่ 2.24 งานหล่อที่ยังไม่เสี่ยน 18
รูปที่ 2.25 การเสี่ยนหรือกลึงแต่งให้ผิวงานเรียบเงางามตามต้องการ 18
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างงานหล่อทองเหลืองที่ทำการเสี่ยนตกแต่งเสร็จแล้ว 18
รูปที่ 2.27 เฟสไดอะแกรมของทองเหลือง(โลหะผสมทองแดงกับสังกะสี) 20
รูปที่ 2.28 เฟสไดอะแกรมของสำริด(โลหะทองแดงกับดีบุก) 21
รูปที่ 2.29 เฟสไดอะแกรมของสำริดของโลหะผสมทองแดง-ดีบุก-สังกะสี 21

(ต่อ)

รูปที่ 3.1 เครื่องตัดเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค 28
รูปที่ 3.2 เครื่องขัดเตรียมผิวโลหะ 29
รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์ภาพ Image Analysis 29
รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบความแข็ง 30
รูปที่ 3.5 เครื่อง XRF วิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมี 31
รูปที่ 3.6 ตู้อบไล่ความชื้นของทรายหล่อ 31
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ชุด specimen-tube และตาชั่งดิจิตอล 32
รูปที่ 3.8 เครื่อง Standard sand rammer 32
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็งแรงอเนกประสงค์ 33
รูปที่ 3.10 เครื่อง Vibratory sieve shaker 35
รูปที่ 3.11 ตาชั่งดิจิตอล พร้อมภาชนะใส่ดินตัวอย่างสำหรับชั่งน้ำหนัก 35
รูปที่ 3.12 แผงควบคุมและปรับตั้งการทำงานของเครื่อง Sieve Shaker 36
รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบอัตราการซึมผ่านหรือความโปร่ง 40
รูปที่ 3.14 เครื่องวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมี Spectrometer 41
รูปที่ 4.1 เศษโลหะประเภททองเหลืองที่นำมาใช้ในการหลอมหล่อ 45
รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาคของก๊อกน้ำทองเหลืองกำลังขยาย 50 เท่า 45
รูปที่ 4.3 โครงสร้างจุลภาคของก๊อกน้ำทองเหลืองกำลังขยาย 100 เท่า 46
รูปที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคของก๊อกน้ำทองเหลืองกำลังขยาย 1000 เท่า 46
รูปที่ 4.5 โครงสร้างจุลภาคของข้อต่อทองเหลืองกำลังขยาย 50 เท่า 47
รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของข้อต่อทองเหลืองกำลังขยาย 100 เท่า 47
รูปที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาคของข้อต่อทองเหลืองกำลังขยาย 200 เท่า 48
รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาคของข้อต่อทองเหลืองกำลังขยาย 500 เท่า 48
รูปที่ 4.9 โครงสร้างจุลภาคของข้อต่อทองเหลืองกำลังขยาย 1000 เท่า 49
รูปที่ 4.10 ชุดเซี่ยนหมาก 49
รูปที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคของผอบทองเหลืองกำลังขยาย 50 เท่า 50
รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของผอบทองเหลืองกำลังขยาย 100 เท่า 50
รูปที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคของผอบทองเหลืองกำลังขยาย 200 เท่า 51
รูปที่ 4.14 โครงสร้างจุลภาคของผอบทองเหลืองกำลังขยาย 1000 เท่า 51
รูปที่ 4.15 งานหล่อกระดิ่งสำริด 52
รูปที่ 4.16 โครงสร้างจุลภาคของกระดิ่งสำริดกำลังขยาย 50 เท่า 52
รูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคของกระดิ่งสำริดกำลังขยาย 100 เท่า 53
รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของกระดิ่งสำริดกำลังขยาย 200 เท่า 53

รูปที่ 4.19 โครงสร้างจุลภาคของกระดิ่งสำริดกำลังขยาย 500 เท่า 54
รูปที่ 4.20 โครงสร้างจุลภาคของกระดิ่งสำริดกำลังขยาย 1000 เท่า 54
รูปที่ 4.21 หมากหิ่งหรือกระพรวนสำริด 55
รูปที่ 4.22 โครงสร้างจุลภาคของกระพรวนสำริดกำลังขยาย 50 เท่า 55
รูปที่ 4.23 โครงสร้างจุลภาคของกระพรวนสำริดกำลังขยาย 100 เท่า 56
รูปที่ 4.24 โครงสร้างจุลภาคของกระพรวนสำริดกำลังขยาย 200 เท่า 56
รูปที่ 4.25 โครงสร้างจุลภาคของกระพรวนสำริดกำลังขยาย 500 เท่า 57
รูปที่ 4.26 โครงสร้างจุลภาคของกระพรวนสำริดกำลังขยาย 1000 เท่า 57
รูปที่ 4.27 ดินจอมปลวกและมูลวัวที่นำมาผสมทำหุ่นหล่อ 60
รูปที่ 4.28 ชั่งน้ำหนักดินจอมปลวกเพื่อผสมเข้ากันดีกับมูลวัว 61
รูปที่ 4.29 นำดินผสมที่ได้มาอัดเป็นแท่งตัวอย่างมาตรฐาน 61
รูปที่ 4.30 นำแท่งตัวอย่างที่ได้ขนาดมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง 61
รูปที่ 4.31 ตัวอย่างที่อัดเป็นแท่งรอการนำไปทดสอบความแข็งแรง 62
รูปที่ 4.32 การทดสอบความต้านทานแรงอัด 62
รูปที่ 4.33 แท่งตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบจะถูกอัดจนแตกและอ่านค่าที่วัดได้ 62

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

กรรมวิธีการหล่อทองเหลืองโดยวิธีการการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย (Lost-wax casting) เป็นกรรมวิธี ที่ดำเนินมาตั้งแต่สมัยโบราณในยุคก่อนประวัติศาสตร์ โดยในยุคแรกๆนำมาใช้กับโลหะตระกูลทองแดงซึ่งรู้จักในนามสำริด ตามหลักฐานที่ขุดค้นพบงานสำริดหล่อหลายๆแห่งในประเทศไทย ซึ่งมีอายุเก่าแก่มากอยู่ในช่วงประมาณ 3,000 – 4,500 ปีผ่านมาแล้วและในประเทศกรีซและจีนได้นำเอาวิธีการผลิตแบบนี้มาใช้ราวประมาณ 2,000 ปีผ่านมาแล้วส่วนมากจะนำมาทำเครื่องประดับ

เนื่องจากกรรมวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย เป็นกรรมวิธีแบบโบราณ ที่มีประวัติความเป็นมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์เป็นเวลายาวนานหลายพันปีมาแล้ว ปัจจุบันนับการผลิตโดยวิธีโบราณมีเหลือน้อยมาก ในประเทศไทยยังคงเหลือเพียงแห่งเดียวเท่านั้น คือที่ชุมชนบ้านปะอาว ซึ่งถือได้ว่าเป็นชุมชนที่มีส่วนทำคุณประโยชน์ให้แก่แผ่นดินที่ยังคงสืบสานมรดกทางวัฒนธรรมที่มีคุณค่ายิ่งนี้ไว้ สถาบันการศึกษามีหน้าที่ในการเข้าไปศึกษาวิจัยเพื่อแก้ปัญหาอุปสรรคที่มีอยู่ เพื่อป้องกันแก้ไข ให้กลุ่มหัตถกรรมสามารถสืบสานงานหัตถกรรมวิธีโบราณให้คงอยู่สืบไปให้เป็นแหล่งเรียนรู้แก่ชนรุ่นหลัง นับวันที่จะหาดูได้ยากยิ่งในปัจจุบัน

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเป็นการประยุกต์เอาวิทยาการด้านโลหะวิทยามาใช้ในการศึกษาหาข้อมูลที่ยังเป็นปริศนาที่ยังคงต้องการคำตอบ สามารถนำเอาผลการวิจัยนี้ไปเผยแพร่และอ้างอิงได้ และวิธีการศึกษาเป็นการวิจัยร่วมกันระหว่างทีมนักวิจัยกับสมาชิกกลุ่มหัตถกรรมหล่อทองเหลืองบ้านปะอาว โดยใช้ศูนย์หัตถกรรมเป็นสถานที่ทดลองศึกษาวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อให้ได้ข้อมูลโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของทองเหลืองหล่อที่ผลิตโดย
กรรมวิธีขี้ผึ้งหาย ซึ่งเป็นกรรมวิธีแบบโบราณ ที่มีเทคนิควิธีที่เป็นลักษณะเฉพาะที่สืบทอดกันมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ จนถึงปัจจุบัน

1.2.2 เพื่อศึกษาวิเคราะห์กระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาและอุปสรรคของผู้ผลิตที่ส่งผลต่อคุณภาพและต้นทุนการผลิต

1.3.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทำให้มีข้อมูลทางโลหะวิทยาที่มีรายละเอียดลงในแนวลึกมากยิ่งขึ้น สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาอ้างอิงทางวิชาการได้ เพื่อเป็นแนวทางในการนำมาประกอบการศึกษาวิธีสมัยใหม่ในยุคปัจจุบัน

1.3.2 เป็นการส่งเสริมและสนับสนุนกรรมวิธีการหล่อทองเหลืองแบบโบราณที่เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่น ที่ถือกำเนิดขึ้นมาบนผืนแผ่นดินสยามสืบทอดกันมาหลายพันปี ให้เป็นมรดกทางวัฒนธรรม ส่งทอดสู่คนรุ่นหลัง อยู่คู่แผ่นดินสยามยิ่งยืนนานสืบไป

1.3.3 คณะผู้วิจัยได้นำเอาวิชาการสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาให้แก่ชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงมหาวิทยาลัย ถือเป็นพันธะกิจด้านการบริการวิชาการอีกทางหนึ่ง เป็นไปตามแนวนโยบายของรัฐและสอดคล้องกับรัฐธรรมนูญด้านการศึกษา

1.3.4 ทำให้คณะผู้วิจัยได้มีประสบการณ์การวิจัย ที่เป็นลักษณะการวิจัยร่วมกับชุมชน และเป็นแนวทางในการนำมาประกอบการพิจารณาเพื่อนำไปสู่การกำหนดโจทย์วิจัยในกรณีอื่นๆที่มีลักษณะใกล้เคียงกันนี้ได้อีกทางหนึ่ง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติด้านต่างๆตามหลักวิชาการด้านโลหะวิทยา ของโลหะงานหล่อและวัสดุอื่นๆที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น เศษทองเหลือง ขี้ผึ้งและดินจอมปลวกเป็นต้น

1.4.2 ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.4.3 วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการวิจัย

1.4.4 สรุปและเสนอแนะ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. 1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นต่อไปนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นเอกสารและผลงานวิจัย รวมทั้งคำบอกเล่าของ สมาชิกกลุ่มหัตถกรรมบ้านปะอาว จากการสืบค้นข้อมูล พอที่จะเป็นหลักฐานอ้างอิงประวัติศาสตร์ สามารถบอกเล่าถึงความเป็นมาเกี่ยวกับการทำเครื่องทองเหลืองตั้งแต่อดีต จนถึงปัจจุบัน เพื่อนำมายืนยันข้อมูลด้านการทำเครื่องทองเหลืองบ้านปะอาว และได้ปรากฏหลักฐานทางเอกสาร และวัตถุ จากการศึกษาและรวบรวมไว้มาก่อนของนักวิชาการหลายท่าน และข้อมูลที่สำคัญบอกให้เรารู้ว่าการทำเครื่องทองเหลืองในสมัยโบราณเป็นทองสำริด (ไม่ใช่ทองเหลือง ซึ่งเกิดจากการผสม ทองแดง กับสังกะสี โดยมีทองแดงประมาณ 65 ถึง 70 %) ซึ่งประกอบด้วยโลหะสองชนิดหลอมผสมเข้าด้วยกัน ด้วยสัดส่วนผสม คือ ทองแดงประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ และ ดีบุกประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งบางชนิดพบว่ามีตะกั่วผสมลงไปด้วย ซึ่งเป็นเหตุผลทางวิชาการด้านโลหะวิทยา คือตะกั่วมีผลทำให้โลหะสำริดหลอมเหลวได้ง่าย ลดความหนืดของน้ำโลหะลง ทำให้โลหะไหลเข้าไปในแบบพิมพ์ได้ง่าย จากหลักฐานที่ปรากฏและขุดค้นพบเครื่องสำริด ในประเทศไทย คือ ที่บ้านเชียง อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี และ บ้านโนนนกทา อำเภอ ภูเวียง จังหวัดขอนแก่น และที่บ้านก้านเหลือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี แต่ละแห่งมีอายุประมาณไม่ต่ำกว่า 3,500 ถึง 4,000 ปีผ่านมาแล้ว[1][6]

ในต่างประเทศจากเอกสารที่ผู้เขียนพอที่จะหามาได้ ได้ระบุไว้ว่ากรรมวิธีที่ใช้ในการหล่อสำริด คือกรรมวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย (Lost wax casting process)[2][3] ซึ่งชาวกรีซหรือจีนสมัยโบราณได้มีการทำด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบนี้ เมื่อประมาณมากกว่า 2,000 ปีผ่านมาแล้ว และ ได้แผ่ขยายออกไปตามชนชาว แอสเท็ค ซึ่งเป็นชนพื้นเมืองที่อาศัยอยู่ในเม็กซิโก ก่อนโคลัมบัสไปอเมริกา และได้แผ่ขยายสู่ชาวอินเดียนแดงเผ่ามายา ในอเมริกากลาง และอเมริกาใต้

กรรมวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย เริ่มต้นจากการปั้นขึ้นรูปหุ่นดินเหนียว คล้ายกับงานจริงที่เราต้องการ แล้วห่อหุ้มด้วยขี้ผึ้งและมีการแกะแต่งขี้ผึ้งให้มีลวดลายและขนาด ใกล้เคียงของจริงตามที่เราต้องการมากที่สุด ก่อนนำไปพอกหุ้มด้วยดินเหนียวอีกครั้งหนึ่ง แล้วนำไปเผาในเตาเพื่อไล่ขี้ผึ้งให้ละลายออกมาให้หมด ก็จะได้แบบหล่อดินที่มีโพรงว่างเนื่องจากขี้ผึ้งละลายออก และมีลวดลายของขี้ผึ้งติดอยู่ที่ผิวดินด้านใน จากนั้นจึงนำทองเหลืองหรือสำริด ที่ต้มหลอมเหลวให้อุณหภูมิได้ที่ เทเข้าไปแทนที่ว่างของขี้ผึ้งจนเต็มแบบ ปล่อยให้โลหะแข็งตัวดีแล้ว จึงทุบเปลือกดินที่หุ้มอยู่ออกให้หมด นำเอาชิ้นงานหล่อที่ได้มาขัดแต่งให้เรียบร้อยก่อนนำไปใช้งานต่อไป จึงเรียกกรรมวิธีนี้ว่า **" การหล่อแบบขี้ผึ้งหาย หรือ Lost Wax Casting Processes"**

ปัจจุบันกรรมวิธีการหล่อแบบโบราณได้มีการพัฒนาการด้านต่างๆอย่างต่อเนื่องมาตามลำดับ เพื่อให้ได้คุณภาพที่เหมาะสมกับความต้องการในการนำไปใช้งานในลักษณะต่างๆที่แตกต่างกันไป ผลงานที่ยังคงใช้วิธีนี้ผลิตที่พบเห็นอยู่ในปัจจุบัน เช่น หัวไม้ตีกอล์ฟ พระพุทธรูปทองเหลือง ชิ้นส่วนเครื่องมือแพทย์ ชิ้นส่วนขาเทียม ชิ้นส่วนเครื่องยนต์กังหันไอน้ำ เป็นต้น เหล่านี้ล้วนแต่อาศัยหลักการของรากฐานแห่งภูมิปัญญา ของบรรพบุรุษที่ได้สั่งสมไว้ และมีการสืบสานกันมาจากอดีต จนถึงปัจจุบัน

2.2 ประวัติบ้านปะอาว

บ้านปะอาว ปัจจุบันยกฐานะเป็นตำบลปะอาว อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี (เดิมตั้งอยู่ในเขตตำบลหนองขอน) ไปตามเส้นทางหลวงหมายเลข 23 (อุบลฯ-เขื่องใน-ยโสธร) ประมาณ 17 กิโลเมตร และแยกจากทางหลวงหมายเลข 23 เข้าไปในหมู่บ้านเป็นระยะทาง 3 กิโลเมตร

บ้านปะอาว มีประวัติความเป็นมาอย่างไร ไม่มีใครบันทึกไว้เป็นหลักฐานที่ชัดเจน เพียงแต่เป็นตำนานเล่าขานสืบต่อกันมาตั้งแต่รุ่น ปู่ ย่า ตา ทวด เล่าให้ฟังว่า บรรพบุรุษของบ้านปะอาวอพยพมาจากเวียงจันทร์(สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว) เนื่องจากเกิดกบฏกลางเมือง พระวอ – พระตา ซึ่งเป็นผู้นำไพร่พลกลุ่มหนึ่ง อพยพข้ามลำน้ำโขงมาตั้งถิ่นฐานอยู่ที่หนองบัวลำภู (ปัจจุบันเป็นจังหวัดหนองบัวลำภู) แต่ไม่นานก็ถูกกองทัพข้าศึกตามมาตีถึงเมืองหนองบัวลำภู พระตาถูกข้าศึกฆ่าตาย พระวอจึงได้รวบรวมไพร่พลอพยพหนีข้าศึกลัดเลาะเลียบตามฝั่งโขงลงมาจนถึงบริเวณดอนมดแดง หรือดงอู่ผึ้งติดฝั่งลำน้ำมูล จึงได้พากันปลูกหลักปักฐาน สร้างบ้านแปลงเมืองและเป็นเมืองอุบลฯจนถึงทุกวันนี้

ท่านขุนใหญ่ ขุนน้อย และไพร่พล ต่างก็แยกย้ายกันเลือกหาทำเลที่เหมาะสม ตั้งเป็นหมู่บ้านตามความพอใจ มีพี่น้องสองคนได้พาหมู่ญาติมาถึงทำเลแห่งหนึ่งซึ่งมีความเหมาะสมแก่การตั้งเป็นหมู่บ้านเพื่อการอาศัยและทำมาหากินเป็นอย่างยิ่ง คือ ทางทิศเหนือมีหนองบัวใหญ่ ทางทิศใต้มีหนองบึง ทางทิศตะวันออกเป็นที่ราบ ทางทิศตะวันตกมีหนองบัวน้อย ดังนั้น ผู้เป็นน้องจึงได้พาสมัครพรรคพวกส่วนหนึ่ง ตั้งหลักปักฐานสร้างหมู่บ้านขึ้นมา คือ "บ้านปะอาว" ในปัจจุบัน (คำว่า ปะอาว เพี้ยนมาจาก คำว่า ป้าอาว คำว่า ป้า หมายถึง ละไว้ ทิ้งไว้ ส่วนคำว่า อาว หมายถึง อา คือ น้องชาย ดังนั้น บ้านปะอาว ก็คือ บ้านที่ผู้เป็นพี่ละทิ้งผู้เป็นน้องชาย) ส่วนผู้เป็นพี่ได้พาสมัครพรรคพวกอีกส่วนหนึ่งอพยพขึ้นไปทางเหนือและพบทำเลที่เหมาะเหมือนกับบ้านของน้องชาย จึงได้ตั้งหลักฐานขึ้นเป็น บ้านโพนเมือง ต.หนองเหล่า อ.ม่วงสามสิบ จ.อุบลฯในปัจจุบัน [4][คู่มือทำวัตร วัดเรียบปะอาวใต้]

2.3 การทำหัตถกรรมหล่อทองเหลืองในยุคปัจจุบัน

ปัจจุบันมีเพียงชุมชนบ้านปะอาวที่ยังคงสืบสานมรดก การทำหัตถกรรมหล่อทองเหลืองโดยวิธีโบราณเอาไว้ ยังไม่มีรายงานปรากฏว่ามีการทำการผลิตโดยวิธีเดียวกันกับที่บ้านปะอาวที่ใดบ้าง ทั้งในและต่างประเทศ ในขณะนี้คงมีไม่กี่แห่งในโลกที่ยังคงกรรมวิธีการผลิตแบบโบราณนี้

อยู่ และ หนึ่งในนั้นก็คือ ประเทศไทย และโดยชุมชนบ้านปะอาว และทุกวันนี้มีผู้คนรู้จักเครื่องทองเหลืองบ้านปะอาวมากขึ้นในหมู่คนที่สนใจ และนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและต่างประเทศ มีผู้คนแวะเวียนไปเยี่ยมชมเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ที่แวะเวียนผ่านไปมา เพื่อทัศนาหาความรู้ ด้วยความตั้งใจที่แน่วแน่ของชุมชนบ้านปะอาว และกลุ่มหัตถกรรมเล็กๆกลุ่มหนึ่งที่ร่วมกันสร้างสรรค์งานหัตถกรรม ออกมาสู่สายตาผู้มาเยือนอยู่ทุกๆวันมิขาด เสมือนหนึ่งคือภารกิจและหน้าที่ ที่ต้องรับผิดชอบ อันเป็นการตอบแทนต่อแผ่นดินเกิด และบรรพบุรุษผู้ถ่ายทอดวิทยาการอันล้ำค่านี้ให้แก่ตน

คำบอกเล่าของลุงทองหัวหน้ากลุ่มหัตถกรรมเครื่องทองเหลือง สอดคล้องกับตำนานบ้านปะอาว เพราะปู่ของปู่ของลุงทองได้อพยพมาพร้อมคณะที่ตั้งบ้านปะอาว และในขณะเดียวกันได้นำเอาวิชาชีพการหล่อทองเหลืองแบบโบราณมาทำเป็นอาชีพเสริมและได้มีการเผยแพร่แก่ลูกหลานและเพื่อนบ้านที่สนใจสืบต่อกันมาจนถึงปัจจุบัน คุณปู่ยังบอกว่าวิชาช่างทองเหลืองที่ทำนี้ เป็นวิธีการเดียวกันกับที่ทำอยู่ที่บ้านเชียง จากหลักฐานที่ขุดค้นพบที่บ้านเชียง นำมาเปรียบเทียบกับที่ทำอยู่ที่บ้านปะอาวก็พบว่าเป็นเรื่องจริง และจากข้อมูลทางประวัติศาสตร์ [5] มีความเป็นไปได้ว่าวัฒนธรรมต่างๆบางอย่าง ได้รับอิทธิพลมาจากชุมชน ชาวไต-ลาว กระจายกันตั้งถิ่นฐานตามริมฝั่งโขงประเทศลาว จากหลวงพระบาง เวียงจันทน์ จามปาศักดิ์ และทางอีสานฝั่งขวาของแม่น้ำโขง ตั้งถิ่นฐานโดยเลือกทำเลที่เหมาะสม เริ่มจาก นครเขื่อนขันธ์กาบแก้วบัวบาน (อยู่ในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี) ลงมาจนถึงดอนมดแดง ห้วยแจระแม ดงอู่ผึ้ง ซึ่งสุดท้ายกลายมาเป็นเมืองอุบล ดำรงฐานะเมืองอุบลราชธานีศรีวนาลัยประเทศราช ขึ้นต่อสำนักสยาม ที่กรุงเทพฯ ในสมัยรัชกาลพระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกฯ

2.4 การศึกษากระบวนการผลิต

2.4.1 ขั้นตอนการหล่อและวัสดุอุปกรณ์

ก.วัสดุและอุปกรณ์

ในกรรมวิธีการหล่อทองเหลืองแบบโบราณ หรือ ต่างประเทศรู้จักกันในนาม การหล่อแบบขี้ผึ้งหาย(Lost-wax Casting Processes) มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้งานประกอบด้วย

1. ดินโพน หรือ ดินจอมปลวก หาได้ทั่วๆไปในบริเวณใกล้ๆหมู่บ้าน ลักษณะพิเศษของดินโพน คือ มีขนาดของเม็ดดินละเอียด สม่ำเสมอกัน ทำให้งานหล่อออกมามีผิวเรียบสวยงามและมีความเหนียวเกาะกันได้ดี ทนอุณหภูมิได้สูง

2. มูลวัว ใช้ผสมดินจอมปลวก ทำให้ดินเกาะตัวแน่น สามารถกลึงได้ง่าย คุณสมบัติด้านอื่นๆเช่น ทำให้ผิวเรียบ และดินมีความโปร่งไม่ทึบมาก เพราะเมื่อถึงขั้นตอนนำไปเผาไฟทำให้แก๊สที่เกิดจากความชื้นของดินเปรียกสามารถแทรกตัวหนีออกมาได้ง่าย ซึ่งทำให้หุ่นหินไม่แตกเมื่อร้อน และอีกเหตุผลหนึ่งคือ มูลวัวทำให้มีความโปรงเนื้อดินไม่อัดแน่นจนเกินไป ทำให้ก้อนดิน

สามารถขยายตัวได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจากการเผา จึงทำให้หุ่นดินไม่แตกร้าวในระหว่างการหลอมหล่อ(มูลควาย ไม่นิยมใช้เนื่องจากมีกลิ่นเหม็นมากกว่า และคุณสมบัติด้านการเกาะยึดกับดินโพนไม่ดี

3. มอนน้อย เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้กลึงแต่งพิมพ์ โดยอาศัยหลักการง่ายๆ (เป็นภูมิปัญญาแบบโบราณ เพราะจากประวัติศาสตร์ของการคิดค้นออกแบบเครื่องกลึงที่ใช้งานกันทุกวันนี้เริ่มต้นมาจากวิธีการเดียวกัน) ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆดังนี้

รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของมอนน้อย

3.1 โฮงเสี่ยน หรือ โฮงกลึง มีรูปร่างลักษณะเป็นไม้โค้ง คล้ายกับขอบล้อเกวียน แต่ความยาวประมาณ 40-50 เซนติเมตร เวลาใช้วางตั้งให้ส่วนโค้งนอกขึ้นบน ส่วนโค้งในคว่ำลงดิน มีอยู่ 1 คู่

3.2 ไม้เหยียบ ทำจากไม้เนื้อแข็งเหลาให้กลม ทำปลายเป็นสี่เหลี่ยมหัวท้ายใช้สำหรับยึด โฮงเสี่ยน สองชิ้นให้ติดกัน และเวลาทำงานใช้เท้าเหยียบไว้ไม่ให้โฮงเสี่ยนขยับไปมา

3.3 ไม้มอน ทำจากไม้เนื้อแข็งเหลาให้กลม ขนาดเท่าลำนิ้วก้อย ใช้เป็นแกนเพลากลึง ปลายหัวท้ายมีลักษณะกลมสวมเข้ากับโฮงเสี่ยนที่เจาะรูไว้ขนาดพอดีทั้งสองข้าง ทำให้ไม้มอนสามารถหมุนรอบตัวไปมาได้เมื่อถูกชักด้วยเชือกเพื่อทำการกลึงแต่ง

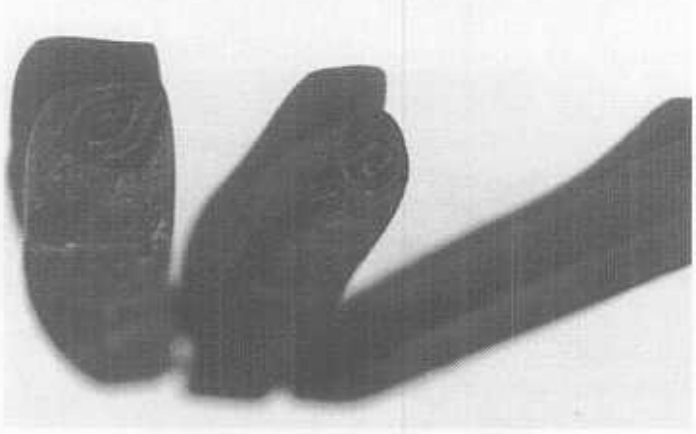
รูปที่ 2.2 แสดงการกลึงแต่งหุ่นขี้ผึ้ง

3.4 เหล็กเสี่ยน หรือ มีดกลึง ทำด้วยเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายเรียวแบนเป็นคม ตัดรูปทรงคล้ายสิ่วที่ใช้ในงานช่างไม้ สำหรับกลึงแต่งพิมพ์ดินและพิมพ์ขี้ผึ้ง ให้ได้รูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ

3.4 เชือกดึง ใช้ร่วมกับไม้มอน โดยพันรอบไม้มอน จับปลายเชือกทั้งสองด้านดึงชักลับไปกลับมา (ทำหน้าที่คล้ายกับสายพานเครื่องกลึง) ทำให้สามารถกลึงแต่งดินพิมพ์ หรือขี้ผึ้งให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

4. บั้งเดียก ทำด้วยกระบอกไม้ไผ่กลวง ทำหน้าที่คล้ายกระบอกสูบ โดยเลือกเอากระบอกที่มีกิ่งติดมาด้วยเพื่อใช้ทำเป็นด้ามจับในตัว เจาะรูตามขนาดที่ต้องการ และมีก้านอัดซึ่งทำหน้าที่คล้ายลูกสูบ หลักการคล้ายคลึงกับกระบอกฉีดน้ำ หรือปืนฉีดน้ำ แต่บั้งเดียกใช้เพื่อฉีดขี้ผึ้งเหลวให้ออกมาเป็นเส้น โดย ใช้กระด้ง รองรับเส้นขี้ผึ้ง ผู้ฉีดจะต้องส่ายวนเป็นวงกลม (คล้ายเส้นบะหมี่หรือเส้นขนมจีน) เส้นขี้ผึ้งจะยังไม่แข็งตัวมากนัก มีความเหนียว เมื่อมีจำนวนมากพอก็นำมาพันรอบหุ่นหรือพิมพ์ดินที่ผ่านการกลึงมีรูปร่างตามที่ต้องการ ซึ่งขั้นตอนนี้คือขั้นตอนการหุ้มขี้ผึ้งนั่นเอง

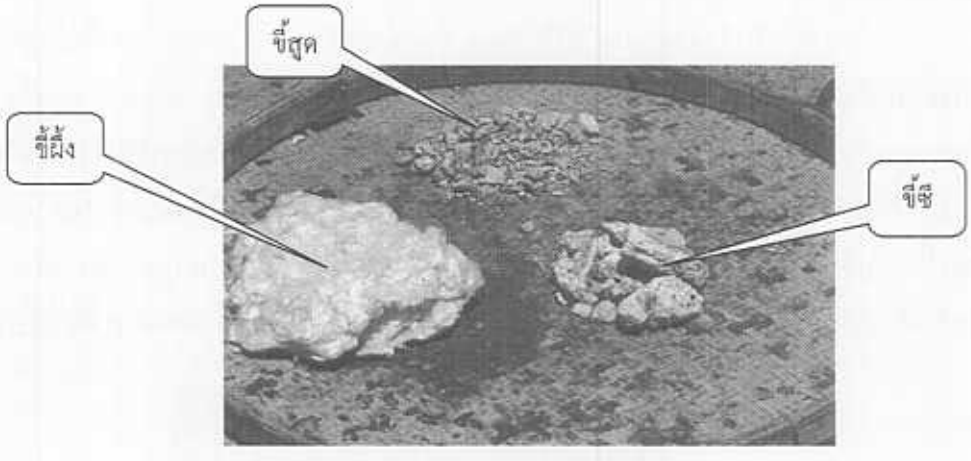
รูปที่ 2.3 บั้งเดียก



รูปที่ 2.4 ลูกกลิ้งพิมพ์ลาย

5. ลูกกลิ้งพิมพ์ และ แท่งกดพิมพ์ลาย ใช้สำหรับสร้างลวดลาย ซึ่งมี สอง แบบ คือ แบบลูกกลิ้งโดยวิธีการกลิ้งตามแนวเส้นรอบวงหุ่นขี้ผึ้ง และอีกแบบ ทำเป็นแท่งมีด้ามจับ และที่ปลายอีกด้านหนึ่งแกะเป็นร่องลวดลาย สามารถนำมากดเพื่อสร้างลวดลายให้เกิดบนหุ่นขี้ผึ้งตามตำแหน่งที่ช่างต้องการ

6. ขี้ผึ้งและส่วนผสม ประกอบด้วยขี้ผึ้ง ชัน และขี้สูด ชันและขี้สูดผสมในขี้ผึ้งเพื่อให้ขี้ผึ้งเหนียว ไม่เปราะ สามารถปั้นขึ้นรูปและกลึงแต่งได้ง่าย



รูปที่2.5 ขี้ผึ้งและส่วนผสม ประกอบด้วยชันณรงค์ หรือ ขี้ซี และชำมะโรง หรือ ขี้สูด

7. อุปกรณ์ต้มหลอมขี้ผึ้ง โดยทั่วไปใช้กะทะ หรือถ้าไม่มีให้ใช้ภาชนะอื่นที่คล้ายกะทะแทน โดยใช้เตาถ่าน และไม้พาย สำหรับคนส่วนผสมและขี้ผึ้งให้เข้ากัน

รูปที่ 2.6 เตาและกระทะต้มหลอมขี้ผึ้ง

8. เบ้าหลอม ทำจากดินเหนียวดินดานผสมแกลบเพื่อให้ดินมีความสามารถขยายตัวได้ดีเมื่อได้รับความร้อน และสามารถทนความร้อนได้สูง

รูปที่ 2.7 เบ้าหลอมทองเหลือง

ขั้นตอนการทำหัตถกรรมหล่อทองเหลืองวิธีโบราณ ของของชุมชนบ้านปะอาวมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

1. เตรียมดิน นำดินโพนมาตำให้ละเอียดผสมกับมูลวัวและแกลบ คลุกเคล้าจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

รูปที่ 2.8 การตำดินโพน หรือ ดินจอมปลวก

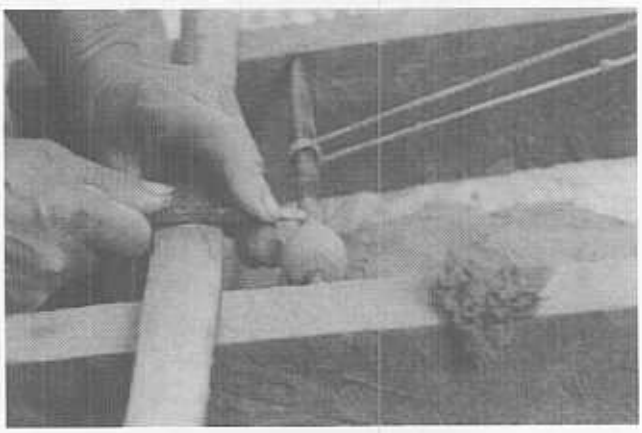
2. ปั้นหุ่นต้นแบบ หรือพิมพ์ นำดินที่ตำเสร็จแล้วจากขั้นตอนที่ 1 มาปั้นเป็นหุ่นให้มีรูปร่างลักษณะตามที่ต้องการ โดยเผื่อขนาดไว้ก่อนที่จะนำไปกลึง หรือเสี่ยน ในลำดับต่อไป

รูปที่ 2.9 การปั้นหุ่นดินแบบพิมพ์

3. ประกอบหุ่นเข้ากับไม้มอน ใช้ไม้มอนเสียบกลางหุ่นเพื่อให้สามารถจับยึดกลึงหรือเสี่ยนได้ ก่อนนำไปตากให้แห้ง

รูปที่ 2.10 การเสียบไม้มอนเข้ากับหุ่นดิน

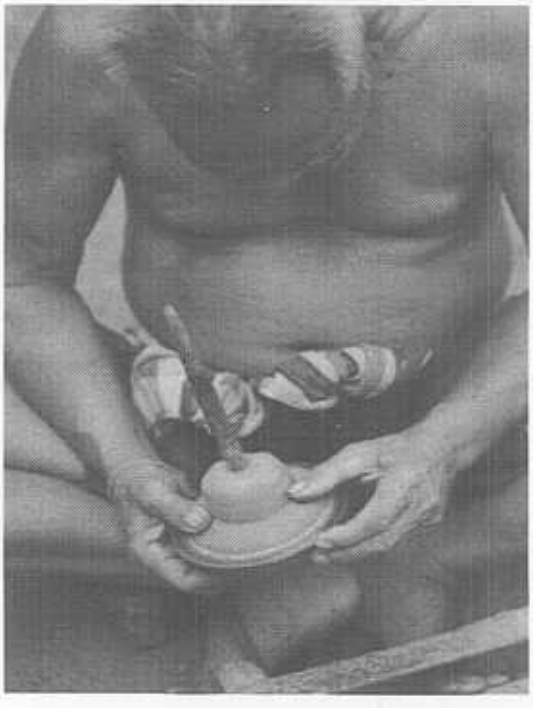
4. เสี่ยนพิมพ์ นำหุ่นหรือพิมพ์ ที่แห้งแล้วนำไปประกอบใส่โฮงเสี่ยน เพื่อทำการเสี่ยนพิมพ์ หรือกลึงพิมพ์ ให้เรียบและได้ขนาดตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.11 การเสี่ยนพิมพ์ดิน

5. เคียนขี้ผึ้ง หรือ พันขี้ผึ้ง โดยวิธีการใช้ขี้ผึ้งที่ทำเป็นเส้นมาพันรอบหุ่น ที่ผ่านการเสี่ยน ตามขั้นตอนที่ 4

รูปที่ 2.12 การเคียนขี้ผึ้ง หรือ พันขี้ผึ้ง รอบหุ่นดิน

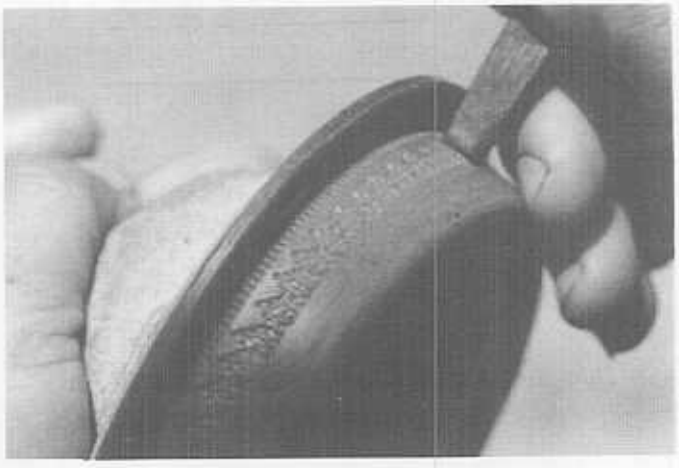


รูปที่ 2.13 การบีบขี้ผึ้งให้เรียบสม่ำเสมอกัน

6. เสี่ยนขี้ผึ้ง หรือกลึงขี้ผึ้ง เมื่อนำเส้นขี้ผึ้งมาพันโดยรอบหุ่นดิน ขั้นตอนต่อไปเป็นการกลึงให้เรียบ แต่ก่อนจะทำการกลึง จะต้องนำหุ่นไปลนไฟให้ขี้ผึ้งอ่อนนุ่มสามารถใช้มือบีบให้ผิวที่เป็นรูปคลื่นลอนนูนของเส้นขี้ผึ้งให้เรียบแนบติดเป็นแผ่นเดียวกันและมีความหนาสม่ำเสมอกันตลอด จากนั้นจึงนำไปเสี่ยน หรือกลึงให้ผิวเรียบเป็นรูปทรงสวยงาม ซึ่งเสมือนผิวงานจริงเมื่อหล่อเป็นชิ้นงานสำเร็จ

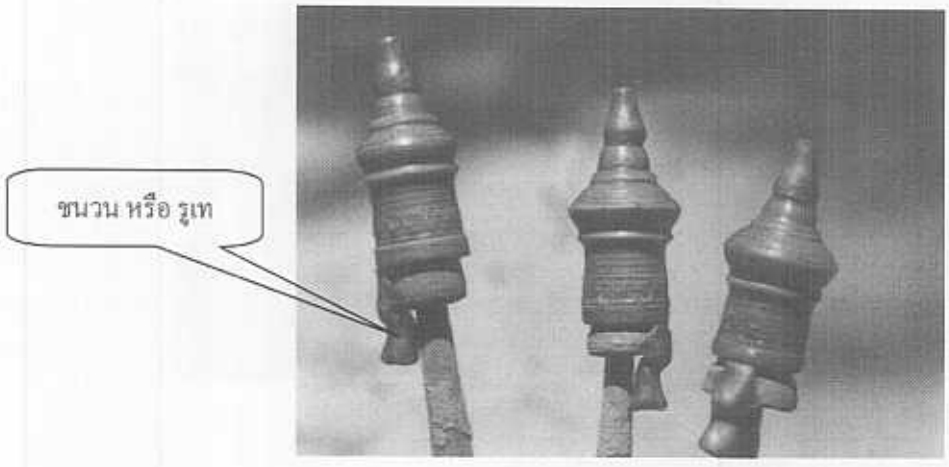
รูปที่ 2.14 การเสี่ยนหรือกลึงแต่งขี้ผึ้ง

7. พิมพ์ลาย เป็นขั้นตอนการสร้างลวดลายโดยวิธีการทำพิมพ์ โดยใช้ ลูกกลิ้งพิมพ์ หรือแท่งกดพิมพ์ลาย ให้ได้ลวดลายตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.15 การพิมพ์ลาย (ลายมี 3 แบบ คือ ลายกลีบบัว, ลายใบสน และลายลูกหวาย)

8. โอบเพ็ด หมายถึง ขั้นตอนการใช้ดินผสมมูลวัวโอบ หรือพอกหุ้มหุ่นหลังจากที่ทำลวดลายเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยต้องทำสายชนวนโผล่ยื่นออกมา ซึ่งภาษาทางวิชาการหล่อโลหะ คือการสร้างรูเทเพื่อเป็นทางให้น้ำโลหะไหลวิ่งไปได้สะดวกทั่วถึงกันตลอดชิ้นงาน ทำให้ได้งานหล่อที่สมบูรณ์ไม่มีรูพรุน และทำให้งานไม่เสียเนื่องจากการไหลของน้ำโลหะเข้าไม่เต็มแบบ



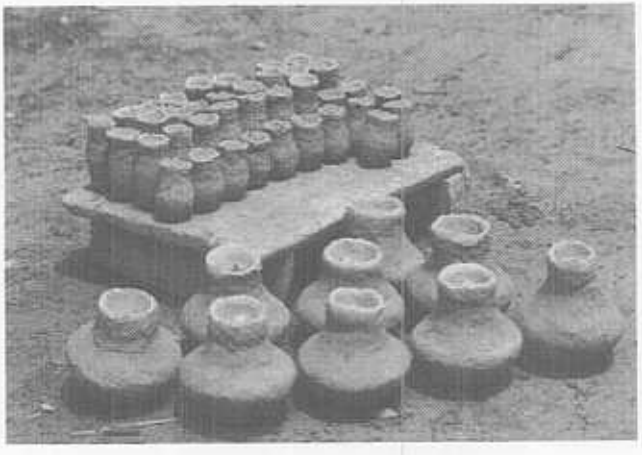
รูปที่ 2.16 การติดชนวน เพื่อทำเป็นรูเททองเหลือง ให้น้ำโลหะไหลผ่านเข้าเบ้า

รูปที่ 2.17 การโอบเพชร คือ การนำดินที่ได้จากการกลึงแต่งหุ่นมาร่อนให้ได้เม็ดละเอียด แล้วนำมาผสมน้ำคลุกให้เข้ากันดี จึงนำมาหุ้มขี้ผึ้งที่พิมพ์ลายและติดชนวนแล้ว

9. การติดแซง หรือ ติดพวง หมายถึงการรวมสายชนวน ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก มารวมเข้าด้วยกัน(เสร็จขั้นตอนที่ 8 และ 9 แล้วเรียกว่า เบ้า)

10. โอบเบ้า โดยการใช้ดินเหนียวผสมแกลบ โอบ หรือหุ้มเบ้าให้สามารถ ตั้งวางบนดินเพื่อการเทหล่อได้

รูปที่ 2.18 การเตรียมดินโอบเบ้า ใช้ดิน 3 ส่วน : แกลบ 1 ส่วน คลุกให้เข้ากัน



รูปที่ 2.19 นำเบ้าที่โอบดินเสร็จแล้วไปตากแดดให้แห้ง ประมาณ 2 – 3 วัน

11. สุมเบ้า หรืออุ่นเบ้า เป็นขั้นตอนการเผาเบ้าเพื่อให้ขี้ผึ้งละลายออก ดังนั้นจึงต้องวางคว่ำปากเบ้าลง โดยหลังจากขี้ผึ้งละลายออกหมดจะทำให้เกิดโพรงว่าง เพื่อนำโลหะเหลวเทเข้าไปแทนที่ว่างในขั้นตอนต่อไป

รูปที่ 2.20 นำเบ้าที่ตากแดดแห้งแล้วมาสุม หรือเผาให้ร้อนด้วยฟืน เพื่อให้ขี้ผึ้งหลอมละลายออกจากเบ้าจนหมด

12. เททอง เป็นขั้นตอนการเทหล่อ โดยการเทโลหะที่ต้มให้หลอมละลายไว้รออยู่ก่อนแล้วในระหว่างการเผาไล่ขี้ผึ้ง โดย ในการเทจะต้องนำเบ้ามาวางเรียงไว้บริเวณใกล้เตาหลอม ในลักษณะหงายรูเทขึ้นด้านบน และต้องเทหล่อในขณะที่เบ้ามีอุณหภูมิสูง ไม่เช่นนั้นจะทำให้โลหะไหลไม่เต็มแบบ เนื่องจากเกิดการแข็งตัวก่อนเพราะอุณหภูมิของเบ้าเย็นเกินไป

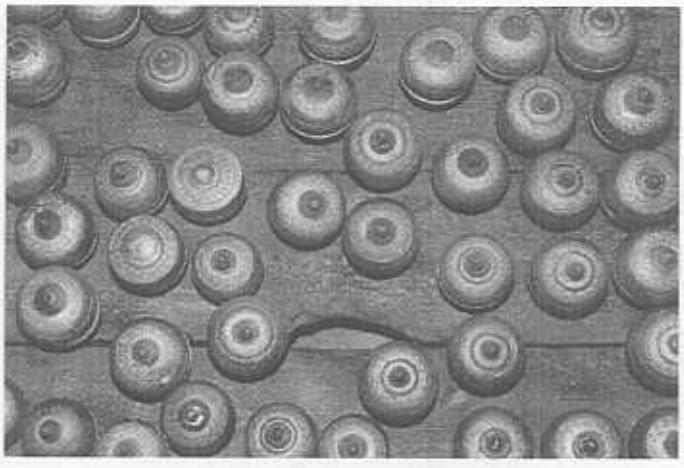
รูปที่ 2.21 นำเศษทองเหลืองใส่ในเบ้าหลอมจนหลอมเหลว

รูปที่ 2.22 เมื่อโลหะหลอมเหลวและอุณหภูมิได้ที่ ตักด้วยช้อนตักเทลงในเบ้าในขณะที่เบ้ายังร้อนอยู่

13. แกะแบบ เมื่อโลหะแข็งตัวดีแล้ว ทำการทุบเบ้าดินให้แตกเพื่อนำเอางานหล่อที่ได้ออกมาทำความสะอาด

รูปที่ 2.23 การแกะแบบโดยทุบด้วยค้อนให้แบบแตก แยกเอาเฉพาะชิ้นงานหล่อนำไปทำความสะอาด และตกแต่งในขั้นตอนต่อไป

14. เสี่ยน หรือกลึงแต่ง ก่อนนำมากลึงแต่งต้องทำความสะอาดและล้างด้วยน้ำให้ดินหลุดออกหมดสะอาด ก่อนใช้เครื่องกลึงแต่งผิวให้สวยงาม ซึ่งเรียกว่ามอนใหญ่ (มีส่วนประกอบเหมือนกันกับมอนน้อย แต่มีขนาดที่ใหญ่กว่า) และนำไปขัดเงาด้วยน้ำยาขัดเงาให้สวยงามก่อนนำไปใช้หรือจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 2.24 งานหล่อที่ยังไม่เสี่ยน

รูปที่ 2.25 การเสี่ยน หรือกลึงแต่ง ให้ผิวเรียบเงางาม ตามต้องการ

รูปที่ 2.26 ตัวอย่างงานหล่อทองเหลืองที่ทำการเสี่ยน ตกแต่งเสร็จแล้วพร้อมที่จะนำไปจำหน่าย

2.5 โลหะวิทยาของโลหะผสมของทองแดง

โลหะผสมของ ทองแดง-ดีบุก-ตะกั่ว-สังกะสี ได้ถูกนำมาหล่อขึ้นรูปมาเป็นเวลานับร้อยปี และถูกจัดเป็นโลหะผสมทองแดงที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมการหล่อโลหะผสมทองแดง

2.5.1 ประเภทของโลหะผสมทองแดง

ได้ถูกแบ่งโดยใช้ The United Numbering System (UNS) ได้เป็น 5 ตระกูล ดังนี้

1. **Leaded red brasses** เป็นโลหะผสมของทองแดงที่มีสังกะสีเป็นธาตุผสมหลัก หรือเรียกทั่วไปว่า ทองเหลือง ปริมาณของสังกะสีในทองเหลืองจะไม่เกิน 40% และสีก็ขึ้นกับปริมาณของสังกะสีที่เติมลงไป ถ้าปริมาณสังกะสีมีน้อย โลหะจะมีสีออกแดง และจะมีสีออกเหลืองขึ้นเมื่อปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น

2. **Leaded semi-red brasses** เป็นโลหะทองแดงผสมที่มีปริมาณสังกะสีมากกว่าชนิดแรก ทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

3. **Tin bronzes** เป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงและดีบุก หรือ สำริด โดยทั่วไปจะมีปริมาณของดีบุกอยู่ประมาณ 10% เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และความทนทานต่อการกัดกร่อน สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่น ท่อ แท่ง ลาด สปริง สกรู เป็นต้น

4. **Leaded tin bronzes** เป็น bronze ที่มีตะกั่วผสมอยู่มากกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก และมีนิกเกิล และ สังกะสี อยู่เล็กน้อย ตะกั่วจะไม่ละลายในทองแดง และจะอยู่ในรูปของตะกอนเม็ดกลม ทำให้มีคุณสมบัติหล่อลื่น และ รับภาระโดยที่ไม่มีสารหล่อลื่นได้

5. **High-leaded tin bronzes** เป็น bronze ที่มีตะกั่วผสมอยู่ในปริมาณที่สูง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการกลึงและไส และช่วยให้น้ำโลหะไหลดีขึ้นขณะหล่อ

2.5.2 อิทธิพลของธาตุผสม (Alloying element) ต่อ โลหะทองแดงผสม

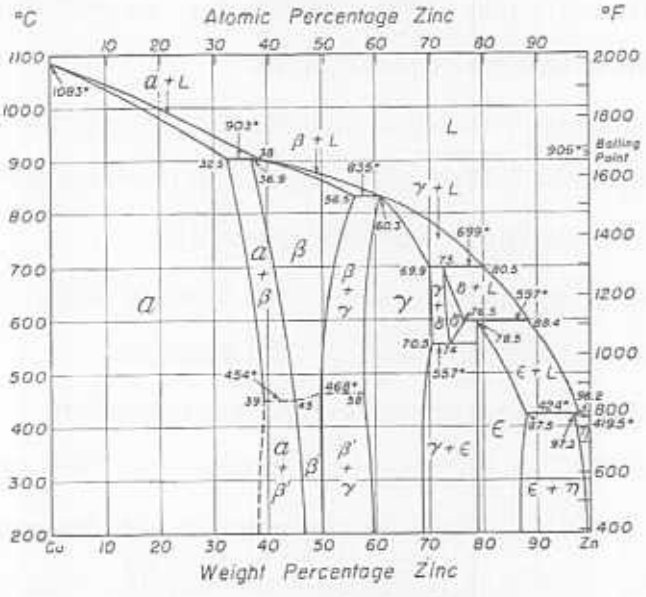
1. Zinc สังกะสีเป็นโลหะที่มีราคาถูกสามารเพิ่มความแข็งแรงให้กับทองแดง โดยรวมกันเป็นสารละลายของแข็ง หรือ Solid-solution strengthening จาก phase diagram ของ Cu-Zn จะได้ว่า Zn สามารถละลายได้มากที่สุดใน Cu เท่ากับ 32.5% และแข็งตัวได้สารละลายของแข็งเฟสเดียวคือ α-phase โลหะจะมีความเหนียวและแข็งแรงสูง ถ้าปริมาณของ Zn สูงกว่านี้ความเหนียวจะลดลง เนื่องจากโลหะจะมีเฟสที่เรียกว่า β เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณของสังกะสีจะสูญเสียไปเป็นไอและส่วนหนึ่งในการเกิดออกไซด์ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการกำจัด zinc oxide ในบรรยากาศของโรงหล่อ

2. Tin ดีบุก เป็นธาตุที่เติมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับทองแดงโดยรวมกันเป็นสารละลายของแข็งแต่มีประสิทธิภาพดีกว่าสังกะสี ดีบุกช่วยเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อน จาก phase diagram ของ Cu-Sn จะได้ว่า โลหะผสมทองแดงที่ส่วนผสมดีบุกไม่เกิน 10% ความที่จะมีเพียง α-phase เพียงเฟสเดียว แต่ในทางปฏิบัติ เนื่องจากโลหะผสมนี้มีช่วงการแข็งตัวที่กว้าง ทำให้การเย็น

ตัวเป็นแบบ non-equilibrium freezing ทำให้เกิดการแยกตัวของส่วนผสมทำให้เนื้อของ α-phase มีความเข้มข้นของดีบุกที่ไม่ homogeneous โดยที่ความเข้มข้นของดีบุกจะมีน้อยที่สุดตรงกลางและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระยะรัศมีของเฟส ซึ่งเรียกว่าการเกิด coring นอกจากนี้ในช่วงสุดท้ายของการแข็งตัว โลหะเหลวที่เหลืออยู่ จะมีความเข้มข้นของดีบุกที่สูง และจะเกิดเป็นเฟสเดลต้า δ-phase ซึ่งจะแข็งและเปราะ มองเห็นเป็นเฟสสีน้ำเงินเกิดขึ้นบริเวณขอบเกรน

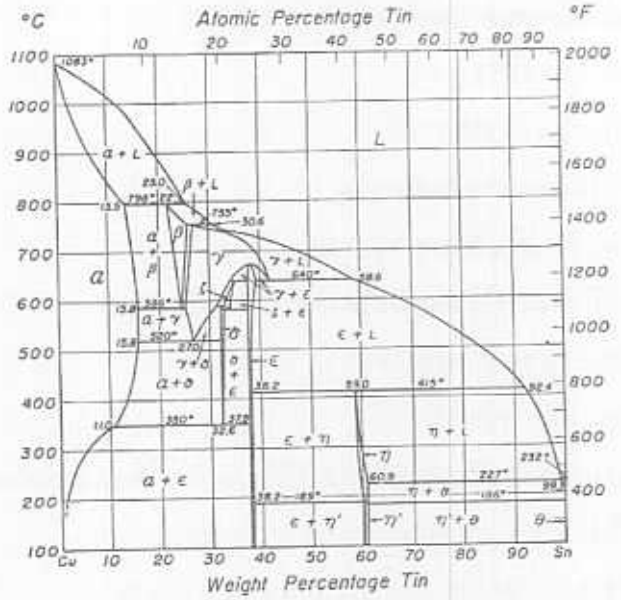
3. Lead ตะกั่ว ช่วยเพิ่มการไหลของน้ำทองเหลือง ทำให้หลอมชิ้นงานได้ง่ายขึ้น และยังช่วยให้งานกลึงไสได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าตะกั่วมีมากเกินไปจะทำให้ strength และ elongation ลดลงมาก

4. Other elements เช่น Aluminium Manganese Silicon and Iron จะช่วยเพิ่ม strength ลดขนาดของเกรน เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน เชื่อมต่อกันได้ง่าย ปกติปริมาณธาตุเหล่านี้จะรวมกันระหว่าง 2-7%โดยน้ำหนัก



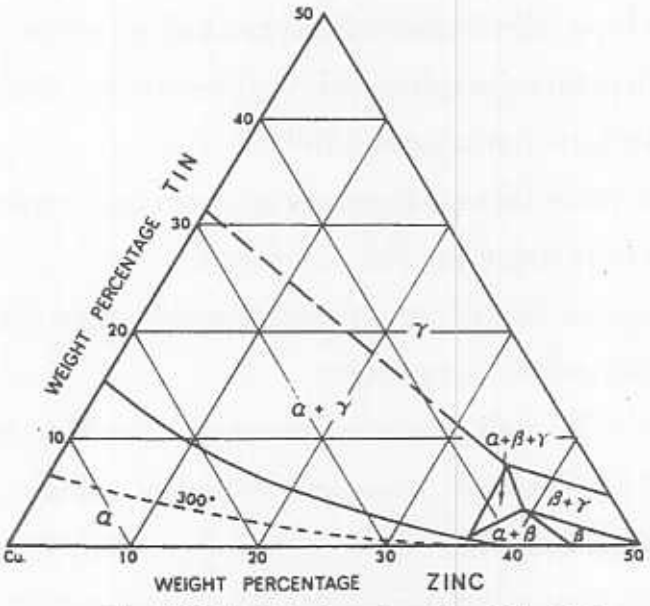
Copper-zinc phase equilibrium diagram.

รูปที่ 2.27 เฟสไดอะแกรมของทองเหลือง (โลหะผสมทองแดง กับ สังกะสี)



Copper-tin phase equilibrium diagram.

รูปที่ 2.28 เฟสไดอะแกรมของสำริด (โลหะทองแดง กับ ดีบุก)



The 500C (932F) isothermal section of the Cu-Sn-Zn ternary equilibrium diagram.

รูปที่ 2.29 เฟสไดอะแกรมของสำริดของโลหะผสมทองแดง-ดีบุก-สังกะสี

2.6 การหลอมหล่อโลหะตระกูลทองแดง

2.6.1 คุณสมบัติของทองแดงบริสุทธิ์ ทำสำคัญมีดังนี้

1. น้ำหนักจำเพาะ 8.8
2. จุดหลอมเหลว 1083 ° C
3. ความร้อนจำเพาะ 50.60 cal/g
4. การหดตัวเมื่อเปลี่ยนสถานะ 5%

2.6.2 คุณสมบัติของการใช้งานทางวิศวกรรม ที่สำคัญมีดังนี้

1. นำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี
2. ทนทานต่อการผุกร่อนได้ดี
3. สามารถลดแรงเสียดทานได้เมื่อใช้ทำชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่หมุนเสียดสี
4. มีสีสันสวยงาม มองดูมีคุณค่า แต่ไม่เป็นพิษ
5. ราคาแพงกว่าเหล็กหล่อ 5 เท่า และ 2.5 เท่าของ Al

2.6.3 เตาหลอมที่นิยมใช้ในการหลอมหล่อทองแดง

การเลือกเตาให้เหมาะกับโลหะที่จะนำมาหลอมหล่อเป็นเรื่องจำเป็นและมีความสำคัญมาก เพราะมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของงานหล่อที่ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ชนิดของโลหะและส่วนผสมทางเคมี จะทำให้รู้โดยประมาณว่าจะต้องใช้พลังงานความร้อนเท่าใดในการหลอมเหลว ซึ่งทำให้เราสามารถเลือกเตาที่มีพลังงานความร้อนที่เหมาะสมกับความต้องการได้

เตาที่ใช้ในการหลอมหล่อควรมีประสิทธิภาพสูงและประหยัด ดังนั้นผู้ทำงานหล่อจึงควรเลือกให้เหมาะสม โดย มีหลักในการเลือกดังต่อไปนี้

1. ชนิดของโลหะหรือโลหะผสม และอุณหภูมิในสถานะหรือสภาวะของการเปลี่ยนเฟสต่างๆ จะทำให้ง่ายต่อการควบคุมอุณหภูมิในเตาได้อย่างถูกต้อง
2. คุณภาพของน้ำโลหะที่ต้องการ ส่วนผสมทางเคมีเป็นไปตามที่ต้องการ และไม่มีจุดบกพร่องต่างๆที่เกิดจากขั้นตอนการหลอมหล่อ
3. จำนวนและวิธีการผลิต เช่นปริมาณน้ำหนักของน้ำโลหะที่ต้องการหลอม วิธีการผลิตเป็นแบบปริมาณมาก Mass production, Direct line หรือแบบต่อเนื่อง เป็นต้น รวมไปถึงจำนวนและระยะเวลาที่จะเทหล่อลงไปในแบบ
4. ชนิดและราคาของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหลอม รวมถึงชนิดและราคาของเชื้อหลอมและวัสดุทนไฟเช่นอิฐและปูนทนไฟที่ใช้ก่อผนังเตาและเบ้าเทเป็นต้น
5. ระบบการควบคุมการทำงานและการรักษาความปลอดภัย

2.6.4 ชนิดของเตาหลอม

เตาหลอมที่ใช้ในงานหล่อโลหะมีหลายชนิดด้วยกัน แต่ที่นิยมนำมาใช้ในงานหลอมหล่อโลหะตระกูลทองแดงและทองแดงผสม มีดังนี้ คือ

1. เตาเบ้า(Crucible Furnace) แบ่งตามชนิดของเบ้าที่ใช้ ดังนี้
   - เบ้าโลหะ
   - เบ้ากราไฟท์ ชาโมทท์ โค๊ก หรือ เบ้าชนิดพิเศษ
2. เตาไฟฟ้ามีอยู่ 3 ชนิด คือ
   - เตาอาร์ค (Arc) มีให้เลือกแบบ เตาอาร์คโดยตรง และ อาร์คโดยอ้อม (Direct and Indirect Arc)
   - เตาเหนี่ยวนำ (Induction) มี 3 แบบ คือ ชนิดความถี่ต่ำ ความถี่ปานกลางและความถี่สูง
3. เตาความต้านทาน (Resistance) มีให้เลือก 2 แบบ คือ
   - ชนิดเบ้า แบ่งตามชนิดของเบ้าที่ใช้ คือ เบ้าโลหะ,เบ้ากราไฟท์
   - ชนิดมีอ่างรับน้ำโลหะ มี 2 แบบ คือ แบบตัวให้ความร้อนเป็นโลหะ หรือ ตัวที่ให้ความร้อนเป็นกราไฟท์
4. เตากระทะหรือเตาที่มีอ่างเก็บน้ำโลหะ มีอยู่ 2 ชนิด คือ
   - เตา Open-Hearth มี 2 แบบ คือ แบบอยู่กับที่ และแบบ เอียงเทได้
   - เตา Reverberatory มี 2 แบบ คือ แบบอยู่กับที่ และ แบบ หมุนได้

2.6.4 ปัญหาของการหลอมหล่อโลหะตระกูลทองแดง ส่วนมากที่พบและเป็นปัญหาทำให้ชิ้นงานหล่อมีจุดบกพร่องมากที่สุด คือ

1. การเกิดออกไซด์(Cu_2O)
2. การดูดกลืนแก๊สไฮโดรเจน(H_2)

ปัญหาทั้งสองประเภทนี้มีสาเหตุหลักมาจากความชื้นซึ่งก็คือน้ำหรือ H_2O นั่นเอง ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการแตกตัวของแก๊ส H และ O ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับทองแดงที่อุณหภูมิสูง ดังแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$2Cu + H2O = Cu2O + 2H$$

2.6.5 แหล่งที่มาของความชื้น

1. จากเตา สารทนไฟที่เปียกชื้น
2. จากวัตถุดิบ เศษโลหะ
3. จากเชื้อหลอม
4. ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ของเชื้อหลอม

5. เครื่องมือและอุปกรณ์
6. ในเตาหรือเบ้าหลอม หากมีทองแดงออกไซด์ (CuO,Cu2O) ซึ่งไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับโลหะ
7. ขณะเดียวกันถ้ามีอะตอมของไฮโดรเจน จากบรรยากาศ หรือ ถูกจับออกมาจากโลหะ เมื่ออุณหภูมิลดลง หรือโลหะแข็งตัว
8. ทองแดงออกไซด์ กับอะตอมของแก๊สไฮโดรเจน จะทำปฏิกิริยาเคมีกัน จะทำให้เกิดการเดือด (steam reaction) ดังสมการ $Cu_2O + 2H = 2Cu + H_2O$
9. ไอน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการเดือดนี้ จะเป็นสาเหตุของการเกิดรูพรุน และยังแทรกตัวในเนื้อโลหะ การป้องกันจะทำให้องค์ประกอบตัวใดตัวหนึ่งหมดไปจึงจะยุติ

2.6.6 เชื้อหลอมที่ใช้ขจัดออกซิเจน หรือ ออกไซด์ ของโลหะทองแดง ที่นิยมใช้กัน มีดังนี้

1. P, Li, Ca, B, Mg, Al, Si, Be เป็นต้น
2. Li เป็นเชื้อหลอมที่ดี สามารถรวมตัวได้ทั้ง O และ H ไม่เกิดผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านการนำไฟฟ้าของทองแดง แต่อาจทำให้เกิดการฉีกร้าว ขณะร้อนได้ง่าย
3. P เป็นเชื้อหลอม P-Sn, P-Cu มีประสิทธิภาพสูงในการลด O โดยเติมเพียงจำนวน 0.02% สามารถลด O ให้เหลือเพียง 0.002% แต่ P จะทำให้การนำไฟฟ้าของทองแดงลดลง เช่น ถ้ามี P ในโลหะ 0.05% จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงถึง 50%
4. เชื้อหลอม Li, P-Sn, P-Cu จะผลิตเป็นเม็ดเล็กๆบรรจุไว้ในหลอดทองแดงบริสุทธ์ เพื่อง่ายต่อการใช้งาน โดยวิธีการกดจุ่มลงในเบ้าโลหะเหลว

2.6.7 ลักษณะของการเดือด

เมื่อใช้เชื้อหลอม P, Li เพื่อลดออกซิเจนหมดแล้ว การเดือดจะยุติลง แต่ในโลหะเหลวอาจจะมีอะตอมของไฮโดรเจน

การขจัดแก๊สไฮโดรเจน จะใช้ฟองแก๊สเฉื่อยเป็นพาหะพาออก เช่นเดียวกันกับการหลอมโลหะอลูมินั่ม อนึ่ง จะเห็นได้ว่าถ้าหลอมโลหะทองแดง โดยทำให้เกิด การเดือดขึ้นก่อน เช่นการปรับบรรยากาศของเตาหลอม หรือการใช้อากาศ O_2 มาก หรือการใช้เชื้อหลอม Oxidizing บรรจุไว้ในเตาหลอมก่อน เมื่อเกิดการเดือดขึ้น จะช่วยป้องกันไม่ให้ Hydrogen ละลายเข้าไปในโลหะ หรือช่วยลด H ที่แทรกอยู่ในโลหะให้มีปริมาณลดน้อยลง วิธีการดังกล่าว เรียกว่า Oxidation-Deoxidation การทำ Oxidizing และ Deoxidation มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เติมเชื้อหลอม หรือ Flux เพื่อทำให้เกิด O_2 คือ เกิด Oxidizing เพื่อให้เกิดการเดือดเป็นการลด H
2. ลด H อีกครั้งโดยการเป่าเติมแก๊สเฉื่อยลงไปในโลหะเหลว
3. ลด O_2 โดยการทำ Deoxidizing โดยใช้ P, Li, Ca, Zn.

2.6.8 ตรวจสอบความสำฤทธิ์ผลของการใช้เชื้อหลอม

เมื่อต้องการทราบว่าปฏิกิริยาการเดือด หรือ ปริมาณของออกซิเจน ในโลหะเหลวเหลือค้างมากน้อยเท่าไหร่ สามารถตรวจสอบความสำฤทธิ์ผลของการใช้เชื้อหลอมได้ดังนี้

1. นำโลหะเหลวที่ผ่านการบำบัดแล้วเทลงในโพรงแบบทราย ที่ทำเป็นรูปทรงกระบอกขนาด 5x15 cm.
2. ถ้ามีการเดือด หรือมีออกซิเจนอยู่ หัวจะพองปูดขึ้นมา
3. เมื่อออกซิเจนลดลง มีปริมาตรตกค้างสมดุลย์ ถ้าปริมาตรหดตัวหัวจะราบเรียบ
4. ถ้าการเดือดขุติ หรือออกซิเจนหมดหัวจะเว้าลง

2.6.9 เทคนิคการปฏิบัติการหล่อทองเหลือง

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี ส่วนมากที่ใช้กันอยู่มาตรฐานทั่วไปจะมีสังกะสีผสมอยู่มากที่สุดประมาณ 40 % โดยน้ำหนัก ปริมาณส่วนผสมของสังกะสีกับทองแดงจะมีผลทำให้จุดหลอมเหลวเปลี่ยนไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงอุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะผสมทองกับสังกะสี

	% สังกะสี โดยน้ำหนัก							
	15	20	30	40	60	80	90	100
จุหลอมเหลว°C	1030	1000	950	903	835	699	597	419.5

เนื่องจากสังกะสีมีจุดหลอมเหลวต่ำต่างจากทองแดงมาก ซึ่งทองแดงบริสุทธิ์(Cu) จุดหลอมเหลวประมาณ 1083 °C และสังกะสี(Zn) มีจุดหลอมเหลวประมาณ 419.5 °C ในการหลอมโลหะผสมทองแดงกับสังกะสีหรือที่รู้จักกันคือ ทองเหลือง อุณหภูมิที่ใช้หลอมจะเหนือกว่าจุดหลอมเหลว ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณส่วนผสมของสังกะสี ถ้าเป็นทองเหลืองที่ใช้กันทั่วไป มีสังกะสีผสมอยู่ 40% จะมีจุดหลอมเหลว 903 °C ซึ่งจะพบว่าสูงกว่าจุดหลอมเหลวของสังกะสีบริสุทธิ์มาก ซึ่งถ้าหากระหว่างที่ทำการหลอมหล่อความคุมอุณหภูมิไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณของสังกะสีเนื่องจากสังกะสีสามารถเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอได้ ซึ่งมักจะพบว่าเมื่อทำการหล่อทองเหลืองจะมีควันขาวเกิดขึ้นมากและมีกากตระกันสีขาวเกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของโลหะเหลวและขอบผนังด้านในของเบ้าเหลอม ในทางปฏิบัติจึงมีการเติมสังกะสีเพิ่มลงไปเพื่อชดเชยปริมาณของสังกะสีที่สูญเสียไป ส่วนมากจะเรียกว่าการสูญเพลิง

การสูญเสียสังกะสีจะเกิดจากการเปลี่ยนสถานะไปได้ 2 ทางคือ เปลี่ยนไปเป็นไอหรือแก๊สและ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน การเป็นสังกะสีออกไซด์ ซึ่งจะเป็นกากของแข็งผงสีขาวน้ำหนักเบาลอยอยู่บนผิวหน้าของโลหะเหลว และเกาะตามเบ้าและภาชนะตักน้ำโลหะ

แนวทางแก้ไขการสูญเพลิงของสังกะสี ทำได้โดยหลีกเลี่ยงการหลอมหล่อที่อุณหภูมิสูง ให้อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวประมาณ 50 °C เพื่อป้องกันการกลายเป็นไอ และ วิธีการใช้ฟลักส์หรือสารเคมีปกคลุมน้ำโลหะป้องกันออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับสังกะสี

2.6.10 การหล่อโลหะผสมประเภททองบรอนซ์หรือสำริด

ในการปฏิบัติการหลอมหล่อทองบรอนซ์หรือสำริด จุดที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อคุณภาพของงานหล่อคือการดูดกลืนแก๊สไฮโดรเจน(H_2) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดจุดเสียในงานหล่อแบบรูพรุน (Blow holes) และรูเข็ม (Pin holes) ดังนั้นในการปฏิบัติงานหล่อเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้นดังกล่าวจึงควรปฏิบัติดังนี้

เก็บเบ้าหลอมไว้ในที่แห้งและเมื่อใช้งานควรอุ่นและเผาไล่ความชื้นให้หมดเสียก่อนโดยใช้อุณหภูมิต่ำประมาณ 100 ° C จนแน่ใจว่าแห้งดีแล้วจึงเติมเศษโลหะที่จะหลอมหล่อลงไป

เติมเศษโลหะที่จะหลอมลงไปที่ก้นเบ้าเพียงเล็กน้อยเสียก่อน หรือประมาณ 1 ใน 3 ส่วนของทั้งหมด เริ่มอุ่นและเพิ่มอุณหภูมิจนร้อนแดงและเริ่มหลอมละลายจึงเติมส่วนที่เหลือตามลงไป

เนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนละลายได้ดีในโลหะตระกูลทองแดง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องปรับสภาพบรรยากาศในเตาให้มีออกซิเจนให้มากๆ (Oxidizing atmosphere) และยอมให้โลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้บ้างเล็กน้อย

หลังจากโลหะหลอมละลายแล้วทำการลดแก๊สไฮโดรเจน โดยการเติมฟลัก คอปเปอร์ออกไซด์ประมาณ 0.2 % แมงกานีสไดออกไซด์ประมาณ 0.3 % หรือโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตประมาณ 0.1 % เพื่อลดแก๊สไฮโดรเจน หลังจากนั้นประมาร 5-20 นาที จึงเติมส่วนผสมอื่นๆที่เหลือลงไปในเบ้าหลอม เช่น ดีบุก สังกะสี และ ตะกั่ว ในระหว่างนั้นจะต้องรักษาอุณหภูมิที่ต้มโลหะเหลวไว้ตลอดเวลา

ก่อนที่จะนำน้ำโลหะไปเทหล่อ ควรเติม Phosphor – Copper ซึ่งจะมีฟอสฟอรัสประมาณ 15 % แล้วทำการกวน เพื่อลดปริมาณ ของ O_2 ปริมาณของ Phosphor – Copper ที่ใช้ขึ้นกับสารเติมออกซิเจนที่ใส่เข้าไปเพื่อลดแก๊ส H_2

อุณหภูมิเทหล่อ มีความสำคัญมากเพราะหากอุณหภูมิเทไม่เหมาะสมอาจส่งผลให้ชิ้นงานมีข้อบกพร่องเกิดขึ้น หรือ เกิดการสูญเสียธาตุผสมเนื่องจากเกิดการสูญเพลิงเกิดขึ้นมากสำหรับธาตุบางตัวเช่นสังกะสีเมื่อหลอมที่อุณหภูมิสูงมากๆ โดย ทั่วไปแล้วหลักการกำหนดอุณหภูมิเทขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของชิ้นงานหล่อ สำหรับโลหะตระกูลทองแดงผสม จะกำหนด ดังตาราง ที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 จุดหลอมเหลวและอุณหภูมิเทของโลหะผสมบรอนซ์

โลหะผสม	จุดหลอมเหลว° C	อุณหภูมิเทหล่อ° C
88Cu-8Sn-4Zn	1,250-1,300	1,150-1,200
88Cu-10Sn-2Zn	1,250-1,300	1,150-1,200
85Cu-5Sn-5Zn	1,150-1,200	1,050-1,100

สรุปขั้นตอนการหลอมหล่อโลหะตระกูลทองแดงมีดังนี้

1. เปิดเตาปรับตั้งอุณหภูมิต่ำ อุ่นเบ้าและเตาหลอมให้ร้อนแดง
2. เติมเชื้อหลอม Oxidizing เพื่อให้เกิดการเดือด ตามขบวนการวิธีหลอม Oxidizing-Deoxidation
3. บรรจุเศษโลหะลงในเตาหลอม โดยเติมโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงก่อนโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าตามลำดับ และเติมในปริมาณน้อยๆก่อนชุดแรกจนหลอมเหลวจึงเติมชุดต่อๆไปตามลงไป ถ้าใส่เศษบรอนซ์ในการหลอมด้วย จะต้องใส่ก่อนโลหะบริสุทธิ์ในกรณีที่เศษบรอนซ์ไม่มีสังกะสีปนอยู่ด้วย แต่ถ้ามีสังกะสีปนอยู่ด้วยจะต้องหลอมทองแดงเสียก่อน แล้วจึงเติมดีบุก และเติมเศษบรอนซ์ที่มีสังกะสีตามลงไป เมื่อโลหะละลายและอุณภูมิเทได้ที่แล้ว จึงเติมสังกะสีเป็นตัวสุดท้าย
4. เมื่อโลหะหลอมเหลวตรวจสอบอุณหภูมิ
5. ใช้เชื้อหลอมขจัด Oxide ใช้ P ปริมาณน้อย ถ้าต้องการค่าการนำไฟฟ้าสูง
6. ใช้เชื้อหลอมเพื่อขจัดแก๊ส H
7. ใช้เชื้อหลอมคลุมผิว
8. ตรวจสอบอุณหภูมิเท และนำไปเทลงในแบบ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการวิจัย จะเป็นการเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคของทองเหลืองและสำริดที่นำเอาตัวอย่างที่ได้จากการผลิตโดยกลุ่มหัตถกรรมหล่อทองเหลืองที่บ้านปะอาว โดยวิธีการเตรียมตัวอย่างเป็นไปตามหลักวิธีการศึกษาทางโลหะวิทยาที่ถือปฏิบัติกันอยู่ทั่วไป

นอกจากการศึกษาวิเคราะห์ทองเหลืองแล้ว ในงานวิจัยยังได้วิเคราะห์ดินทำแบบหล่อ คือ ดินจอมปลวก ขี้ผึ้ง ขี้สูด และขี้ซี โดย สิ่งที่จะต้องดำเนินการศึกษามีดังนี้

3.1 งานศึกษาผลิตภัณฑ์ทองเหลืองและสำริด

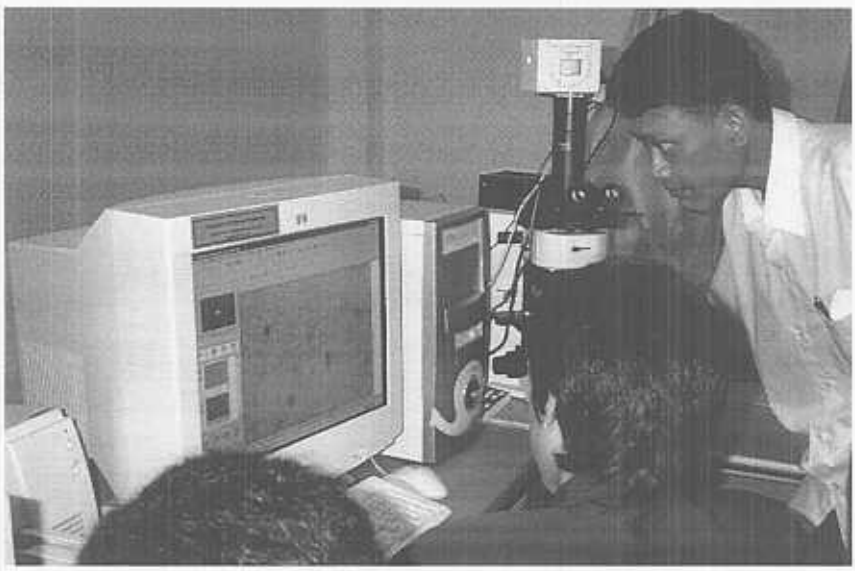
3.1.1 ศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนการทำหัตถกรรมทองเหลือง

3.1.2 ศึกษาโครงสร้างจุลภาค

การศึกษาโครงสร้างจุลภาค เริ่มต้นจากการเตรียมตัวอย่างโดยปฏิบัติตามหลักการทางโลหะวิทยา โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1-3.3

รูปที่ 3.1 เครื่องตัดเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค ยี่ห้อ BUEHLER ABRASIMET2

รูปที่ 3.2 เครื่องขัดเตรียมผิวโลหะ Grinder – Polishers ยี่ห้อ BUEHLER-METASERV



รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์ภาพ Image Analysis ยี่ห้อ Olympus – Olysia

3.1.3 ศึกษาคุณสมบัติทางกล

การทดสอบในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทดสอบเฉพาะความแข็งวิธี HRC เนื่องจากขนาดของชิ้นงานไม่โตมากนัก เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบความแข็ง แบบ Rockwell scale hardness tester model AR-10 Mitutoyo

3.2 งานศึกษาคุณลักษณะของ ขี้ผึ้ง ขี้สูด และ ขี้ซี

3.2.1 ศึกษาสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวกับ ขี้ผึ้ง ขี้สูด และ ขี้ซี

การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการนอกจากทองเหลือง ประกอบด้วย ขี้ผึ้ง ขี้สูด และขี้ซี จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าวัสดุดังกล่าวไม่สามารถทดสอบได้ด้วยเทคนิคทั่วไป ต้องใช้เครื่องมือและเทคนิคพิเศษ และผู้วิเคราะห์จะต้องมีความชำนาญสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาจากเอกสารที่มีข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องและใกล้เคียงที่สุดสามารถอ้างอิงได้

3.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินจอมปลวก

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของดินจอมปลวก และมูลวัวซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญที่นำมาใช้ทำแบบหล่อโดยวิธีโบราณ งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF และเครื่อง AA ดังเสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 เครื่อง XRF วิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมี

3.2.3 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินจอมปลวกและมูลวัว

การทดลองปฏิบัติยึดตามมาตรฐาน A.F.S โดยนำดินที่ผสมแล้วที่มีความชื้นอยู่ในตัวเองที่เตรียมไว้สำหรับนำไปทำแบบหล่อ นำมาอบไล่ความชื้นออกให้หมด หาปริมาณความชื้นได้โดยหาผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังอบ จะเป็นความชื้นที่ใช้ในการทำแบบ

รูปที่ 3.6 ตู้อบไล่ความชื้นของทรายหล่อ

3.2.4.การทดสอบความแข็งแรงอัดของทรายหล่อ (Compressive Strength)

การทดสอบการรับแรงอัดของทรายชื้นก็เพื่อหาค่า Compressive Strength ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือเป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้เครื่องมือทดสอบที่เรียกว่า Universal sand strengh machine ประกอบด้วย Pendulum weight และ มี Pusherarm ซึ่งจะหมุนให้ Pendulum weight เคลื่อนที่ขึ้นสูงจากแนวดิ่งด้วยมือหมุน ทางตอนล่างของ Pendulum weight จะมีที่วางตัวอย่างแบบทราย ซึ่งได้เตรียมตามมาตรฐานของ A.F.S. ซึ่งแท่งตัวอย่างจะถูกอัด

ด้วยแรงจาก Pendulum weight จนทรายแตกและอ่านค่าของแรงหรือค่าความแข็งแรงอัดจากสเกลได้โดยอาศัยแท่งแม่เหล็กที่ติดอยู่บนสเกลเป็นตัวชี้บอก

ความแข็งแรงอัดของทรายหล่อชื้น (Green sand) นี้สำคัญมาก สำหรับการทำแบบหล่อ เพราะนอกจากจะทำให้ช่างทำแบบหล่อทรายทำแบบได้ง่าย เคลื่อนย้ายได้สะดวก แล้วยังทำให้งานหล่อที่ได้สมบูรณ์ดีด้วย

สำหรับการวัดค่า Dry-Strength จะต้องเอาทรายที่ทำเป็นตัวอย่างมาตรฐานไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลานาน 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาทดสอบที่เครื่องทดสอบความแข็งแรง

วิธีการทดลอง

1.ผสมดินตามอัตราส่วนผสมที่ต้องการทดลอง

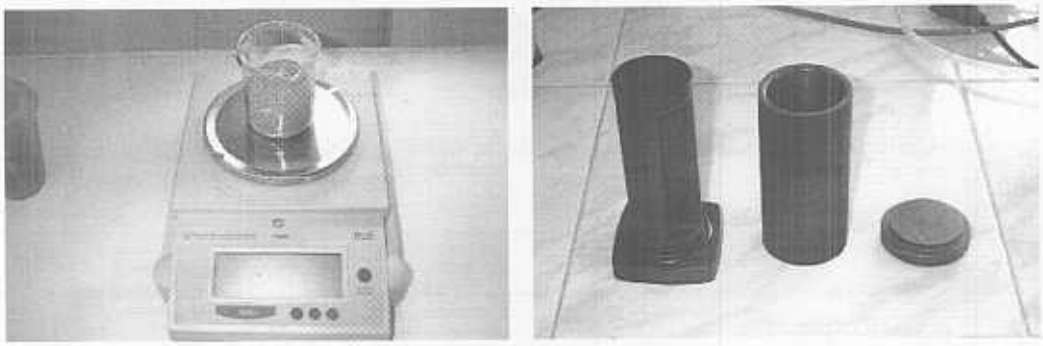
2.เตรียมชิ้นงานทดสอบโดยเครื่อง Standard rammer and specimen tube

3.นำแท่งทดสอบที่เตรียมได้ จับยึดบน Comperssion plates

4.วางแท่งแม่เหล็กที่ใช้สำหรับชี้บอกค่าบนสเกลโดยเริ่มที่ค่าสเกลต่ำสุด(0)

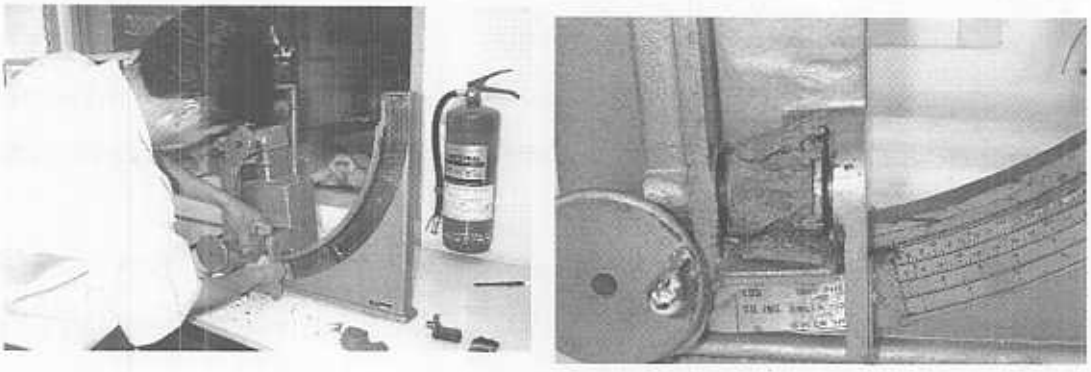
5.หมุนมือหมุนที่ยกน้ำหนักแพนดูลั่มขึ้นสูงจากแนวดิ่ง จนกว่าแท่งตัวอย่างจะถูกแรงกดจนทรายแตก

6.อ่านค่าตรงตำแหน่งที่แท่งแม่เหล็กชี้ขอกบนสเกล และบันทึกในตาราง



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ชุด specimen-tube และตาชั่งดิจิตอล

รูปที่ 3.8 เครื่อง Standard sand rammer



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็งแรงอเนกประสงค์

3.2.5 การทดสอบความแข็งที่ผิวแบบหล่อ (Surface Mold Hardness)

ความหมายของความแข็งของผิวแบบหล่อ หรือค่าความแข็งนี้ได้มาจากผลการทดสอบกำหนดให้เป็นค่าความต้านทานผิวของแบบทรายชื้นที่ได้จากการให้กัวทดสอบด้วยแรงจากการกระทุ้งแบบทรายหล่อ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความแข็งผิวของแบบทรายชื้น ในการทดสอบนี้ใช้วิธีการเดียวกับการทดสอบแบบ Brinell

โดยใช้หัวทดสอบเป็นลักษณะลูกบอลทรงกลมเป็น Stell หรือ Tungsten Carbide หัวกดในเครื่องมือวัด จะกดลงไปเป็นจุด โดยแบ่งส่วนบนหน้า ปัทม์นาฬิกาวัดแต่ละขีดสั้นจะห่างกันเป็นระยะทรง 0.001 นิ้ว (1/1000 นิ้ว) และค่าสูงสุดที่สามารถอ่านได้คือ 100 ซึ่งค่าความแข็ง 100 นี้ถือว่าเป็นค่าความแข็งอนันต์ ค่าความแข็งที่ใช้งานทั่วไปของแบบทรายหล่อชื้นดังแสดงในตาราง

Type of mold	Hardness
Very soft rammed mold	20-40
soft rammed mold	40-50
Medium rammed mold	50-70
Hard rammed mold	70-85
Very Hard rammed mold	85-100

ตาราง 3.1แสดงค่าความแข็งที่ผิวของแบบทรายหล่อ ทั่วๆไป

3.2.6 การทดสอบหาขนาดความละเอียดของทราย (Fineness Test)

ในงานหล่อโลหะทรายทำแบบหล่อ ได้มีการแบ่งแยกตามขนาดของอนุภาค โดย A.F.S. (American Foundrymen's Society) และหลักวิชาการทางธรณีวิทยา ได้กำหนดขนาดไว้ดังนี้ Clay คือ อนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 20 ไมครอน (0.02 มม.) จัดเป็นจำพวกดินเหนียว ทรายที่เสื่อมสภาพ โคลน หรือ ตะกอน และ สิ่งเจือปนอื่นๆแต่ถ้า 20 ไมครอน (0.02 มม.) ถึง 2000 ไมครอน (2 มม.) เป็นจำพวกทราย ถ้า มากกว่า 2 มม. ถึง 7.5 ซม. จะเป็นจำพวก กรวด (gravel) ถ้ามากกว่า 7.5 ซม. ถึง 25 ซม. จัดเป็นจำพวก ก้อนหิน (stone) และถ้าขนาดโตกว่า 25 ซม.เป็นหินก้อนโต ส่วนผสมของทรายหล่อโดยทั่วไป ประกอบด้วย ทราย ตัวประสาน น้ำ และ สารเพิ่มพิเศษ สำหรับแบบหล่อทรายชื้น ส่วนมากจะใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสาน ขนาดของเม็ดทรายจะเป็นข้อมูลในการนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดปริมาณส่วนผสมของตัวประสาน และน้ำสำหรับแบบหล่อทรายชื้น และจะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติต่างๆของแบบหล่อ เช่น ความโปร่ง ความแข็งแรง เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทดสอบหาขนาดของทรายที่จะนำมาทำแบบหล่อ

ในการปฏิบัติการทดสอบอิงตามมาตรฐานA.F.S.ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1 ชุดเครื่องมือแบ่งสุ่มตัวอย่าง

3.2 ตาชั่งดิจิตอล จุดทศนิยม 2-3 ตำแหน่งเป็นอย่างน้อย

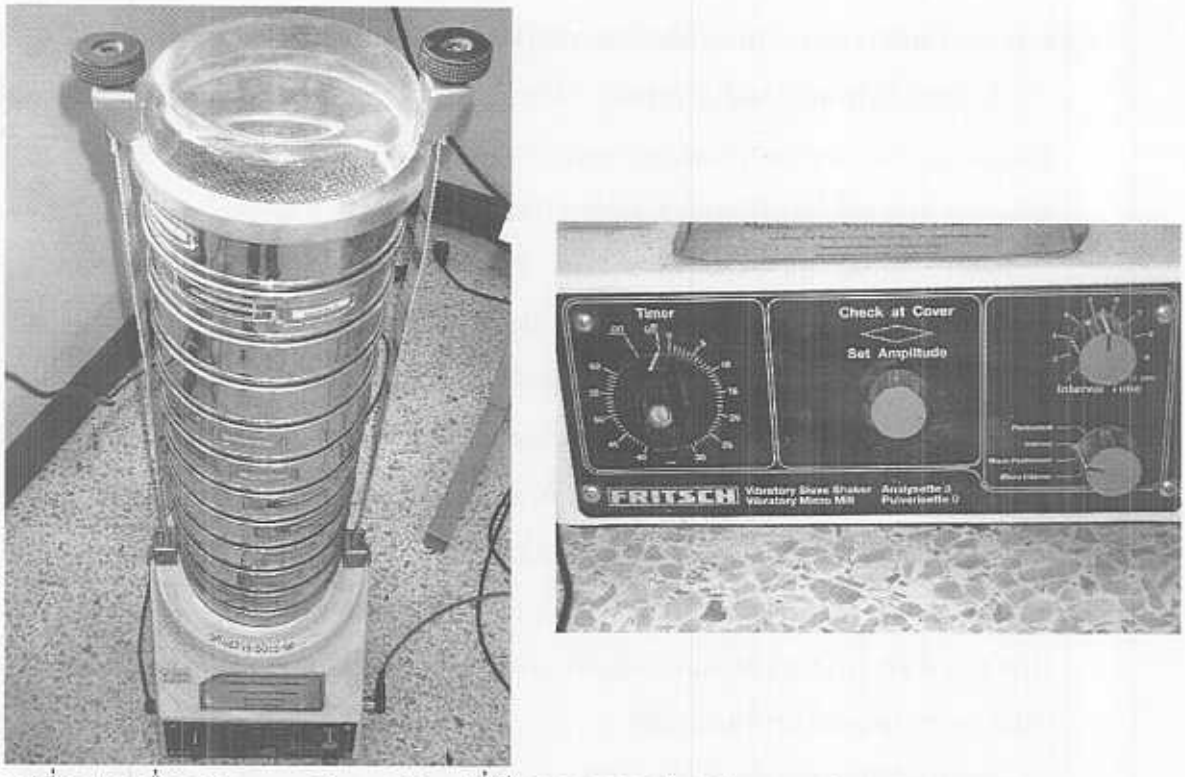
3.3 เตาอบ อุณหภูมิต่ำ (200 องศา C)

3.4 เครื่องตระแกรง คัดขนาดแบบใช้แรงสั่นสะเทือน (Vibratory Sieve Shaker) ยี่ห้อ FRITSCH รุ่น

Vibratory Sieve Shaker Analysette 3

3.5 ภาชนะและอุปกรณ์สำหรับตวง และใส่ดินตัวอย่าง

3.7 ดินจอมปลวก



รูปที่ 3.10 เครื่อง Vibratory Sieve Shaker ยี่ห้อ FRITSCH รุ่น Vibratory Sieve Shaker Analysette

รูปที่ 3.11 ตาชั่งดิจิตอล พร้อมภาชนะใส่ดินตัวอย่าง สำหรับชั่งน้ำหนัก

การทดสอบหาขนาดความละเอียด และดูการกระจายตัวของเม็ดทราย โดยทั่วไป ถ้าต้องการดูเฉพาะขนาดของเม็ดทราย จะต้องนำทรายตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว ซึ่งเป็นการกวนแยกเอาดินเหนียว หรืออนุภาคที่เล็กกว่า 0.02 ม.ม. ออกไปจะเหลือเฉพาะเม็ดทราย แต่ถ้าเป็นทรายใหม่ที่ต้องการนำมาหาขนาดของส่วนประกอบทั้งหมดที่ปนรวมกันมา ซึ่งอาจจะมีทั้งขนาด ที่อยู่ในช่วงที่เล็กกว่าทราย และขนาดที่เป็นหินและกรวดสามารถนำมาใช้เครื่องมือนี้เพื่อการทดสอบได้เช่นกัน สำหรับในห้องปฏิบัติการ ผู้สอนจะเตรียมทรายไว้ 4 ชนิด คือ ทราย ระยอง ทรายแม่น้ำโขง แม่น้ำชี และ แม่น้ำมูล ทรายจากแม่น้ำโขง-ชีและมูลจะมีกรวดปนมา

ด้วยซึ่งความเป็นจริงแล้วในทรายหล่อจะไม่มีกรวด จึงควรคัดออกก่อน ก่อนที่จะนำไปทดสอบหาคุณสมบัติอื่นๆ ส่วนทรายระยองจะมีขนาดเล็กละเอียดสม่ำเสมอกันดีมีกรวด ปนอยู่ในปริมาณน้อยเหมาะที่จะนำไปทำการทดลองหาปริมาณดินเหนียวก่อน แล้วจึงนำมาทำการทดลองหาขนาดและการกระจายตัวของเม็ดทรายต่อเนื่องกันไปเลย(วิธีนี้ใช้น้ำหนักทรายตัวอย่าง 50 กรัม หลังจากแยกดินเหนียวออกแล้วนำไปอบให้แห้ง แล้วจึงนำไปทดลองวิเคราะห์หาขนาดต่อได้เลย)

ขั้นตอนการทดลอง

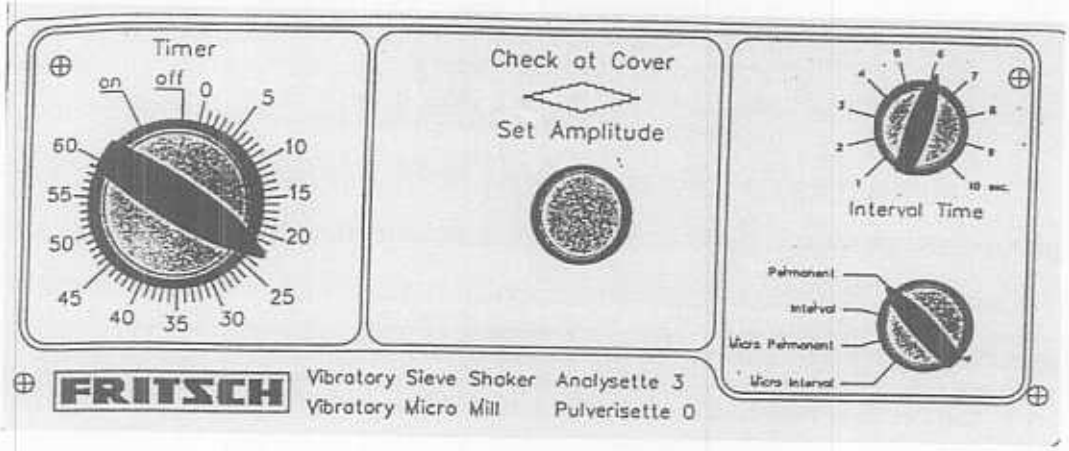
1. เตรียมทรายตัวอย่าง โดย วิธีการสุ่มเอาทรายที่จะนำมาทดสอบโดยใช้ประมาณ 100 กรัม

2. นำทรายไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิประมาณ $105^{\circ}C$ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง หรือ จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ และต้องแน่ใจว่าน้ำกลายเป็นไอระเหยออกหมดแล้วหรือยัง

3. หลังจากที่น้ำหนังทรายคงที่แล้วนำออกมาใส่ไว้ใน desiccator ซึ่งจะช่วยในการดูดความชื้น และ ปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง

4. เมื่อตัวอย่างเย็นตัวถึงอุณหภูมิห้องแล้ว แบ่งชั่งเอาตัวอย่างมา 50 กรัม

5. เตรียมเครื่องทดลองให้อยู่ในสภาพพร้อมทดสอบ โดย ตรวจสอบความถูกต้องของตระแกรง และเรียงตามลำดับหมายเลข ให้ถาดรอง (Pan) อยู่ล่างสุดและวางซ้อนกันด้วยเบอร์ 200, 140, 100, 70, 50, 40, 30, 20, 12,และ เบอร์ 6 เมื่อเรียบร้อยแล้วให้เททรายตัวอย่างลงที่ถาดบนสุด ก่อนที่จะปิดฝา และ ล็อกให้แน่นพอตรึงมือ ข้อควรระวังอย่าให้สายรัดดึงหย่อนเกินไป เพราะเมื่อเครื่องเริ่มทำงานแรงสั่นสะเทือนอาจจะทำให้ฝาครอบ และ ตะแกรงหลุดหล่นลงมาได้ ดูรูปที่ 1 ประกอบ



รูปที่ 3.12 แผงควบคุมและปรับตั้งการทำงานของเครื่อง Sieve Shaker

6. ปรับตั้งค่าการทำงานของเครื่องสั่น ซึ่งที่แผงควบคุม (รูปที่ 3) มีปุ่มให้เลือกในการปรับตั้ง 4 อย่าง คือ

6.1 Timer : position " off " = off

position " on" = continuous operation

position "0-60" = sieving time 0 to 60 minutes

กำหนดให้ใช้เวลา 15 นาที ตามมาตรฐาน ของ A.F.S.

6.2 Set Amplitude : ความรุนแรงของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง สามารถเลือกได้ระยะความสูง ตั้งแต่ 0.5 ถึง 3 m.m. เริ่มต้นจาก 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 m.m. ปกติแล้วจะเลือกใช้ 2.0 m.m.

6.3 Interval Time : ช่วงห่างของเวลาของการสั่ง สามารถเลือกปรับได้ตั้งแต่ 1 ถึง 10 วินาที

6.4 Function switch : ลักษณะการสั่นมีให้เลือก 4 แบบ ดังนี้

- Permanent approx. 3000 vibrations / minute, amplitude variable,
  no interval control
- Interval approx. 3000 vibrations / minute, amplitude variable,
  interval control variable
- Micro Permanent approx. 4500 vibrations / minute, amplitude constant,
  no interval.
- Micro Interval approx. 4500 vibrations / minute, amplitude constant, interval variable.

ถ้าเลือกแบบ Interval ให้ปรับตั้งค่า Interval Time ตามที่ต้องการ

7. เมื่อตั้งค่าต่างๆได้ตามต้องการเปิดเครื่องให้เริ่มทำงาน รอจนกว่าครบเวลา 15 นาทีตามที่กำหนดเครื่องจะหยุดเอง เปิดฝา นำทรายที่ค้างแต่ละตระแกรงเทออกใส่ภาชนะรอง หรือแผ่นกระดาษแห้ง ในขั้นตอนนี้ต้องทำอย่างระมัดระวัง เทออกให้หมด แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าในตารางบันทึกผล ทำเช่นนี้ของทุกชั้นของตระแกรง

8. นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่า A.F.S. Grain Fineness Number

ตัวอย่างการหาค่า Fineness Number

เบอร์ตะแกรง Mesh number	ปริมาณทรายที่ตกค้าง percent retained	ค่าคงที่ multiplier	ผลคูณ product
6	0	3	0
12	0	5	0
20	0	10	0
30	2.0	20	40
40	2.5	30	75
50	3.0	40	120
70	6.0	50	300
100	20.0	70	1400
140	32.0	100	3200
200	12.0	140	1680
270	9.0	200	1800
Pan	4.0	300	1200
ผลรวม	90.5	-	9815

ค่าความละเอียด A.F.S. = $\frac{\text{ผลรวมทั้งหมดของผลคูณ}}{\text{ผลรวมของ \% Retained}}$

$= \frac{9815}{90.5} = 104$

3.2.7 การทดสอบหาอัตราลมผ่าน (Permeability)

การเรียงตัวของเม็ดทรายที่ผสมเสร็จแล้ว และขึ้นรูปเป็น โพรงแบบทรายหล่อ ปกติจะมีช่องว่างเกิดขึ้นเพื่อที่จะให้แก๊สที่เกิดขึ้นจากความชื้น ในทรายที่ถูกเผาด้วยอุณหภูมิของโลหะเหลวที่เทลงในแบบหล่อ ซึมผ่านหนีออกไปได้ การวัดอัตราลมผ่านหรือการปล่อยซึมก็เป็นการตรวจดูว่าแก๊สจะซึมผ่านออกได้สะดวกมากน้อยเพียงใด ความโปร่งของแบบทรายขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบหลายอย่าง เช่น รูปร่าง และขนาดของเม็ดทราย ความละเอียด ปริมาณดินเหนียว หรือสารผสมอื่นๆ ที่มีอยู่ในแบบทรายหล่อ และความอัดแน่นของแบบทราย

ดังนั้น การวัดค่าความโปร่งของแบบทรายจึงจำเป็นที่จะต้องทำให้ตัวแปรค่าต่างๆนี้หมดไป โดยการสร้างชิ้นทดสอบความโปร่งขึ้นมา ให้เป็นตัวอย่างมาตนฐาน โดยอาศัยหลักการของสมาคม A.F.S. ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน

โดยอัตราลมผ่านเกิดจากปริมาณอากาศที่ผ่านทรายเป็นมิลลิลิตรต่อนาที ภายใต้ความดันมาตรฐานที่กำหนดไว้ (10 กรัมต่อตารางเซนติเมตร) ค่าอัตราลมผ่านมาตรฐานหาได้โดย จับเวลาที่อากาศจำนวน 2000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึมผ่านแท่งทรายตัวอย่าง จนหมดภายใต้ความดัน 10 กรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยปกติค่าอัตราลมผ่านได้จากปริมาณอากาศมิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านปริมาตรของทรายที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเซนติเมตรและ สูง 1 เซนติเมตร ภายใต้ความกดดัน 10 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสามารถคำนวณหาจากสูตร

$$P = \frac{V * H}{P * A * T}$$

V = Value of air = 2000 cm^3

H = height of sand specimen in cm = 2.0*2.54 cm/in = 5.08 cm

P = pressure of the air in grams per cm^2 = 10 g/cm^2

A = Cross-sectional area of sand specimen in cm^2 = $in^2 * 2.54\ cm^2/in^2$

= 20.268 cm^2

T = Time in sec for 2000 cm^3 air to pass through specimen.

The permeability number pis reduced to 3000

= 7.2 / Tsec.

แต่ในปฏิบัติการนี้เราสามารถใช้ทดสอบกับเครื่องที่สามารถ อ่านค่าบนสเกลได้เลยโดยไม่ต้องจับเวลาและใช้สูตรนี้ สามารถที่จะตรวจสอบความผิดพลาดได้โดยจับเวลานำมาใช้วิธีคำนวณหาผลลัพธ์และเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้บนสเกลของเครื่อง permeability-measuring device ที่ใช้ทดสอบ หรือ permeability apparatus หลักการทำงานของเครื่องทดสอบ permeability apparatus หรือเรียกว่า permmeter ก็คือการไล่อากาศที่บรรจุอยู่ใน Airdrum ให้ซึมผ่าน specimen ออกมาภายใต้ความกดดันคงที่ Airdrum จะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ขณะเดียวกัน Airdrum ก็จะพา Triger rod หรือเรียกว่า cut-out เลื่อนตามลงมาด้วยจนถึงขีดที่กำหนดจะทำให้ automatic clock ตรงหน้าปัทม์เริ่มทำงาน เข็มชี้ที่หน้าปัทม์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาลงมาเรื่อย ๆ เมื่อ automatic clock หยุดทำงานก็อ่านค่าตัวเลขบนสเกลของหน้าปัทม์ได้

ในการอ่านค่าบนสเกลนี้ต้องการให้ตรงที่ตั้งไว้บน Triger rod เพราะที่ Triger rod นี้สามารถจะตั้ง permeability range ได้ 3 ช่วง คือ 500 , 250 และ 25 มิลลิลิตร เพื่อให้เครื่องมีช่วงการทำงานได้กว้างขึ้น

จะสังเกตได้ว่า ถ้า Specimen มีความโปร่งมากก็ยอมให้อากาศผ่านไปได้เร็วขณะที่อากาศผ่าน specimen เข็มที่หน้าปัทม์จะค่อย ๆ หมุนย้อนจากตัวเลขมากไปยังตัวเลขน้อย ในการที่จะให้อากาศ 2000 ลบ.ซม. ผ่านหมด เมื่อใช้เวลาน้อย ตัวเลขที่เข็มสเกลก็ย่อมมากนั้นคือค่าความโปร่งหรืออัตราลมผ่านมาก

แต่ถ้า Specimen ยอมให้อากาศผ่านยาก คือมีความโปร่งน้อยก็จะทำให้ใช้เวลาในการซึมผ่านมากขึ้นในปริมาณอากาศ 2000 ลบ.ซม เข็มที่ชี้บนสเกลก็จะให้เวลาในการหมุนไปยังค่าตัวเลขที่น้อยค่าความโปร่งก็จะน้อย ซึ่งค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราลมผ่านของ Small orifice กับ Large orifice

วิธีการทดลอง

1.เตรียมดินตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ใส่ในกระบองเพื่อสร้างแท่งตัวอย่างตามขนาดมาตรฐาน A.F.S โดยคงให้แท่งทรายตัวอย่างอยู่ในกระบอกอัด

2.นำเอาดินที่ผ่านการกระทุ้งแล้วซึ่งอยู่ในกระบอกทดลองไปเข้าเครื่องวัดอัตราการปล่อยซึม

3.ปรับดูระดับของ Scale ปริมาตรอากาศ Air drum ให้ตรงระดับที่เส้นตามองเครื่อง

4.เลือกช่วงการทดสอบ คือ 500,250 และ25 มิลลิลิตร

5.เปิดสวิทซ์เครื่อง และโยกคันโยกเปิดช่องทางให้อากาศผ่านแท่งทดสอบ

6.สังเกตุเข็มเคลื่อนที่ และจะอ่านค่าเมื่อเข็มหยุดเคลื่อนที่ และอ่านค่าครงตามช่วงที่เหลือไว้ สำหรับค่า 0-500 อ่านที่สเกลวงนอก และถ้าเลือก 0-25 หรือ 0-250 อ่านค่าที่สเกลกันหอย

7.นำค่าที่ได้บันทึกผลในตาราง

รูปที่ 3.13 เครื่องทอสอบอัตราการซึมผ่านหรือความโปร่ง

3.2.8 การวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมีของทองเหลืองและสำริด

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้คือ เครื่องSpectrometer ดังแสดงในรูปที่ 3.16 เพื่อหาธาตุต่างๆที่ผสมอยู่งานหล่อทั้งที่เป็นทองเหลือง และสำริด

ที่ 3.14 วิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมี Spectrometer ยี่ห้อ Applied Research Laboratories ARL 3460

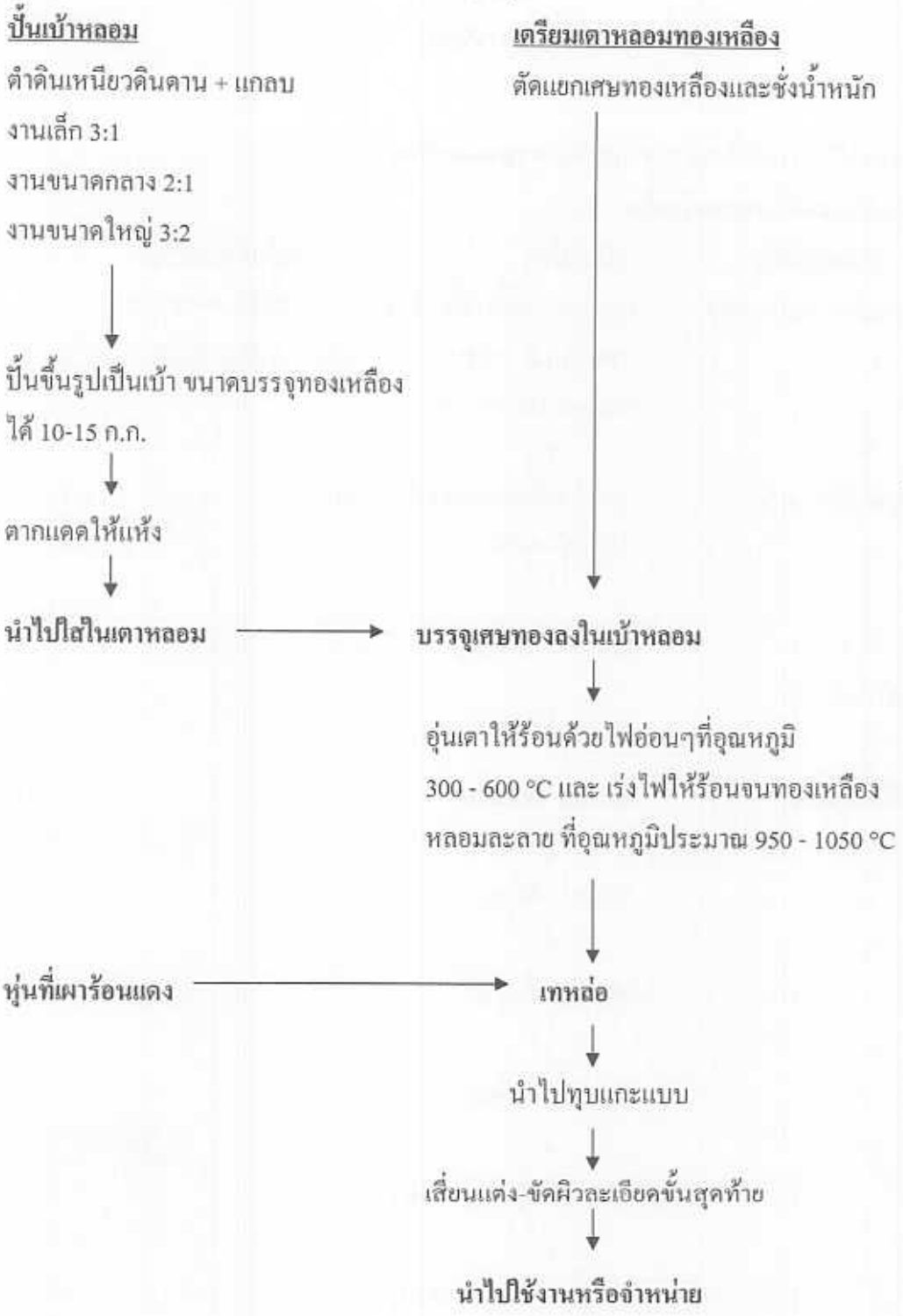
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนการทำหัตถกรรมทองเหลือง

4.1.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิต

(ต่อ)


ปั้นเบ้าหลอม
ดำดินเหนียวดินดาน + แกลบ
งานเล็ก 3:1
งานขนาดกลาง 2:1
งานขนาดใหญ่ 3:2
ปั้นขึ้นรูปเป็นเบ้า ขนาดบรรจุทองเหลือง
ได้ 10-15 ก.ก.
ตากแดดให้แห้ง
นำไปใส่ในเตาหลอม
เตรียมเตาหลอมทองเหลือง
ตัดแยกเศษทองเหลืองและชั่งน้ำหนัก
บรรจุเศษทองลงในเบ้าหลอม
อุ่นเตาให้ร้อนด้วยไฟอ่อนๆที่อุณหภูมิ
300 - 600 °C และ เร่งไฟให้ร้อนจนทองเหลือง
หลอมละลาย ที่อุณหภูมิประมาณ 950 - 1050 °C
หุ่นที่เผาร้อนแดง
เทหล่อ
นำไปทุบแกะแบบ
เสี่ยนแต่ง-ขัดผิวละเอียดขั้นสุดท้าย
นำไปใช้งานหรือจำหน่าย

4.2 ศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ของทองเหลืองและสำริดหล่อ

การศึกษาได้เลือกเอาข้อต่อทองเหลืองและก๊อกน้ำซึ่งเป็นเศษทองเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบและเป็นส่วนผสมหลัก และงานหล่อที่ได้ คือ กระดิ่งสำริด ผลที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณของธาตุต่างๆในโลหะทองเหลืองและสำริดหล่อ

ตัวอย่าง	ปริมาณของธาตุ(%)														
	Cu	Zn	Pb	Sn	Ni	Fe	Al	Mn	Si	P	S	Sb	As	Mg	Co
ข้อต่อทองเหลือง	60.087	35.222	2.7927	0.965	0.32846	0.274	0.246	0.027	0.021	0.018	0.003	0.012	0.004	0.0036	0.0003
ก๊อกน้ำทองเหลือง	61.607	33.365	2.4246	0.4167	1.6677	0.328	0.035	0.024	0.103	0.004	0.004	0.015	0.005	0.0007	0.0018
กระดิ่งบรอนซ์	71.8421	17.0911	1.8083	8.2683	0.26488	0.5734	0.023	0.00004	0.00268	0.00358	0.00765	0.06769	0.04404	-	-
ลูกกระพรวน	69.79	23	2.58	2.48	0.2	0.42	1.43	-	-	-	-	-	-	-	-

4.3 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็ง ในการทดลองนี้เลือกเอา ตัวอย่างที่เป็น ก๊อกน้ำ กระดิ่ง ผอบ และหมากหิ่งหรือกระพรวน ผลที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ 4.2

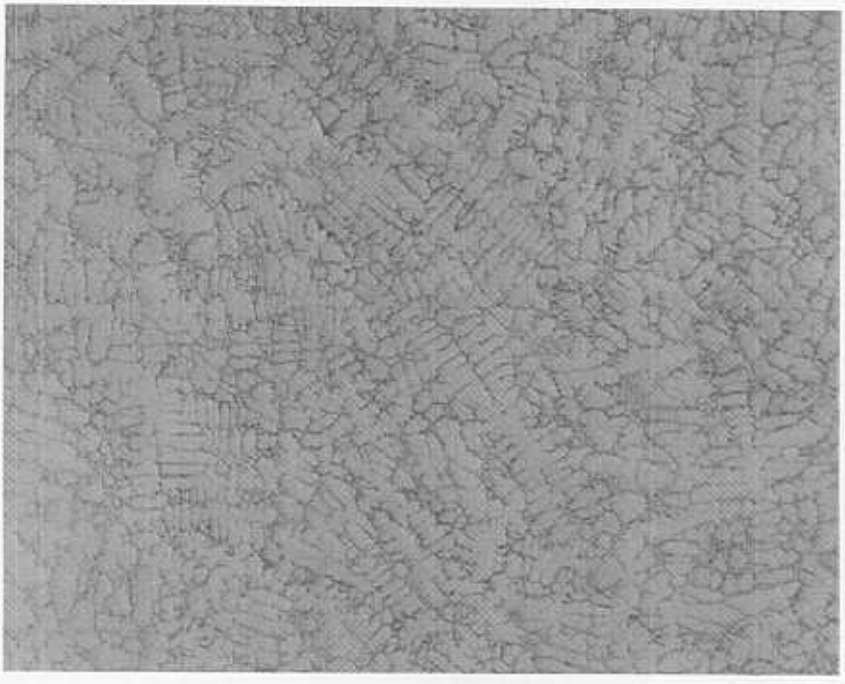
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความแข็ง ของโลหะที่ใช้หล่อและงานหล่อทองเหลือง

ชนิดตัวอย่าง	ผลการทดสอบ HRB			
	กดครั้งที่ 1	กดครั้งที่ 2	กดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ก๊อกน้ำ	32	45	46	41
กระดิ่ง	69.5	55	50	58.17
ผอบ	56	51.5	40	49.17
กระพรวน	52	51	54	52.33

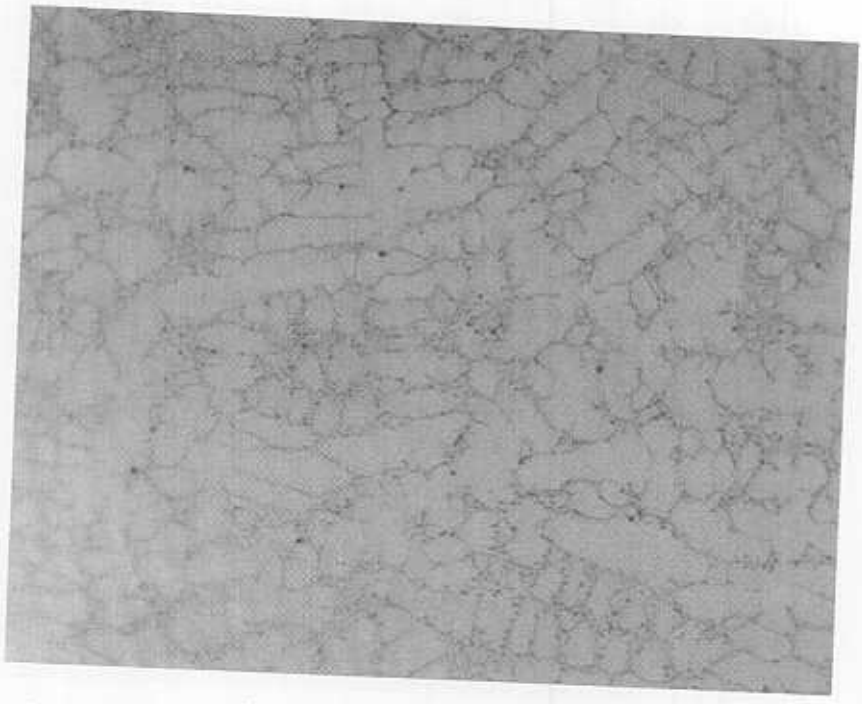
4.4 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของทองเหลืองและสำริด

การศึกษาโครงสร้างจุลภาค เป็นการแสดงผล โครงสร้าง ของเศษทองเหลือง และงานหล่อทองเหลืองและสำริด คือ ชุดเซี่ยนหมาก ซึ่งจะประกอบไปด้วยงานหลายชิ้น งานวิจัยได้เลือกเอาผอบมาศึกษา และผลิตภัณฑ์ตัวอื่นคือ กระดิ่งและลูกกระพรวน ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.26

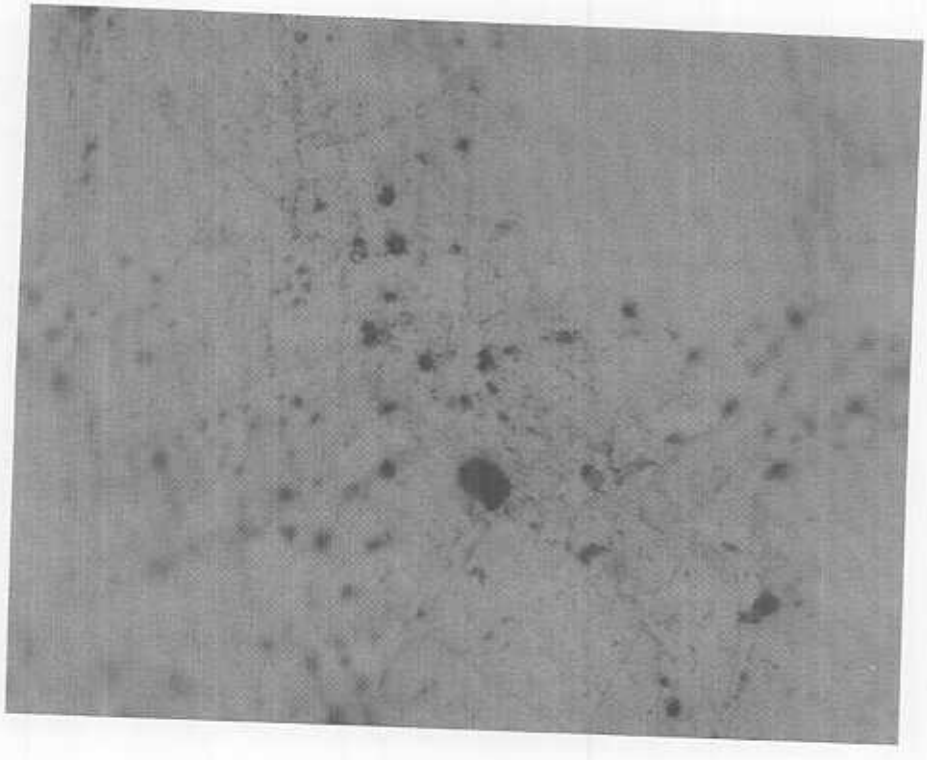
รูปที่ 4.1 เศษโลหะประเภททองเหลือง ที่นำมาใช้ในหารหลอมหล่อ



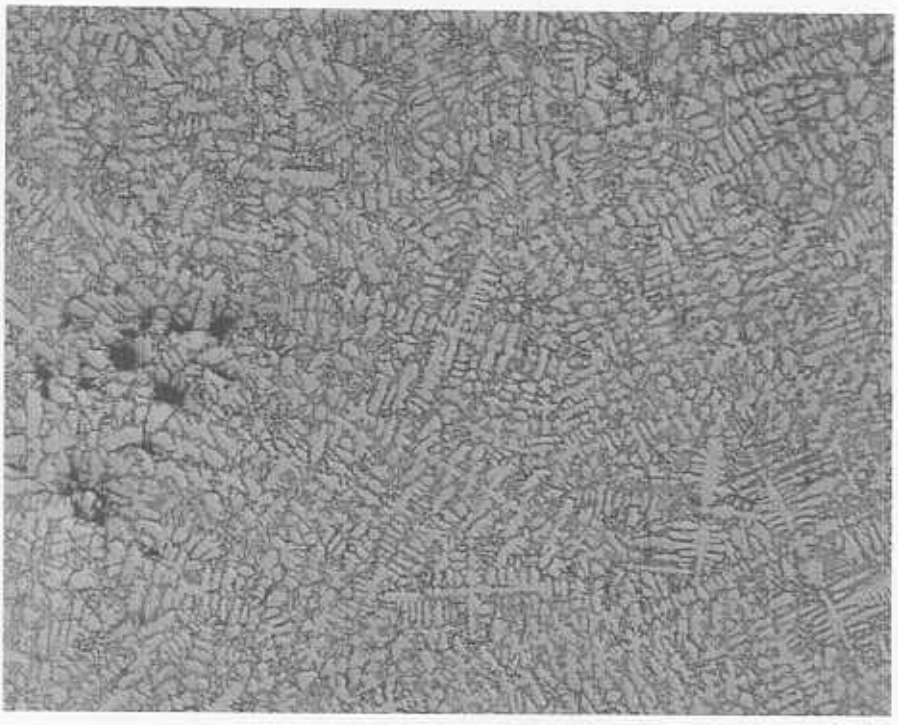
รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาคของก๊อกน้ำทองเหลืองกำลังขยาย 50 เท่า



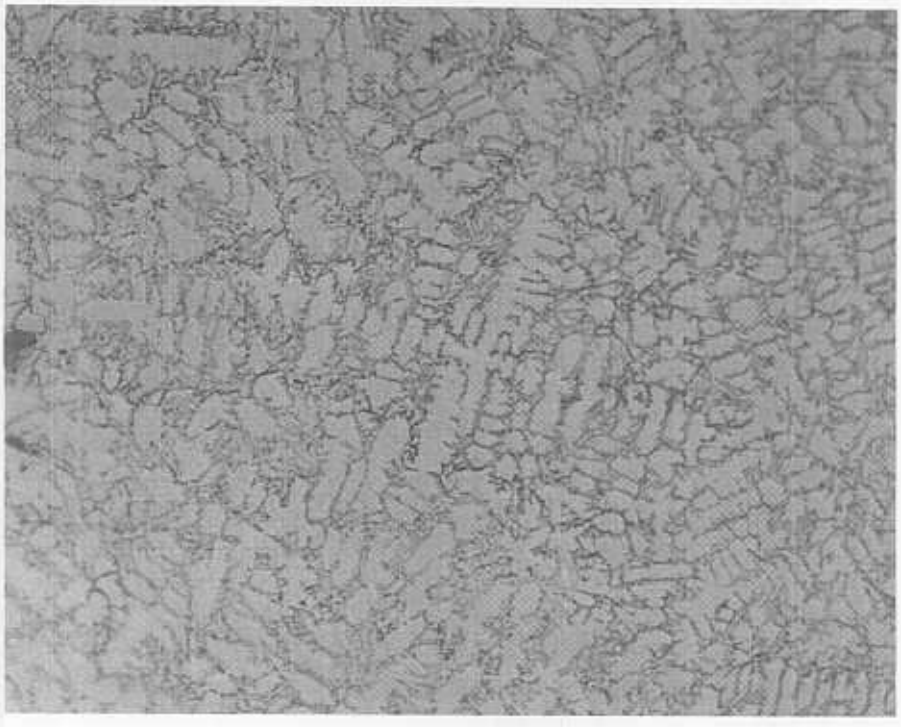
รูปที่ 4.3 โครงสร้างจุลภาคของก๊อกน้ำทองเหลืองกำลังขยาย 100 เท่า



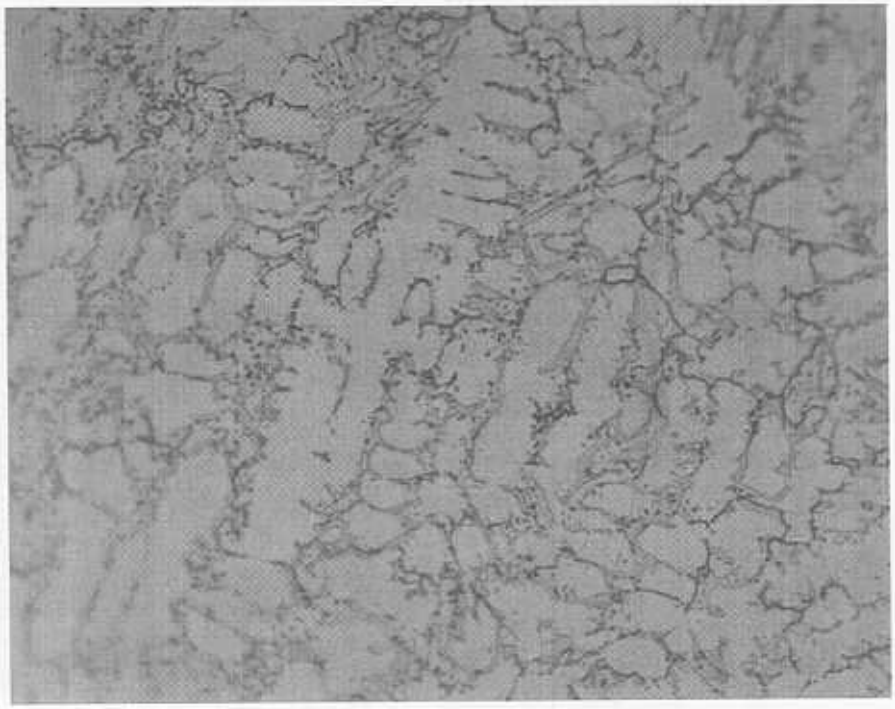
รูปที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคของก๊อกน้ำทองเหลืองกำลังขยาย 1000 เท่า



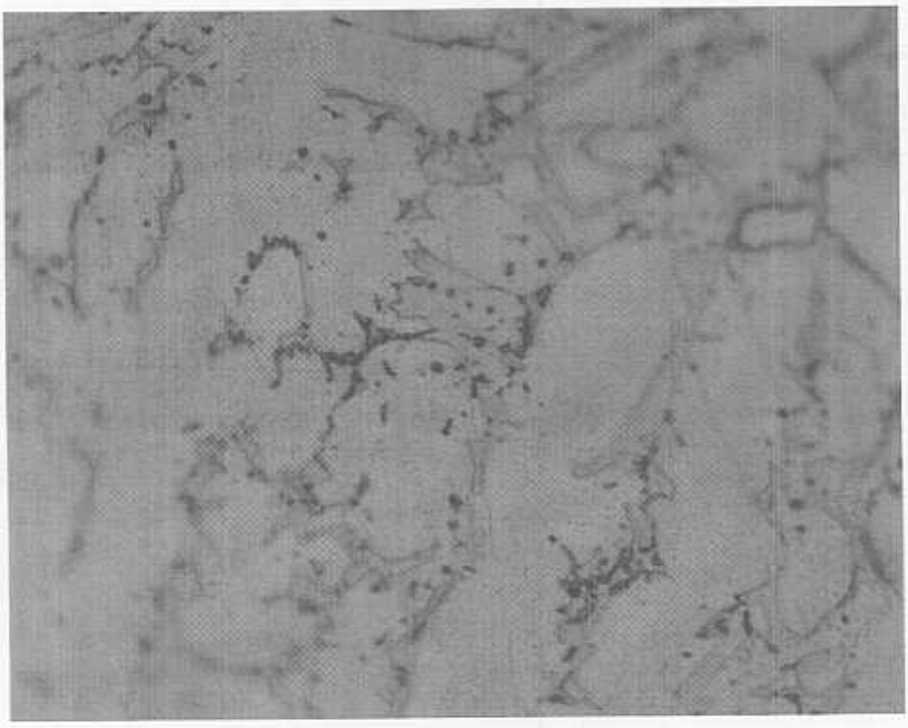
รูปที่ 4.5 โครงสร้างจุลภาคของข้อต่อทองเหลืองกำลังขยาย 50 เท่า



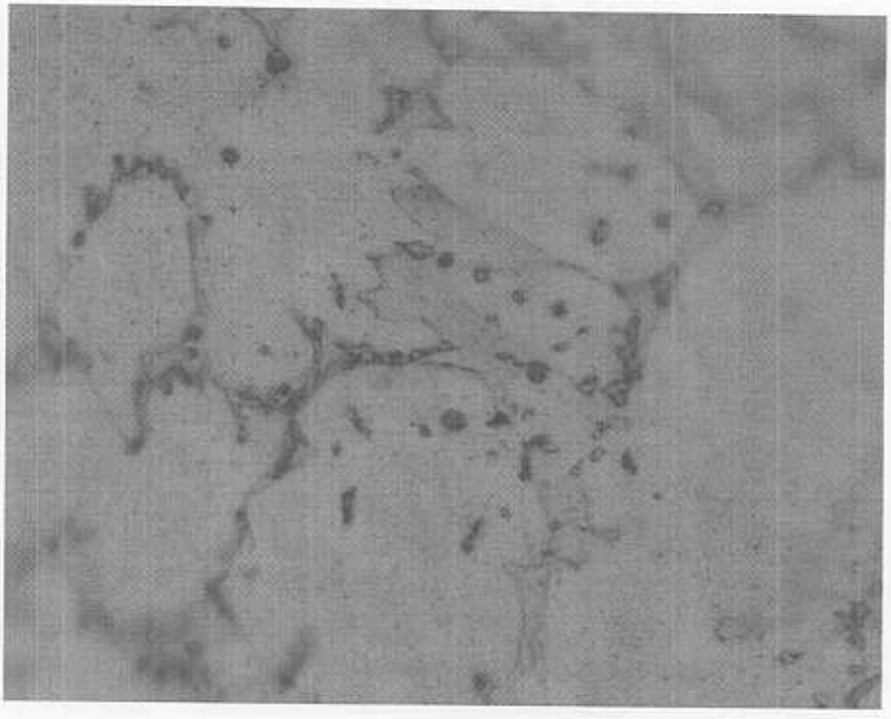
รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของข้อต่อทองเหลืองกำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาคของข้อต่อทองเหลืองกำลังขยาย 200 เท่า

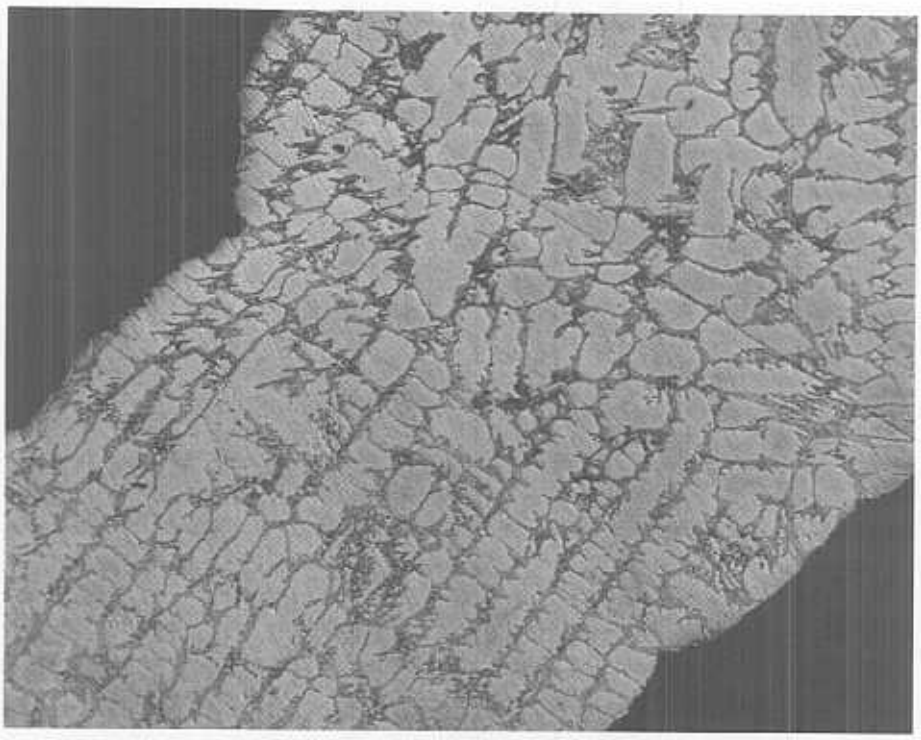


รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาคของข้อต่อทองเหลืองกำลังขยาย 500 เท่า

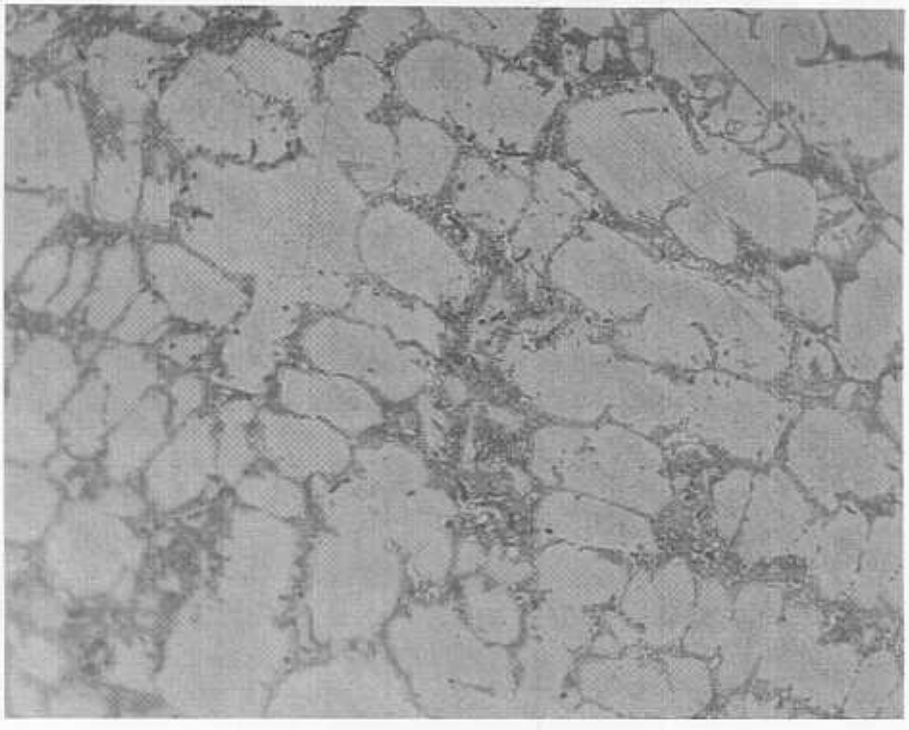


รูปที่ 4.9 โครงสร้างจุลภาคของข้อต่อทองเหลืองกำลังขยาย 1000 เท่า

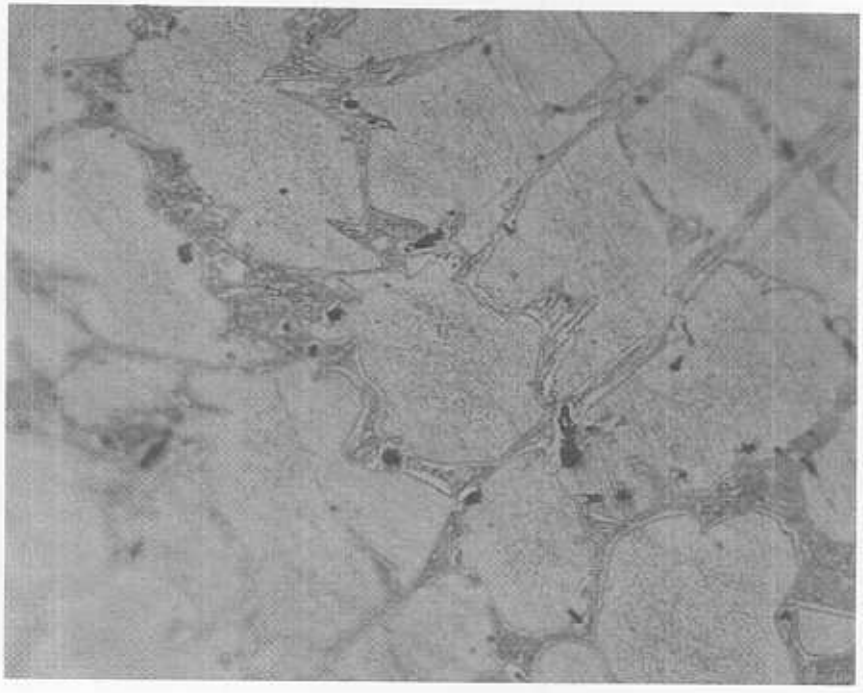
รูปที่ 4.10 ชุดเสี้ยนหมาก (ผอบ, ซองใบพลู, ครกตำหมาก กระบอกปูนฯลฯ)



รูปที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคของผอบทองเหลือง กำลังขยาย 50 เท่า



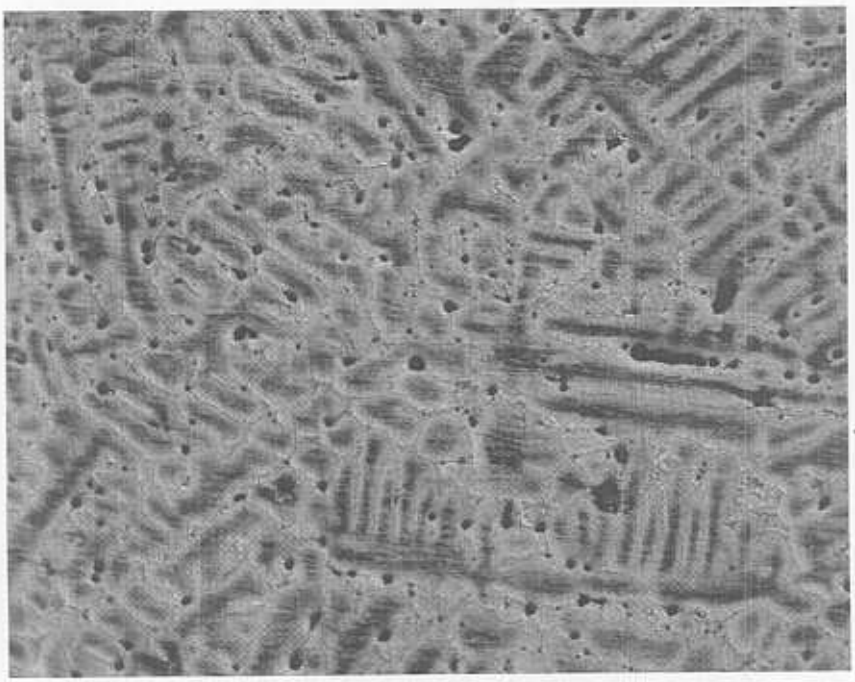
รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของผอบทองเหลือง กำลังขยาย 100 เท่า



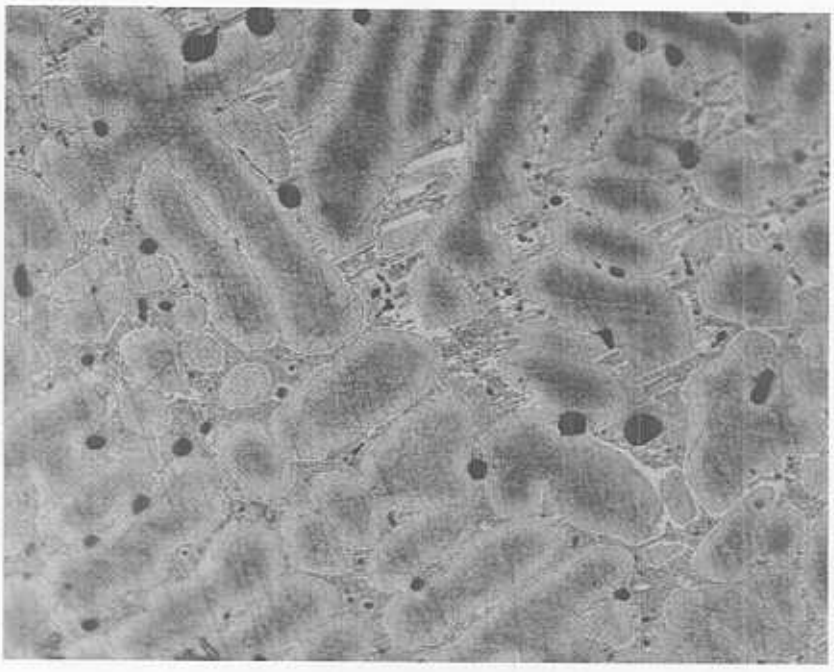
รูปที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาค งาน ผอบทองเหลือง กำลังขยาย 200 เท่า

รูปที่ 4.14 โครงสร้างจุลภาคของผอบทองเหลือง กำลังขยาย 1000 เท่า

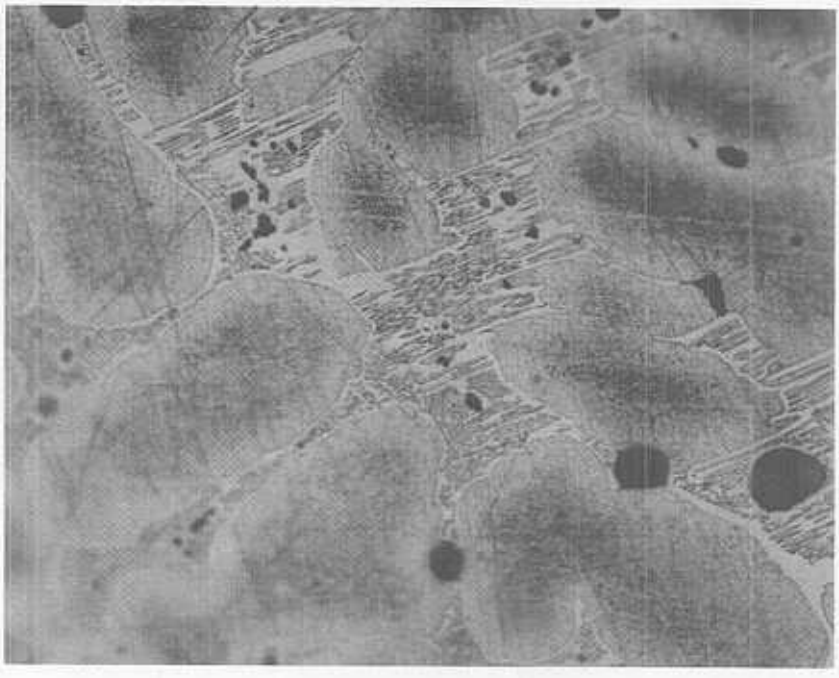
รูปที่ 4.15 งานหล่อ กระดิ่งสำริด



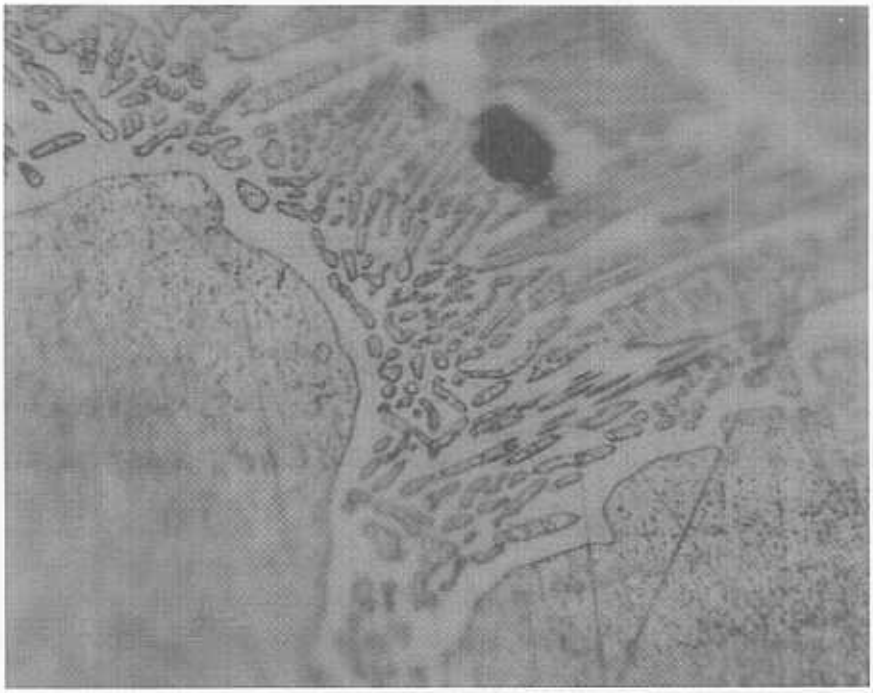
รูปที่ 4.16 โครงสร้างจุลภาคของกระดิ่งสำริด กำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคของกระดิ่งสำริด กำลังขยาย 100 เท่า



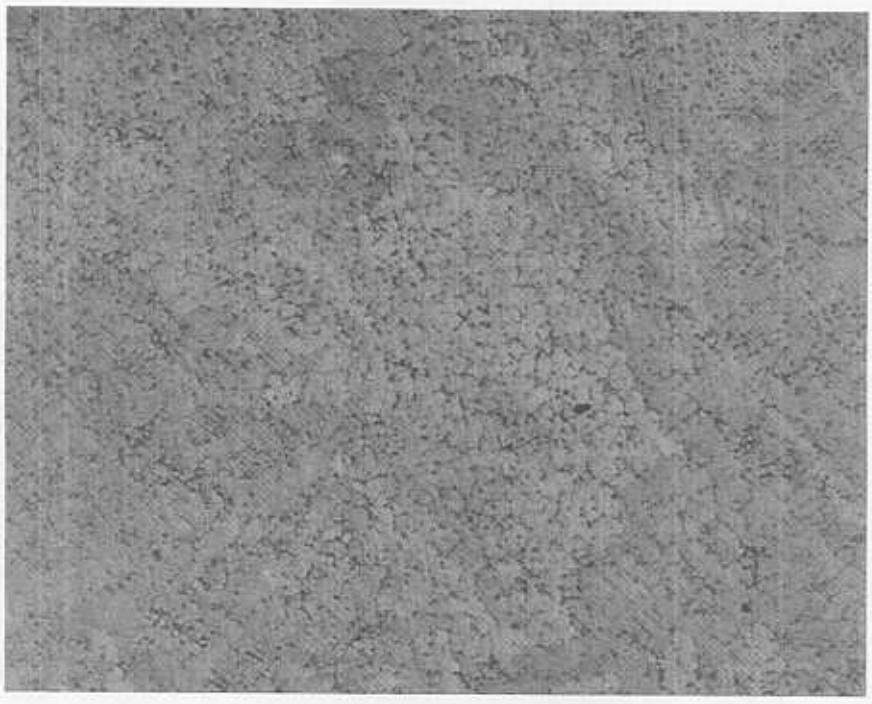
รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของกระดิ่งสำริด กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4.19 โครงสร้างจุลภาคของกระดิ่งสำริด กำลังขยาย 500 เท่า

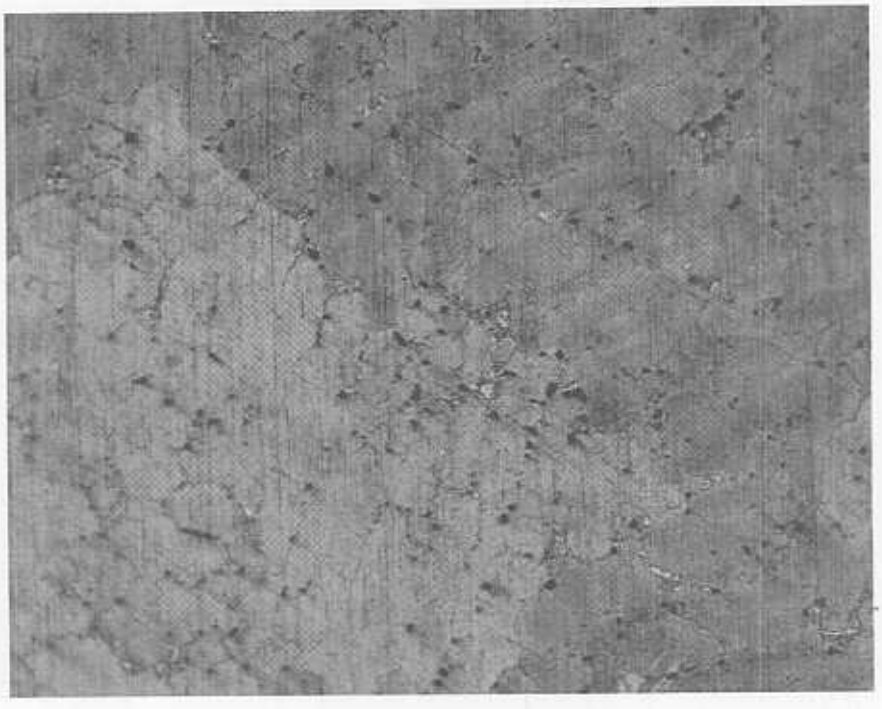
รูปที่ 4.20 โครงสร้างจุลภาคของกระดิ่งสำริด กำลังขยาย 1000 เท่า

รูปที่ 4.21 หมากหิ่ง หรือ กระพรวน สำริด

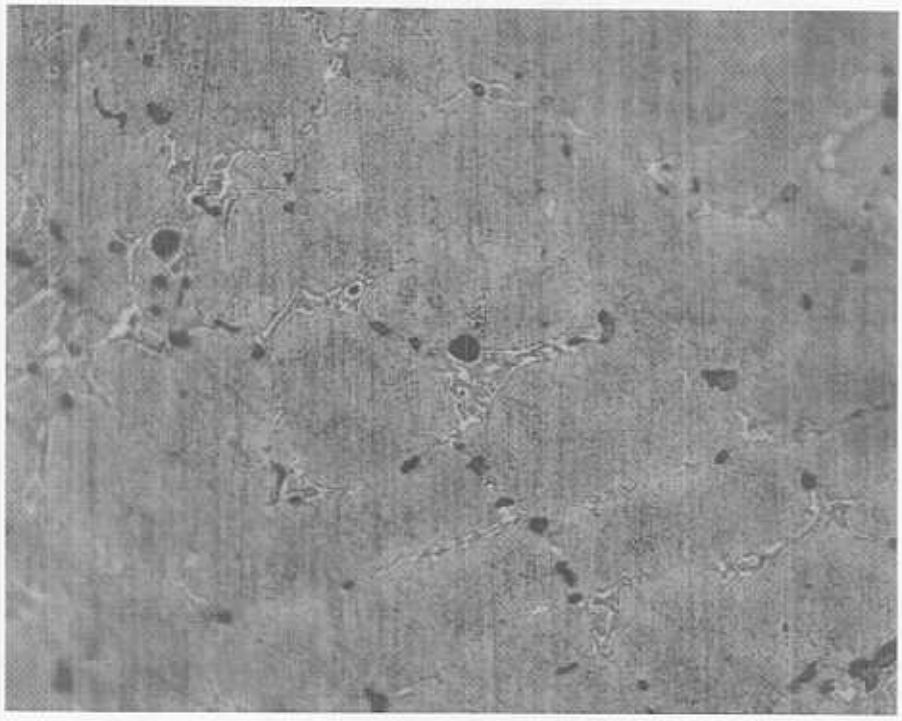


รูปที่ 4.22 โครงสร้างจุลภาคกระพรวนสำริด กำลังขยาย 50 เท่า

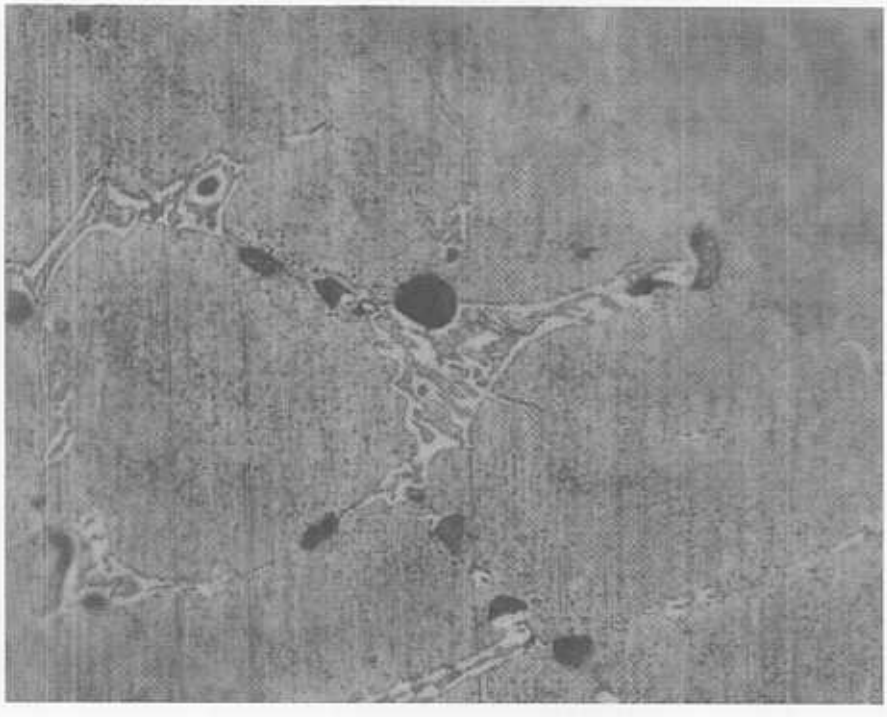
รูปที่ 4.23 โครงสร้างจุลภาคกระพรวนสำริด กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.24 โครงสร้างจุลภาคกระพรวนสำริด กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4.25 โครงสร้างจุลภาคกระพรวนสำริด กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4.26 โครงสร้างจุลภาคกระพรวนสำริด กำลังขยาย 1000 เท่า

4.5 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกลของดินจอมปลวก และ ขี้ผึ้งและส่วนผสมที่ใช้ในการหล่อทองเหลือง

4.5.1 ขี้ผึ้ง

ขี้ผึ้งที่ใช้ในการหล่อทองเหลืองเป็นขี้ผึ้งผสมระหว่างขี้ผึ้งแท้ (beeswax) และเทียนไขหรือขี้ผึ้งเทียม (spermaceti) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 ส่วน ซึ่งขี้ผึ้งแท้และเทียนไข เป็นสารอินทรีย์ และจัดเป็นสารโมเลกุลใหญ่ ที่เกิดจากโมเลกุลเล็กๆ ที่เรียกว่า มอนอเมอร์ (monomer) จำนวนมากมาต่อกันเป็นโมเลกุลเดี่ยวที่มีขนาดใหญ่

ขี้ผึ้งแท้และเทียนไข เป็นสารอินทรีย์ประเภท ลิพิด (lipid) เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ มีสมบัติเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น อีเทอร์ เบนซีน คาร์บอนเททระคลอไรด์ และเฮกเซน เป็นต้น มีจุดหลอมเหลวต่ำ

ขี้ผึ้งแท้ เป็นวัสดุที่ผึ้งผลิตขึ้นเป็นรังผึ้ง มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็น มิริซิลแพลมิเทต (myricyl palmitate) มีสูตรเป็น $(C_{15}H_{31}CO_2C_{30}H_{61})$ ซึ่งเป็นสารเอสเตอร์ของกรดแพลมิติก $(CH_3(CH_2)_{14}COOH)$ กับมิริซิลแอลกอฮอล์ $(CH_3(CH_2)_{29}OH)$ นอกจากนี้มีเอสเตอร์ของกรดซีโรติก $(C_{25}H_{51}COOH)$ กรดไขมัน $(C_{24}-C_{34})$ และไฮโดรคาร์บอน มีจุดหลอมเหลวต่ำประมาณ 60-80 C^0

เทียนไข มีสภาพคล้ายขี้ผึ้ง สกัดมาจากน้ำมันในสมองของปลาวาฬ (ที่คุณตาใช้ผมยังหาไม่ได้นะครับอาจารย์) มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็น เซทิลแพลมิเทต (cetyl palmitate) มีสูตรเป็น $(C_{15}H_{31}CO_2C_{16}H_{33})$ มีจุดหลอมเหลวต่ำประมาณ 42-47 C^0

4.5.2 ชันณรงค์

ชันณรงค์หรือขี้ชี เป็นยางไม้หรือพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดหนึ่ง ที่มักจะพบที่บริเวณเปลือกไม้ของต้นจิกและต้นรัง ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในเขตจังหวัดอุบลฯ มีสถานะปกติเป็นของแข็งแต่เปราะ มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน เมื่อนำไปผสมกับขี้ผึ้งแล้ว จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ได้ ขี้ผึ้งผสมที่มีสมบัติใหม่ ที่มีความเหนียว ไม่เปราะ คงรูปอยู่ได้ สามารถปั้นขึ้นรูปและกลึงตกแต่งได้ง่าย

4.5.3 ชำมะโรง

ชำมะโรงหรือขี้สูด มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับขี้ผึ้งแท้ ซึ่งเป็นรังของแมลงชนิดหนึ่ง ที่ชาวบ้านเรียกว่า แมลงขี้สูด ที่มีลักษณะคล้ายแมลงหวี่ โดยส่วนมากจะพบในโพรงไม้ ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในเขตจังหวัดอุบลฯเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน เมื่อนำไปผสมกับขี้ผึ้งและชันณรงค์แล้ว จะทำให้ได้ขี้ผึ้งผสมที่มีความเหนียว ไม่เปราะแตกง่าย สามารถปั้นขึ้นรูปและกลึงตกแต่งได้ง่าย

ตารางที่ 4.3 ส่วนประกอบของดินจอมปลวกและดินจอมปลวกที่ผสมมูลวัวแล้วที่ทดสอบด้วยเครื่อง AA

ชนิดของสสาร	แมงกานีส	สังกะสี	เหล็ก	ทองแดง	แมกนีเซียม
ดินจอมปลวก	0.0253	0.0099	0.2617	0.0025	0.0221
ดินจอมปลวกที่ผสมมูลวัว	0.0256	0.0233	0.3164	0.0173	0.0467

ตารางที่ 4.4 ความชื้นของดินจอมปลวก มูลวัว และดินจอมปลวกที่ผสมมูลวัวแล้ว

ชนิดของสสาร	ความชื้น (%)
ดินจอมปลวก	8
มูลวัว	70
ดินจอมปลวกที่ผสมมูลวัวแล้ว	30

ตารางที่ 4.5 การกระจายตัวของขนาดในดินจอมปลวก และมูลวัว

เบอร์ของตระแกรง ตามมาตรฐาน A.F.S.	การกระจายตัวของขนาด (%)	
	ดินจอมปลวก	มูลวัว
6	0	26.15
12	0.54	19.35
20	3.70	14.53
30	8.61	7.12
40	15.12	6.28
50	22.06	6.14
70	22.63	6.14
100	10.68	4.31
140	7.22	2.39
200	4.08	1.5
270	2.67	0.72
ชั้นล่างสุด	2.66	0.52

4.6 การทดสอบความแข็งแรงด้านการกดอัด และความโปร่ง ตามมาตรฐาน A.F.S.

4.6.1 การเตรียมวัตถุดิบ มีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1.ดินจอมปลวกผสมแกลบ ดินที่นำมาทดสอบใช้ดินจอมปลวกผสมแกลบ ในอัตราส่วน ดิน : แกลบ คือ 2 : 1 หมายถึง ดินจอมปลวก 2 ส่วน ต่อ แกลบ 1 ส่วน ดินผสมนี้ใช้สำหรับหุ้มแบบหล่อชั้นนอก ซึ่งเป็นดินหยาบ มีความโปร่งสูง

2. ดินจอมปลวกผสมขี้วัว เป็นดินผสมเพื่อใช้ในการปั้นพิมพ์ หรือปั้นแกน (ไส้แบบ) และนำมาโอบเพชร ซึ่งมีความละเอียดและมีความโปร่งกว่าดินผสมชั้นนอก ใช้อัตราส่วนผสม ดินจอมปลวก 2 ส่วน ต่อ ขี้วัว 1 ส่วน

3. ดินเหนียวผสมแกลบ ใช้ดินเหนียวไม่ใช่ดินจอมปลวก เป็นดินเหนียวแข็งหรือดินเหนียวชั้นดินดาน ปกติมีลักษณะแข็งละเอียด นำมาใช้สำหรับผสมทำเบ้าหล่อ ใช้อัตราส่วนผสม ดินเหนียว 1 ส่วน ต่อ แกลบ 1.5 ส่วน ก

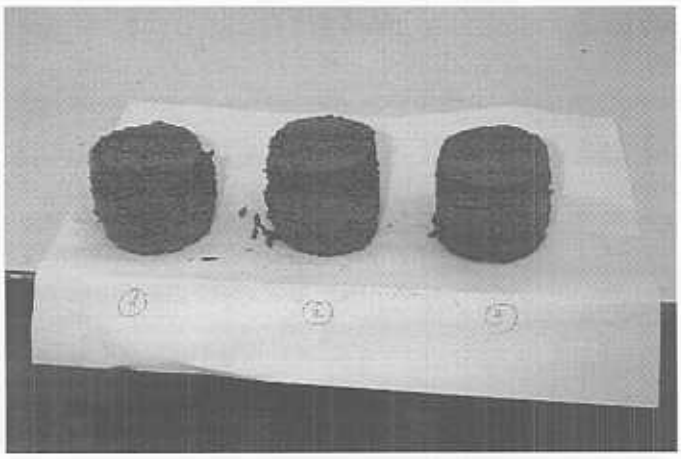
4. การเตรียมตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างเป็นไปตามข้อกำหนดของ A.F.S. โดยการนำดินตัวอย่างมาอัดลงในกระบอกมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำหนักกระแทก 14 lb ยกขึ้นสูง 2 นิ้ว แล้วปล่อยกระแทกลงมา โดยยกขึ้นและปล่อยให้กระแทกลง 3 ครั้ง จะได้ทรายตัวอย่างที่มีความสูง 50.8 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้พร้อมทั้งกระบอกมาตรฐานไปประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบความโปร่ง เมื่อวัดและอ่านค่าที่ได้เสร็จแล้วจึงนำเอาตัวอย่างออกจากกระบอก ไปทดสอบความต้านทานแรงกดอัดต่อไป เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ คือ Permeability/Georg Fischer DISA

รูปที่ 4.27 ดินจอมปลวกและมูลวัวที่นำมาผสมทำหุ่นหล่อ

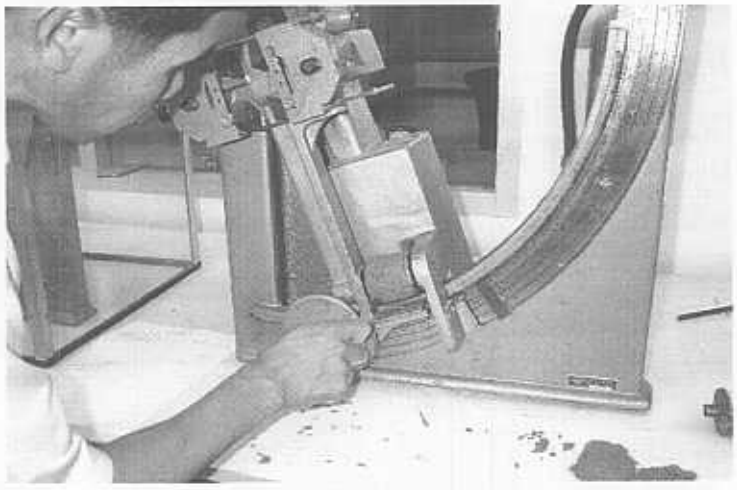
รูปที่ 4.28 ชั่งน้ำหนักดินจอมปลวกที่ผสมเข้ากันดีกับมูลวัว

รูปที่ 4.29 นำดินผสมที่ได้มาอัดเป็นแท่งตัวอย่างมาตรฐาน

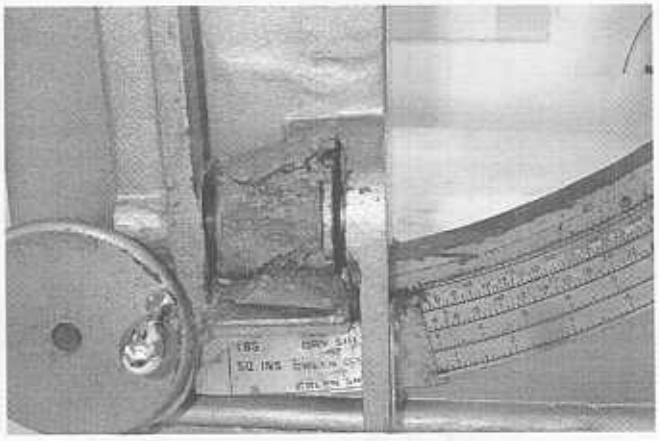
รูปที่ 4.30 นำแท่งตัวอย่างที่ได้ขนาดมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง



รูปที่ 4.31 ตัวอย่างที่อัดเป็นแท่งรอการนำไปทดสอบความแข็งแรง



รูปที่ 4.32 การทดสอบความด้านทานแรงอัด



รูปที่ 4.33 แท่งตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบจะถูกอัดจนแตกและอ่านค่าที่วัดได้ในตำแหน่งนั้น

ในการรายงานผลการทดสอบเพื่อความสะดวกและเข้าใจง่ายกำหนดให้ รหัส A = ดินจอมปลวกผสมแกลบ B = ดินจอมปลวกผสมขี้วัว C = ดินเหนียวผสมแกลบ และ D = ดินจอมปลวก ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.6-4.11 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 การทดสอบความแข็งแรงดันอัด-เฉือน และ ความโปร่งของ Green and Dry sand mold

ชนิดของตัวอย่าง	ผลการทดสอบ				
	Dry Tensile (kg/cm^2)	ความแข็งแรงกดอัด Green (kg/cm^2)	ความโปร่ง Dry(ml/min)	ความโปร่ง Green(ml/min)	น้ำหนักตัวอย่าง
A	0.1	8	260	27	189.83
	0.1	7.7		23	186.58
	0.1	7.2		23	187.40
ค่าเฉลี่ย	0.1	7.63		24.33	187.94
B	3.5	6.9	90	10	188.64
	3	6.9		10	188.95
	4.8	7.1		10	189.34
ค่าเฉลี่ย	3.77	6.97		10	188.98
C	0.3	2.25	65	16	168.6
	0.2	2.5		10	169.2
	0.2	2.2		12	164
ค่าเฉลี่ย	0.23	2.32		12.67	167.27
D	6.8	10.2	14	49	185
	7.5	9.5		53	190
	7	9.1		40	190
ค่าเฉลี่ย	7.1	9.6		47.33	188.33

4.7 การทดสอบหาปริมาณความชื้น

วิธีการทดสอบหาปริมาณความชื้นในตัวอย่าง ทำได้โดย การชั่งน้ำหนักดินตัวอย่าง ก่อนการนำไปอบให้แห้ง และ ชั่งน้ำหนักหลังการอบให้แห้ง นำน้ำหนักที่ได้ ก่อนอบและหลังอบมาลบกัน ผลที่ได้คือปริมาณความชื้น ให้ A = ดินจอมปลวกผสมแกลบ, B = ดินจอมปลวกผสมขี้วัว, C = ดินเหนียวผสมแกลบ, D = ดินจอมปลวก, E = ดินเหนียว และ F = ขี้วัว

ตารางที่ 4.7 การทดสอบหาปริมาณความชื้น

ชนิดตัวอย่าง	ผลการทดสอบ กรัม,%			
	น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	น้ำหนักที่หายไป	%
A	200	163.751	36.25	18.125
B	200	155.166	44.834	22.42
C	200	142.534	57.466	28.733
D	100	90.891	9.109	9.109
E	200	170.333	29.67	14.84
F	200.18	39.576	160.604	80.23

4.8 การทดสอบหาความแข็งของแบบหล่อ ชนิดชื้นและแห้ง

วิธีการทดสอบ โดยการใช้ตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมเช่นเดียวกับตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบความแข็งแรง ก่อนนำไปทดสอบความแข็งแรงก็นำมาวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบมือถือสำหรับทดสอบทรายหล่อตามมาตรฐาน A.F.S. สำหรับตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบในสภาวะแห้งต้องนำไปอบไล่ความชื้นออกให้หมดเสียก่อน ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 6,7,8,9 ให้ A = ดินจอมปลวกผสมแกลบ, B = ดินจอมปลวกผสมขี้วัว, C = ดินเหนียวผสมแกลบ, D = ดินจอมปลวก

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบ Green and Dry sand mold hardness test B-scale ของตัวอย่างชุด A

ตัวอย่าง	Green Hardness				Dry Hardness			
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	เฉลี่ย
A1	59	60	61	60	60	59	64	61
A2	65	67	82	71.33	67	70	71	69.33
A3	78	76	75	76.33	58	59	60	59
เฉลี่ย	67.33	67.67	72.67	69.22	61.67	62.67	65	63.11

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบ Green and Dry sand mold hardness test B-scale ของตัวอย่างชุด B

ตัวอย่าง	Green Hardness*				Dry Hardness			
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	เฉลี่ย
B1	0	0	0	0	81	86	84	83.67
B2	0	0	0	0	80	82	84	82
B3	0	0	0	0	80	83	85	82.67
เฉลี่ย	0	0	0	0	80.33	83.67	84.33	82.78

*อ่อนเกินไปไม่สามรถอ่านค่าได้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบ Green and Dry sand mold hardness test B-scale ของตัวอย่างชุด C

ตัวอย่าง	Green Hardness*				Dry Hardness			
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	เฉลี่ย
C1	0	0	0	0	59	70	74	67.67
C2	0	0	0	0	70	75	70	71.67
C3	0	0	0	0	58	55	59	57.33
เฉลี่ย	0	0	0	0	62.33	66.67	67.67	65.56

*อ่อนเกินไปไม่สามรถอ่านค่าได้

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบ Green and Dry sand mold hardness test B-scale ของตัวอย่างชุด D

ตัวอย่าง	Green Hardness				Dry Hardness			
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	เฉลี่ย
D1	80	81	80	80.33	79	80	83	80.67
D2	81	81	82	81.33	82	87	84	84.33
D3	78	76	75	76.33	83	81	84	82.67
เฉลี่ย	79.67	79.33	79	79.33	81.33	82.67	83.67	82.56

บทที่ 5
วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

5.1 วิจารณ์ผลการวิจัย

5.1.1 การวิเคราะห์ผลของวัสดุที่นำมาหลอมหล่อ

เนื่องจากส่วนมาก จะใช้ก๊อกน้ำทองเหลือง จึงเลือกเอามาศึกษา ผลจากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี ซึ่งมีธาตุหลักคือ Cu และ Zn ซึ่งมีปริมาณ 33.36-35%Zn เมื่อนำมาพิจารณาประกอบกับข้อมูลเฟสไดอาแกรมระบบสองธาตุCu-Zn พบว่าส่วนมากจะเกิดเป็นเฟส α เกือบทั้งหมด เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างจุลภาคที่ได้ พบว่าลักษณะโดยทั่งไปจะเป็นโครงสร้าง dendritic มี β เฟส เกิดขึ้นบริเวณระหว่างแขนของ dendri และสมารถมองเห็นอนุภาคกลมของตะกั่วที่ตกผลึกอยู่ตามบริเวณขอบเกรนระหว่าง α เฟสและ β เฟส ก๊อกน้ำทองเหลืองมีความแข็งเฉลี่ยประมาณ 41HRB

5.1.2 การวิเคราะห์ผลของงานหล่อ

งานหล่อที่เลือกนำมาศึกษา คือ ผอบ กระดิ่งหรือระฆังขนาดเล็ก และหมากหิ่งหรือลูกกกระพรวน จากผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี ผอบ จะมีส่วนผสมเหมือนกันกับข้อต่อและวาล์ว และมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็น dendritic เหมือนกัน มีโครงสร้างประกอบด้วยเฟส α เฟสและ β เฟส

ตัวอย่างกระดิ่งบมี Zn ประมาณ17% มี Pb 1.8% และมี Sn มากถึง 8.27% ซึ่งเป็นโลหะผสมจำพวกบรอนซ์หรือสำริด จากการสำรวจเอกสารไม่สามารถจัดเข้ากับกลุ่มมาตรฐานใดได้เลย มีความแข็ง ประมาณ 58.17 HRB

ตัวอย่างลูกกระพรวน ดูจากส่วนผสมทางเคมีที่ได้เป็นประเภทบรอนซ์หรือสำริด ปริมาณธาตุ Znและ Pb จะมีมากกว่าของกระดิ่ง แต่ Sn จะมีปริมาณน้อยกว่า และจะ Al เพิ่มขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัดกว่าตัวอย่างอื่น คือประมาณ 1.43% ซึ่งจากการสังเกตพบว่าช่างหล่อจะเพิ่มเข้าไปโดยใช้กระป๋องเบียร์หรือน้ำอัดลม เพื่อช่วยในการหลอมให้ง่ายขึ้น แต่ปริมาณตะกั่วจะสูงกว่าระฆัง ซึ่งคุณสมบัติด้านงานหล่อตะกั่วจะช่วยให้น้ำโลหะไหลตัวได้ง่ายขึ้น ค่าความแข็งของกระพรวน จะต่ำกว่าระฆังคือประมาณ 52.33 HRB

โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างทั้งสองมีส่วนคล้ายกันมากเนื่องจากมีธาตุ Sn เป็นส่วนผสมเหมือนกัน ลักษณะเป็น dendritic แต่ขนาดของเกรนจะเล็กกว่าของกระดิ่งอย่างเห็นได้ชัด

5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทั้งหมดที่กล่าวมา ทำให้พบว่าการควบคุมส่วนผสมทางเคมีจะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติต่าง และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องทองเหลืองบ้านปะอาว แบ่งเป็นสองประเภท คือ ประเภทที่ต้องการผิวสีที่สวยงามสดใสวาว และประเภทที่ต้องการเสียงที่มีดังกังวาน ซึ่งจากประสบการณ์ของช่างหล่อทองเหลืองบ้านปะอาวสามารถกำหนดได้ตามที่ต้องการโดยเพียงอาศัยการตรวจสอบด้วยตาและประสาทสัมผัสเท่านั้น แต่ก็ไม่สามารถรับรองได้ว่าการหล่อแต่ละครั้งจะสามารถผลิตได้คุณภาพเหมือนเดิม ซึ่งทำให้เห็นแนวทางในการนำไปสู่การพัฒนา คือ การหาวิธี การควบคุมคุณภาพ การตรวจสอบให้แม่นยำยิ่งขึ้นในการคัดเลือกวัตถุดิบก่อนนำมาหลอมหล่อ และในขั้นตอนอื่นๆอีกตลอดทั้งกระบวนการผลิต ซึ่ง จะส่งผลโดยตรงต่อการผลิตงานหล่อให้ได้มาตรฐานสม่ำเสมอตามที่ลูกค้าต้องการ และสามารถลดปริมาณของเสียลงได้ เป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตอีกทางหนึ่ง ทำให้กลุ่มหัตถกรรมมีรายได้เพิ่มขึ้นเพียงพอต่อการดำเนินกิจการนี้และยังคงไว้ให้เป็นมรดกแก่คนรุ่นหลังสืบต่อๆกันไป

บรรณานุกรม

1. Juthamas Siriwan,1996,"The Personality of Thailand, Tourism of Thailand, Damsutha Press, Bangkok Thailand, pp.64-72

2. Peter M. Bovin, 1976, "Centrifugal or Lost Wax Jewelry Casting", Bovin Publishing, Forest Hills, L.I., N.Y.,pp.6-7

3. Ammen C.W., 1977, "Lost Wax Investment Casting"., U.S.A.

4. วิโรจน์ ศรีสงคราม, "อุบลราชธานี 200 ปี", ชวนพิมพ์,กรุงเทพฯ,2535

5. ธิดา สาระยา,"เมืองอุบล : ธานีแห่งราชะ ศรีสง่าแห่งไพรพฤกษ์",สำนักพิมพ์เมืองโบราณ,2536

6. สุรพล นาถะพินธุ " โลหกรรมสมัยโบราณ ในประเทศไทย", บทความวิชาการ วารสาร MTEC, เมษายน-มิถุนายน 2542

7. Brass and Bronze Institute,1984, "Casting Copper-Base Alloys",American Foundrymen's Society,Des Plaines,ILLinois,pp.143-149

8. Aramand J. Labbe, 1985," BAN CHIANG: ART AND PREHISTORY OF NORTHEAST THAILAND ", Smith Printers and Lithographers, Tustin, CA

9. อิสรา ธีระวัฒน์กุล, "การพัฒนาเตาหลอมทองเหลืองและทองสัมฤทธิ์ของชาวบ้านปะอาว",สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,มิถุนายน,2535

ประวัตินักวิจัย

นายสุริยา โชคสวัสดิ์

การศึกษา : สำเร็จการศึกษา

- ระดับปริญญาตรี สาขา เทคโนโลยีการผลิต (อ.ส.บ.) จาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีวัสดุ (วศ.ม.) จาก คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การทำงาน : อาจารย์ ระดับ 7 สังกัดภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

งานวิจัย : ที่ดำเนินการแล้วเสร็จ และอยู่ระหว่างการดำเนินการ

- การศึกษาความเป็นไปได้การตั้งโรงหล่อในเขตอีสานตะวันออก ปีงบประมาณ 2542
- โครงสร้างและคุณสมบัติของทองเหลืองหล่อโดยกรรมวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย กรณีย์หัตถกรรมหล่อทองเหลืองบ้านปะอาว ปีงบประมาณ 2544

งานวิจัยที่อยู่ในความสนใจ

- ศึกษาแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมหล่อเครื่องประดับโดยวิธีขี้ผึ้งหาย
- การศึกษาและพัฒนาเชิงอนุรักษ์งานสำริดในประเทศไทย
- การนำทรายแม่น้ำโขง ชี มูล มาใช้งานในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ

งานบริการวิชาการแก่ชุมชน

- เป็นที่ปรึกษาแก่ผู้ประกอบการ SME ภายใต้โครงการ 13ระยะที่1-2 และโครงการ ITB ของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม
- เป็นวิทยากร และ อนุกรรมการ 1 ตำบล 1 ผลิต จังหวัดอุบลราชธานี
- เป็นที่ปรึกษาให้แก่กลุ่มหัตถกรรมหล่อทองเหลืองบ้านปะอาว

นายอภิชาติ อาจนาเสียว

การศึกษา : สำเร็จการศึกษา

- ระดับปริญญาตรี สาขาวิสวกรรมเคมี (วศ.บ.) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีวัสดุ (วศ.ม.) จาก คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การทำงาน : อาจารย์ประจำ สังกัดภาควิชาวิสวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

งานวิจัย : ที่ดำเนินการแล้วเสร็จ และอยู่ระหว่างการดำเนินการ

- โครงสร้างและคุณสมบัติของทองเหลืองหล่อโดยกรรมวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย กรณีย์หัตถกรรมหล่อทองเหลืองบ้านปะอาว ปีงบประมาณ 2544

งานบริการวิชาการแก่ชุมชน

- เป็นที่ปรึกษาแก่ผู้ประกอบการ SME ภายใต้โครงการ 13ระยะที่1-2 และโครงการ ITB ของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม