

### บทที่ 3

#### กรรมวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย

##### 3.1 ทฤษฎีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย (Lost Wax Casting Process)

หลักการของกรรมวิธีการหล่อด้วยขี้ผึ้งหาย คือการนำเอาขี้ผึ้งมาหล่อให้ได้รูปร่างเหมือนกับชิ้นงานจริงที่ต้องการก่อน โดยการหล่ออาจเป็นการหล่อธรรมดาหรือจะใช้ความดันอัดขี้ผึ้งเข้าแบบก็ตาม หลังจากที่ได้แบบขี้ผึ้งมาแล้ว จะต้องเอาแบบมาประกอบกับส่วนที่เป็นรูเท รูลิ้น เพื่อป้องกันการยุบตัว ซึ่งส่วนที่จะกล่าวถึงนี้จะต้องทำด้วยขี้ผึ้งเช่นเดียวกัน หลังจากนั้นจึงนำแบบมาหุ้มด้วยวัสดุทนไฟอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งวัสดุทนไฟนี้เรียกว่า Invest ซึ่งประกอบด้วยผงวัสดุทนไฟกับตัวประสาน ถ้าเป็นงานหล่อโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า  $1000^{\circ}\text{C}$  จะใช้ผงวัสดุทนไฟผสมกับปูนปลาสเตอร์ ถ้าใช้กับโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า  $1000^{\circ}\text{C}$  จะต้องใช้วัสดุทนไฟผสมกับ Ethyl Silicate  $\text{Si}(\text{COC}_2\text{H}_5)_4$  หรือ Ammonium Phosphate  $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$  ผสมกับน้ำให้มีลักษณะเป็นของเหลวข้นๆ คล้ายครีม จากนั้นจึงนำเอาขี้ผึ้งชุบลงไป เพื่อให้ Invest เคลือบแบบขี้ผึ้ง กรรมวิธีในตอนนี้อาจจะต้องอาศัยเทคนิคประกอบ เช่นว่า อาจต้องชุบหลาย ๆ ครั้ง และเพิ่มความหนาของผงวัสดุทนไฟขึ้นทีละน้อย จน Invest มีความหนาพอ จากนั้นจึงนำไปอบให้แห้งโดยใช้อากาศแห้งเป่าผ่าน ต้องควรระวังฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นด้วย เมื่อแบบแห้งดีแล้ว นำมาวางภายในหีบเหล็ก จากนั้นก็เท Invest ที่ประกอบด้วยผงหยาบของวัสดุทนไฟกับตัวประสานจนเต็ม อาจต้องใช้การสั่น (Vibration) เข้าช่วย เพื่อให้ Invest ไหลลงจนเต็มแบบ โดยไม่มีฟองอากาศและปล่อยให้ Invest แข็งตัว จากนั้นจึงนำมาทำการเผาไล่ขี้ผึ้งออกโดยใช้ความร้อน แต่การวางแบบต้องกลับเอาด้านบนลง เพื่อให้ขี้ผึ้งไหลออกมาได้สะดวก อุณหภูมิที่ใช้สูงประมาณ  $90 - 150^{\circ}\text{C}$  บางกรณีอาจจะใช้ไอน้ำร้อนเป่าก็ได้ เมื่อไล่ขี้ผึ้งจนหมดแล้ว จึงนำแบบมาเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิสูงประมาณ  $650 - 1000^{\circ}\text{C}$  เป็นการเผาแบบก่อนเทโลหะ

จากนั้นแบบหล่อก็พร้อมสำหรับเทน้ำโลหะลงได้ ซึ่งการเทหล่อนี้แบ่งออกได้เป็น

ก. การป้อนน้ำโลหะแบบใช้ความถ่วง (Gravity) ซึ่งเป็นการเทหล่อโดยอาศัยน้ำหนักของน้ำโลหะหรืออาศัยจากแรงดึงดูดของโลก วิธีการเทหล่อแบบนี้จะใช้กับชิ้นงานที่มีรูปร่างขนาดใหญ่ มีลวดลายที่ไม่ละเอียดและซับซ้อนมากนัก ซึ่งน้ำโลหะสามารถที่จะไหลแทรกไปตาม

ช่องว่างของโพรงแบบ แบบที่ได้จากการเผาไล้ซึ่งมีขี้ผึ้งออกได้โดยสะดวกและทั่วถึง เช่นการเทหล่อ พระองค์ใหญ่ โดยจะมีการจัดระบบการจ่ายน้ำโลหะและรูล้นเหมือนกับกรรมวิธีการหล่อทั่วไป แบบสูญญากาศ หรือแบบใช้ความดันก็ได้

ข. การเทหล่อโดยใช้ความดัน หรือการเทหล่อโดยอาศัยแรงแห่วงแบบนี้ศูนย์กลาง โดยการใช้อุปกรณ์การหล่อเหวี่ยงเข้าช่วย โดยที่ตัวของโพรงแบบจะยึดไว้กับชุดของแขนเหวี่ยงและปากภูเทจะสวมประกอกับตัวเบ้าหน้าโลหะ ซึ่งขนาดของชิ้นงานจะจำกัดในขนาดที่เล็ก ๆ ซึ่งนิยมใช้กับงานหล่อเครื่องประดับ หลักการโดยอาศัยแรงเหวี่ยงจากชุดของสปริงที่ถูกม้วนหมุนรอบแกนเพลลาที่ตั้งในแนวตั้ง และแขนอยู่ในแนวระดับตั้งฉากกับแกนเพลลา เมื่อปล่อยแขนเหวี่ยงหลังจากที่ใส่น้ำโลหะลงในเบ้า จะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงนี้ศูนย์กลาง ก็จะสามารถนำเอาหน้าโลหะเข้าสู่โพรงแบบ โดยงานจะมีเนื้อที่แน่น ลวดลายละเอียดต่างๆ ที่ซับซ้อนจะครบถ้วนและชัดเจน

การทำแบบด้วยวิธี Investment มีส่วนดีหลายประการ เช่น สามารถควบคุม ขนาดได้ใกล้เคียงกับขนาดของชิ้นงานจริง สามารถหล่อชิ้นงานที่มีความซับซ้อนและมีลักษณะบางมาก ๆ ก็หล่อได้ และยังสามารถผลิตได้เป็นจำนวนมากในราคาต้นทุนต่ำ

### 3.2 ลำดับขั้นตอนการทำงานตามทฤษฎี

#### 3.2.1 การออกแบบชิ้นงาน

ก่อนที่จะทำงานขั้นอื่น ๆ ต่อไป จะต้องเลือกและทำการออกแบบชิ้นงานหล่อเสียก่อน เพื่อให้ได้ชิ้นงานออกมามีรูปร่าง ลักษณะและรายละเอียดตามที่ต้องการ โดยจะต้องคำนึงถึงการออกแบบระบบการจ่ายน้ำโลหะ รูเท รูล้น และความเหมาะสมอื่น ๆ ประกอบอีกด้วย เช่น

- ก. คำนึงถึงต้นทุนการผลิต และเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น
- ข. คำนึงถึงคุณภาพของงานที่สำเร็จเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น
- ค. คำนึงถึงความสะดวกรวดเร็วในการผลิต
- ง. พิจารณาเลือกใช้วัสดุต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้งานซึ่งควรจะเหมาะสมกับกระบวนการหล่อ เช่น การเลือกชนิดของวัสดุทนไฟ ให้เหมาะสมกับน้ำโลหะที่จะนำมาเทหล่อ การเลือกวัสดุที่นำมาทำต้นแบบกระสวน

- จ. สามารถตกแต่งผิวงานที่สำเร็จได้ง่ายและสะดวก

#### 3.2.2 การเตรียมต้นแบบ (Master Pattern)

เมื่อทำการออกแบบชิ้นงานหล่อเพื่อที่จะทำการหล่อ จะต้องทำต้นแบบ เพื่อที่จะนำไปทำแบบหล่อซึ่งทำจากขี้ผึ้งต่อไป วิธีการสร้างหุ่นสามารถที่จะทำได้ 2 วิธี คือ

ก. การทำต้นแบบจากดินน้ำมัน, ดินเหนียว หรือปูนปลาสเตอร์ให้ได้รูปร่างและรายละเอียดตามต้องการ หลังจากนั้นจึงนำไปหุ้มด้วยยางซิลิโคน เพื่อสร้างแม่พิมพ์ยาง สำหรับผลิตกระสวยซี่ผึ้งต่อไป

ข. การทำต้นแบบจากซี่ผึ้ง การสร้างแบบพิมพ์เพื่อที่จะให้ได้โพรงแบบผลิตหุ่นซี่ผึ้งแบบจะถูกสร้างขึ้นมาจากซี่ผึ้งให้ได้รูปร่างและรายละเอียดตามต้องการ หลังจากนั้นจึงนำไปหุ้มด้วยยางซิลิโคน เพื่อสร้างแม่พิมพ์ยาง สำหรับผลิตกระสวยซี่ผึ้งต่อไป

ค. การทำต้นแบบด้วยโลหะ โดยกรรมวิธีของช่างทอง โลหะที่ใช้ เช่น ทองเหลืองเงิน เป็นต้น และก่อนที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป ควรที่จะชุบผิวด้วยนิกเกิลเสียก่อน เพื่อที่จะให้ได้ผิวเรียบสวยงาม

ก่อนที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป ควรจะทำการตรวจสอบต้นแบบที่ผลิตได้ว่า ได้ขนาด รูปร่างและรายละเอียดดังต้องการ โดยขนาดของต้นแบบที่จะนำมาใช้หล่อนี้ ต้องเผื่อขนาดให้ใหญ่กว่าที่ต้องการประมาณ 10% สำหรับการเผื่อการหดตัวของซี่ผึ้ง การหดตัวของโลหะ และการขัดตกแต่งผิวขั้นสุดท้าย

### 3.2.3 การผลิตแม่พิมพ์ยาง (Mold Rubber)

แม่พิมพ์ยางที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ทำกระสวยซี่ผึ้งนี้ ผลิตขึ้นจากยางซิลิโคน (Wacker Silicone) ซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหลวในบรรยากาศ และจะแข็งตัวได้เมื่อเทสารช่วยเร่งการแข็งตัว (Art tinner) ลงไป ซึ่งจะให้ลักษณะเป็นแผ่นยางสีขาว หยุนตัว ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ก. ตรวจสอบและทำความสะอาดต้นแบบ เพื่อให้ได้ขนาดและไม่ให้มีสิ่งแปลกปลอมตกค้างอยู่ที่ต้นแบบ

ข. ผสมยางซิลิโคนและสารช่วยเร่งการแข็งตัวเข้าด้วยกัน โดยควรผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ ยางซิลิโคนประมาณ 10 ส่วนต่อสารช่วยเร่งการแข็งตัว 1 ส่วน ซึ่งไม่ควรผสมสารช่วยเร่งการแข็งตัวมากเกินไปเนื่องจากจะทำให้แม่พิมพ์ยางที่ได้นั้นมีความหยุนตัวน้อยและเปราะ

ค. หลังจากนั้นนำมาเทหุ้มต้นแบบที่เตรียมไว้ โดยต้องทำการเทถึง 3 ครั้ง เพื่อเป็นการเก็บรายละเอียดให้ได้ครบถ้วน ซึ่งในการเทยางลงไปครั้งแรกนี้ ต้องเทด้วยความระมัดระวังและทำการไล่ฟองอากาศด้วย เพื่อไม่ให้เกิดรูพรุนและมีสิ่งเจือปนในแม่พิมพ์ยาง หลังจากนั้น จึงปล่อยให้แข็งตัว ประมาณหนึ่งชั่วโมงเป็นอย่างน้อย

ในการทำแม่พิมพ์ยางนี้ ถ้าต้องทำทั้งสองด้าน จะต้องทำการแบ่งออกเป็นสองส่วนและนำมาประกบเข้าด้วยกัน จะต้องทำการเทยางทีละด้านและจะต้องทำตัวล็อก เพื่อที่จะ

ป้องกันการเลื่อนของหน้าผ้าที่จะประกบกัน ในตำแหน่งเดิมได้ และสามารถที่จะจดจำทิศทางของแบบเมื่อนำมาประกบกัน ซึ่งจะทำให้หลายแบบแล้วแต่ผู้ที่ออกแบบจะคำนึงถึงความเหมาะสม ซึ่งนิยมทำเป็นแนวฟันปลาหรือฟันเลื่อยสลับขึ้นลง หรือทำเป็นสลักหรือหมุด

ง. การตัดขอบนอก หมายถึงการตกแต่งขอบส่วนที่เกิดครีบ เนื่องมาจากปริมาณของยางส่วนที่เกินออกมา จึงทำการตัดแต่งให้เรียบร้อย

จ. การทำกรอบของแม่พิมพ์ยาง โดยการนำปูนปลาสเตอร์มาหุ้มแม่พิมพ์ยางที่ได้เพื่อจำกัดให้แม่พิมพ์ยางได้รูปทรง เมื่อนำไปเทขี้ผึ้งและทำให้ขี้ผึ้งได้รูปทรงตามต้องการ

### 3.2.4 การผลิตกระสวยขี้ผึ้ง (Wax Pattern)

ในงานผลิตกระสวย วัสดุที่ใช้สำหรับทำกระสวยสามารถที่จะเลือกใช้ได้หลายอย่าง เช่นพลาสติก ประเภทโพลีสไตรีน ทำแม่แบบ ในงานหล่อขี้ผึ้งหายนี้ ใช้ขี้ผึ้งสำหรับผลิตกระสวย ขี้ผึ้งที่ใช้อาจเป็นขี้ผึ้งที่ได้จากการผสมระหว่างขี้ผึ้งธรรมชาติ ได้แก่ คาร์นوبا (Carnauba) ซึ่งมีความแข็งแรงมากและ แคนดิลิลลา (Candelilla) มีความแข็งแรงพอสมควร

#### 3.2.4.1 คุณสมบัติของขี้ผึ้งผลิตกระสวย

ก. มีจุดหลอมละลายต่ำประมาณ 65 - 95°C และเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำ  
ข. มีการไหลตัวดี เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นของเหลว และแข็ง,ไม่เปราะเมื่อเย็นตัว และสามารถที่จะรักษามิติรูปทรงได้เป็นอย่างดี

ค. การหดตัวในสภาพของแข็งต่ำ

ง. เมื่อเผาไล่ที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิสูง 700°C ขึ้นไป ขี้ผึ้งจะต้องถูกเผาไหม้หมด ไม่มีเถ้าถ่านคงเหลืออยู่ภายในโพรงแบบ

#### 3.2.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตกระสวยขี้ผึ้ง

ก. อุปกรณ์ฉีดขี้ผึ้ง (Wax Injection) ใช้ความดันต่ำ และมีอุปกรณ์ให้ความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ พร้อมทั้งเครื่องผลิตลมดันสามารถปรับปริมาณลมได้ในปริมาณต่ำ

ข. ขี้ผึ้งจะต้องสะอาด ไม่มีสิ่งเจือปน

ค. สารแยกผิว ใช้สำหรับทาแบบยางให้สามารถแกะกระสวยขี้ผึ้งออกได้โดยสะดวก ไม่ติดแบบยาง

ง. ตะเกียงแอลกอฮอล์, แปรงخنอ่อน และอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตกแต่ง

3.2.4.3 การเทขี้ผึ้งเข้าแบบยาง ขั้นตอนจะต้องทำความสะอาดแบบยางให้ดี เช็ดด้วยแอลกอฮอล์ และทาสารแยกผิว เช่น น้ำมันพืชผสมกับแอลกอฮอล์ 50% ในการเทขี้ผึ้งจะต้อง

ต้มซีผึ้งให้หลอมละลายให้หมดเสียก่อน และควบคุมอุณหภูมิที่ 65 - 75°C หลังจากที่ได้ต้มซีผึ้งแล้ว  
ทิ้งไว้ให้ซีผึ้งแข็งตัวจึงแกะออกจากแม่พิมพ์อย่างระมัดระวัง

### 3.2.5 การตกแต่งและการประกอบกระสวนซีผึ้ง

การแต่งกระสวน กระสวนซีผึ้งที่ได้มาจากการหลอมนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องนำมาตกแต่งอีก เพื่อให้จะได้ชิ้นงานหล่อที่ออกมาอย่างสมบูรณ์ ส่วนที่จะต้องตกแต่งและคัดเลือกเอาเฉพาะกระสวนที่สมบูรณ์เท่านั้น โดยจุดบกพร่องที่พบอยู่เสมอ คือ แบบไม่เต็ม มีรูพรุน มีครีบ และบางส่วนหักหรืออีกขาด สิ่งเหล่านี้ถ้าเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ก็สามารถที่จะตกแต่งได้ โดยใช้อุปกรณ์สำหรับแต่งเผาไฟ ตะเกียงแอลกอฮอล์ป้ายหรือตะแวนที่ขาด ก็สามารถที่จะให้แบบหลอมละลายติดกันได้ และถ้าแบบไม่เต็มก็สามารถที่จะเติมซีผึ้งลงไปได้โดยอาศัยอุปกรณ์ตกแต่งดังกล่าว ที่เผาให้ร้อนตกแต่งส่วนที่ต้องการจะต่อเติมได้ สำหรับส่วนที่เกิน ก็สามารถจะตัดแต่งได้เช่นกัน โดยใช้มีดที่ขนาดเล็กและเหมาะสมกับขนาดของกระสวนที่ต้องการจะแต่ง

การติดกระสวน เมื่อทำการตัดแต่งกระสวนได้ดีตามความต้องการ เศษซีผึ้งที่เหลือจากการตัดแต่งสามารถที่จะนำกลับไปหลอมใหม่ได้อีก เนื่องจากชิ้นงานที่หล่อถ้าหากว่ามีขนาดเล็กก็สามารถที่จะหล่อทีเดียวได้หลายชิ้นพร้อม ๆ กัน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องนำกระสวนมาประกอบติดกัน โดยต้องสร้างลำต้นซีผึ้งขึ้นมา เพื่อที่จะใช้กระสวนซีผึ้งติดโดยรอบ ระยะห่างระหว่างกระสวนแต่ละต้นสามารถที่จะให้ห่างกันได้ระหว่างผิว อย่างต่ำประมาณ 1 มม. ถ้าแบบซีผึ้งใกล้เคียงกันมาก ชิ้นงานหล่อที่ได้ออกมาก็อาจจะติดกันด้วย และถ้าระยะห่างมากก็จะเปลืองเนื้อที่ไม่สามารถที่จะติดต้นกระสวนได้ในปริมาณที่มากพอ ซึ่งถ้าสามารถที่จะติดได้ในปริมาณมาก จะให้ประหยัดวัสดุทุนไฟที่นำมาหลอม ซึ่งมีความแพงมาก การตัดต่อต้นซีผึ้ง สามารถที่จะทำได้เช่นเดียวกับการตกแต่งกระสวน

ในการติดต้นแบบให้เป็นรูปคล้ายต้นไม้เมื่อนำต้นที่ติดแล้วมาวางสวมกับกระบอกละจะต้องเข้ากระบอกละได้ และต้นซีผึ้งจะต้องห่างจากผนังกระบอกละอย่างน้อย 1/4" และส่วนบนของกระบอกละจะต้องสูงกว่าต้นซีผึ้งประมาณ 1/2" เป็นอย่างน้อย

### 3.2.6 การเคลือบหุ้มด้วยสารทนไฟ

สารทนไฟที่นำมาเคลือบหุ้มนี้ เพื่อที่จะให้เกิดโพรงแบบหลังจากที่ทำการเผาไล้ซีผึ้งออกและจะถูกแทนที่ด้วยน้ำโลหะ เมื่อทำการเทหล่อ

3.2.6.1 คุณสมบัติของวัสดุทนไฟ เมื่อนำกระบอกละ (Flask) มาสวมครอบลงบนกระสวนซีผึ้งเป็นต้นแล้ว จะต้องใช้ปูนชนิดหนึ่งที่สามารถทนความร้อนได้สูงเพียงพอ ที่จะรับความร้อนที่เกิดจากน้ำโลหะ โดยไม่ทำให้เกิดผลเสียใดๆ

ปุ๋ยทอนไฟที่นำมาใช้นี้เรียกว่า Investment ได้จากวัสดุทอนไฟ ดัชนีการปลดละเอียดที่ได้จาก ควอตซ์ เซอคอนออกไซด์ คอรัันดัม และวัตถุประสานเดคร้าเอทิลซิลิเกต  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$  หรือ Ammonium Phosphate  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- ก. เป็นเม็ดผงละเอียด
- ข. สามารถทนความร้อนได้สูง
- ค. สามารถเกาะตัวกันได้ดี
- ง. หลังจากที่ใช้แล้วมีความแข็งแรง ไม่เปราะแตกหักง่าย สามารถที่จะทนต่อแรงดันของน้ำโลหะได้
- จ. จะต้องไม่มีส่วนผสมที่ทำปฏิกิริยากับเตาอบ กระบอกแบบหล่อหรือชิ้นงานหล่อ
- ฉ. สามารถที่จะสลายตัวได้ง่าย หลังจากสิ้นสุดการเทหล่อและนำชิ้นงานหล่อออก

### 3.2.6.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลือบหุ้มผิวด้วยสารทอนไฟ

- ก. เครื่องปั๊มสุญญากาศ ใช้สำหรับปั๊มอากาศที่หนี้ออกไม่ได้ ขณะที่เทปูนหล่อหุ้มกระสวยขึ้นฝั่ง
- ข. ผงปูนหล่อ (Investment) เป็นปูนผงสำเร็จรูป ที่บริษัทผู้ผลิตได้ผลิตและผสมส่วนผสมต่าง ๆ เข้าไว้เรียบร้อยแล้ว ซึ่งใช้สำหรับงานหล่อ ขึ้นฝั่งหายโดยเฉพาะ
- ค. เครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อตรวจสอบอัตราส่วนผสมของส่วนผสมต่าง ๆ
- ง. ถ้วยผสม และใบมีดกวน ใช้เป็นภาชนะที่ผสม

3.2.6.3 การผสมปูนหล่อเทหุ้มผิว นำผงปูนหล่อมามาผสมกับน้ำในอัตราส่วนผสมที่บริษัทผู้ผลิตได้กำหนดไว้ โดยทั่วไปนิยมใช้อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก คือ น้ำหนักของปูนหล่อจะมากกว่าน้ำหนักของน้ำ 2.5 - 3 เท่า โดยการชั่งน้ำหนักของน้ำและปูนหล่อให้มีสัดส่วนที่ถูกต้อง ตามที่ได้กำหนดไว้ เทน้ำลงในถ้วยที่เตรียมไว้สำหรับผสม และเทน้ำลงในถ้วยที่เตรียมไว้สำหรับผสมและเทผงปูนหล่อที่เตรียมไว้ลงไป และคนให้ทั่วกันโดยเร็ว เมื่อส่วนผสมละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันดีแล้ว จึงนำเข้าอุปกรณ์ปั๊มสุญญากาศประมาณ 30 - 40 วินาที เพื่อที่จะดูดฟองอากาศที่เกิดขึ้นขณะที่ทำการผสมอยู่ออกให้หมด จากนั้นจึงนำมาเทลงที่แบบหล่อขึ้นฝั่งที่เตรียมและติดประกอบไว้แล้ว โดยเทลงข้าง ๆ ของกระบอกแบบหล่อ เพื่อให้จะได้ระดับของปูนหล่อเพิ่มจากข้างล่างขึ้นมาและไล่อากาศให้หนี้ออกด้านบนได้ เทจนท่วมแบบหล่อขึ้นฝั่ง สูงจากยอดประมาณ 1/2" และนำเข้า

เครื่องปั๊มสุญญากาศอีกที ใช้เวลาประมาณ 1 - 2 นาที โดยจะต้องเขย่าใส่อากาศออกไปด้วย และเป็นการให้ปูนหล่อไหลตัวไปตามช่องว่างต่าง ๆ ได้

ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการไม่ควรเกิน 9 นาที เพื่อที่จะให้ได้ปูนหล่อที่มีคุณสมบัติที่มีคุณภาพดี

หรือถ้าไม่ใช้กระบอกแบบหล่อ อาจใช้วิธีการ นำไปจุ่มในปูนหล่อก็ได้ โดยโยบสลับด้วยการใช้ทรายทนไฟกลบ ทำให้เกิดผิวหนาประมาณ 6 - 15 มม. ซึ่งให้ความแข็งแรงพอ

### 3.2.7 การเผาไล้ซีเมนต์

ขั้นตอนการเตรียมการเผาไล้ซีเมนต์นี้ คือการเผาไล้เพื่อที่จะให้ได้โพรงแบบ เพื่อที่จะใช้ในการเทหล่อต่อไป นั้นหมายความว่า กระสวนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นมา จะถูกหลอมละลายทิ้ง ไม่สามารถที่จะนำกลับมาใช้ได้อีก (กระสวนใช้ได้ครั้งเดียว)

#### 3.2.7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเผาไล้ซีเมนต์

ก. เตาเผาโพรงแบบ เตาเผาโพรงแบบนี้จะเป็นชนิดที่ใช้ก๊าซหรือใช้ไฟฟ้า เป็นเชื้อเพลิงก็ได้ โดยที่สามารถให้ความร้อนได้สูงถึง 760°C และต้องมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิได้อย่างถูกต้อง และจะต้องมีที่ระบายอากาศออก เพื่อที่จะให้ควันซีเมนต์ที่ถูกเผาลอยออกจากเตาได้ เพื่อเป็นการปรับปรุงบรรยากาศภายในเตาให้ดีขึ้น

ข. ภาชนะรองรับซีเมนต์ที่หลอมละลาย ไหลออกมา ขณะที่เผาไล้

ค. คีม หรืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจับยึดกระบอกปูนหล่อ

3.2.7.2 การเตรียมการเผาไล้ซีเมนต์ หลังจากปูนหล่อแข็งตัวดีแล้ว ซึ่งจะใช้เวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง สำหรับกระบอกขนาดเล็กไม่เกิน 4" และ 2 ชั่วโมงสำหรับกระบอกขนาดใหญ่กว่า 4" ขึ้นไป นำฐานโลหะออกจากแบบหล่อ และนำไปใส่ในเตาอบ โดยให้ส่วนมากเป็นปากกรูอยู่ด้านล่าง เพื่อที่จะให้ซีเมนต์หลอมละลายไหลออกจากแบบหล่อ และวางถาดที่ใช้สำหรับรองรับซีเมนต์เหลวอยู่ด้านล่าง จากนั้นก็เริ่มให้ความร้อนขึ้นเป็นช่วง ๆ จนถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการ และเผาแช่ไว้ระยะหนึ่ง จนกระทั่งซีเมนต์ถูกกำจัดออกหมด จึงค่อยลดความร้อนของเตาลงมา จนถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการจะใช้ในการเทหล่อ จากนั้นก็นำกระบอกปูนออกมา เพื่อที่จะเทหล่อต่อไป

3.2.7.3 ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผา เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไล้ซีเมนต์ ขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของกระบอกแบบหล่อ ที่ใส่ไว้ในเตา ซึ่งได้กำหนดไว้ตามความเหมาะสม ตามขนาดความสามารถในการจุได้

3.2.7.4 อุณหภูมิที่ใช้ในการเทหล่อ อุณหภูมิที่ต้องการสำหรับปูนหล่อ ที่ใช้ในการเทหล่อ สามารถที่จะพิจารณาและกำหนดจากชนิดของโลหะ

### 3.2.8 การเทหล่อ

คุณสมบัติของโลหะที่ใช้หลอม ในกรรมวิธีขึ้นนี้ โลหะที่นิยมใช้ซึ่งสามารถที่จะทำให้การหลอมหล่อประสบผลสำเร็จมาก คือ ทอง เงิน ทองเหลือง

ก. การหลอมโลหะ ทำได้โดยใช้เตาเพื่อทำให้เกิดการหลอมเหลว เช่น เตาอาร์คไฟฟ้า (electric arc furnace), เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induction furnace), เตาอนอน (reverberatory furnace), เตาครุชชีเบิล (crucible furnace)

เตาไฟฟ้าทั้งสองชนิดและเตาอนอนส่วนใหญ่จะใช้หลอมโลหะทองแดงผสมปริมาณมากๆ ซึ่งในประเทศไทยยังมีใช้น้อยเพียงไม่กี่โรงงานที่ใช้เตาไฟฟ้า ถ้าเป็นการหลอมปริมาณน้อยๆ จะใช้เตาครุชชีเบิล ซึ่งมีใช้ทั้งน้ำมัน, ถ่านโค้ก และแก๊สเป็นเชื้อเพลิง

ข. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการหล่อ ได้แก่ เตาหลอมโลหะ, เบ้าหลอม, คีมจับน้ำประสาน

ค. กรรมวิธีการเทหล่อ ในการเทหล่อจะต้องกระทำในขณะที่อุณหภูมิสูงอยู่ ดังนั้นบริเวณที่ทำการเทหล่อจะต้องใกล้และสะดวกต่อการปฏิบัติการ เริ่มต้นของการหลอมหล่อโดยการใส่ปริมาณของน้ำโลหะตามจำนวนที่ต้องการหล่อลงในเบ้าหล่อ ถ้าเป็นโลหะผสมจะต้องเติมน้ำประสานลงไปด้วย เพื่อที่จะให้น้ำโลหะผสมนั้นหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน เสร็จแล้วนำเข้าเตาหลอม ในการปฏิบัติการอุปกรณ์ทุกอย่างจะต้องอยู่ในลักษณะที่จะเตรียมพร้อมใช้งานได้ทันที โดยที่อุณหภูมิที่จะใช้ในการหลอมโลหะนี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่จะนำมาหลอม ซึ่งได้แสดงดังตาราง ที่ 3.1

ระยะเวลาที่ใช้ในการหลอมโลหะนั้นจะต้องมีค่าใกล้เคียงกับระยะเวลาการเผาไล่ขึ้นนี้ เพื่อจะทำให้แบบหล่อยังคงร้อนอยู่ในขณะเทหล่อ จะได้ไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับการไหลของน้ำโลหะ และคุณภาพของชิ้นงานหล่อ



ตารางที่ 3.1 การใช้ความร้อนในการหลอมละลายโลหะและปริมาณขี้ผึ้งที่ใช้

ชนิดโลหะ	การให้ความร้อนเป็น องศา (°F)	อัตราการใช้โลหะและ น้ำหนักของขี้ผึ้ง	ความร้อนที่สะสมเป็น องศา
เงิน	1,760	10.5 : 1	800
ทอง 10 เค	1,850	14 : 1	950
ทอง 14 เค	1,825	14 : 1	900
ทองขาว 10 เค	2,025	14 : 1	1,000
ทองขาว 14 เค	1,925	14 : 1	950
บรอนซ์	1,950	10 : 1	900
ทองคำขาว	3,000	21 : 1	1,400
ทองเหลือง	1,750	9 : 1	900
อะลูมิเนียม	1,400	2.5 : 1	400

### 3.2.9 การทำความสะอาดและตกแต่งผิวขั้นสุดท้าย

การล้างด้วยกรด หลังจากทีโลหะที่ได้เทหล่อเข้าไปในน้แข็งตัวดีแล้ว นำกระบอบกแบบหล่อใส่ลงไปในถังน้ำเย็น ซึ่งจะทำให้แบบปูนหล่อแตกสลายตัวลง จะเหลือแต่ชิ้นงานหล่อ ในการทำความสะอาดขั้นแรก โดยการขจัดปูนออกจากเนื้อของโลหะ อาจจะใช้ลมเป่าหรือใช้แปรงลวดอ่อนขัด และหลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปแช่น้ำกรดเจือจาง คือกรดซัลฟูริก โดยใช้อัตราส่วน กรด 1 ส่วนต่อน้ำ 9 ส่วน และสามารถที่จะนำไปตัดก้าน รูเท รูล้นออก เลื่อยและตกแต่งด้วยเครื่องมือที่ใช้สำหรับตกแต่งทั่วไป เช่น ตะไบ กระดาษทรายละเอียด และนำไปขัดผิวด้วยเครื่องขัด

การตกแต่งโดยการชุบเคลือบผิว หลังจากการที่ชิ้นงานได้รับการตกแต่งแล้วจะต้องนำมาเคลือบผิวเพื่อที่จะให้ดูสวยงามขึ้น โดยการนำไปชุบด้วยโลหะอีกครั้ง

การพิจารณาในการเลือกใช้การหล่อวิธีขี้ผึ้งหาย ต้องพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

ก. วิธีนี้มีข้อได้เปรียบเมื่อผลิตงานหล่อที่มีรูปร่างหรือพื้นผิวโค้ง ยากต่อการกระทำด้วยเครื่องมือกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งผิวโค้งที่เป็นสามมิติ เช่น ใบของกังหัน

ข. วิธีนี้มีข้อได้เปรียบเมื่องานหล่อต้องทำด้วยโลหะผสมที่มีความแข็งเป็นพิเศษ ยากต่อการกระทำด้วยเครื่องมือกล เช่น วัสดุทำเครื่องมือต่างๆ โลหะผสม โคบอลท์ทนร้อน โลหะผสมนิกเกิลทนร้อน วัสดุทำเครื่องมือทันตกรรม เป็นต้น

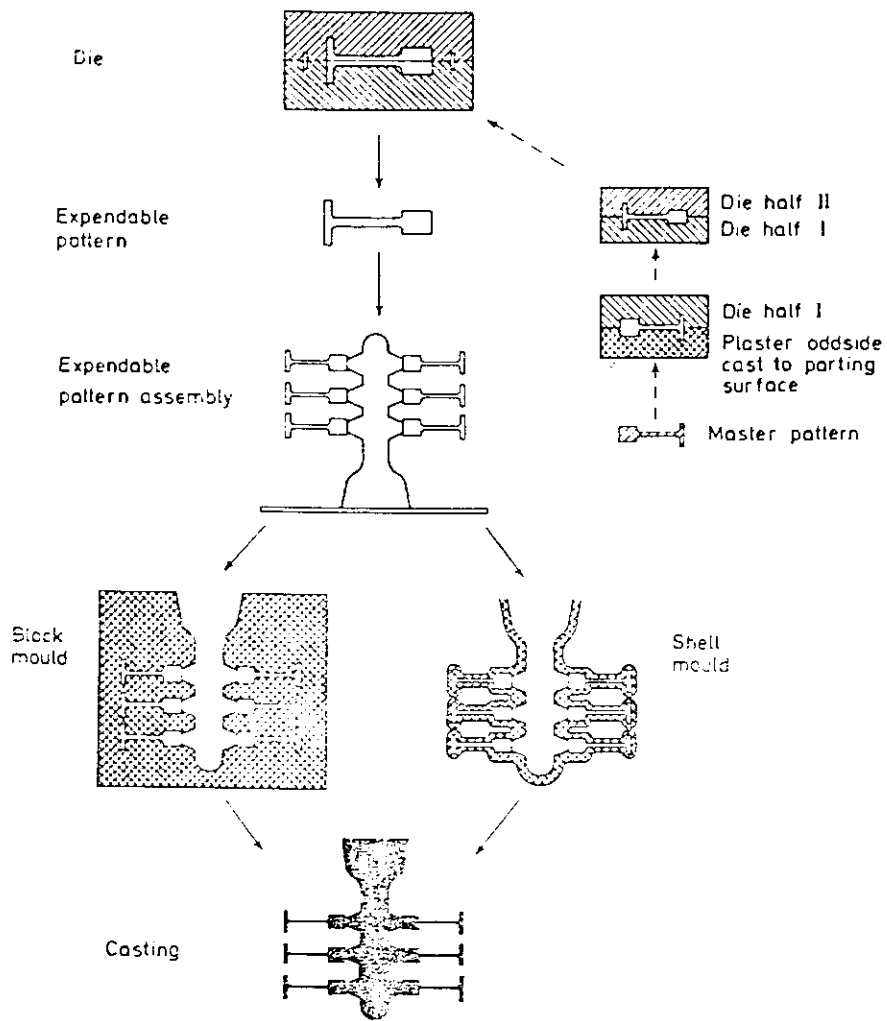
ค. วิธีนี้เหมาะกับงานหล่อที่ต้องการความเที่ยงตรงของมิติและต้องการผิวเรียบ ความเรียบร้อยละของผิวจากการหล่อด้วยซีเมนต์หายอยู่ในราว 5 - 20 มม. และความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของมิตินั้นแตกต่างไปตามชนิดของงานหล่อ แต่ปกติใช้ประมาณ 0.05 - 0.10 มม. ต่อ 10 มม.

ง. งานหล่อที่เหมาะสมกับวิธีนี้ควรมีน้ำหนักต่ำกว่า 3 กิโลกรัม และงานหล่อที่ใช้กระสวยซีเมนต์ชนิดเดียวทำให้เสียค่าใช้จ่ายน้อย งานที่หนักประมาณ 50 กิโลกรัมหรือหนักกว่าสามารถทำได้โดยวิธีประกอบกระสวยเข้าด้วยกัน แต่วิธีนี้ไม่ประหยัดเพราะว่ากินเวลามากในการประกอบกระสวย ทั้งนี้ยกเว้นในกรณีที่ค่าแรงถูก ความหนาต่ำสุดของงานอยู่ในราว 1 มม.

จ. เมื่อเปรียบเทียบกับแบบหล่อโลหะแบบต่างๆ สำหรับการหล่อโลหะในแบบหล่อโลหะแล้ว แบบหล่อโลหะที่ใช้ในการหล่อแบบซีเมนต์หายนี้เป็นแบบหล่อเพื่อกระสวยเท่านั้น ดังนั้นต้นทุนการผลิตจึงต่ำและอายุการใช้งานก็ยาวนาน อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนต้นทุนการผลิตของแบบหล่อโลหะต่อต้นทุนการหล่อก็นับว่าสูง เพราะฉะนั้นถ้าจำนวนหล่อไม่มากกว่า 100 ชิ้น ราคาของต้นทุนการผลิตจะสูง

ฉ. วิธีนี้ใช้หล่อโลหะได้แทบทุกชนิด แต่เนื่องจากค่าโลหะของเหล็กหล่อถูก เมื่อเทียบกับต้นทุนของแบบหล่อโลหะ การหล่อเหล็กด้วยวิธีนี้จะไม่คุ้มค่า เนื่องจากต้องนำโลหะเข้าไปในแบบหล่อที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นไม่ควรใช้โลหะผสมที่มีจุดหลอมต่ำต่ำ เช่น อะลูมิเนียมผสม เพราะว่าโครงสร้างที่ได้จะหยابและความแข็งแรงทางกลจะลดลง แต่วิธีนี้จะมีข้อได้เปรียบมากที่สุดเมื่อต้องการหล่อโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูง ให้งานหล่อที่เที่ยงตรง แน่นอน เมื่อเทียบกับการหล่อในแบบหล่อโลหะ

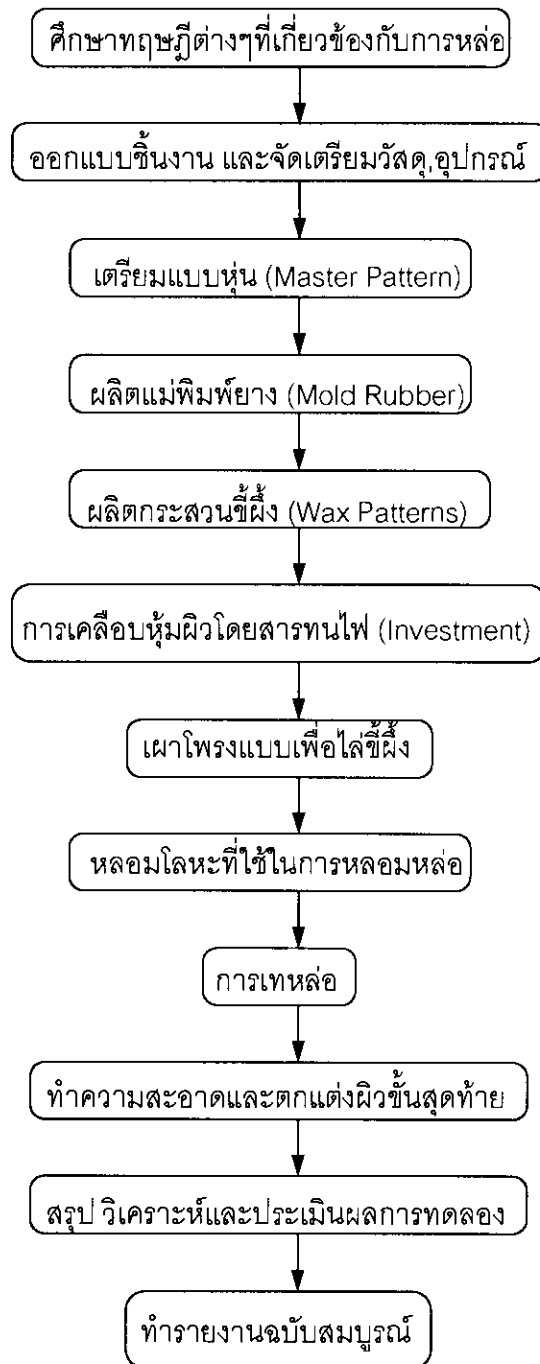
ในการตัดสินใจว่าจะใช้หรือไม่ใช้วิธีการหล่อซีเมนต์หายนี้ จะต้องพิจารณาข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของวิธีการนี้ ดังได้กล่าวมาแล้ว และต้องเปรียบเทียบวิธีนี้กับวิธีอื่นๆ เช่น การหล่อประเภทความเที่ยงตรงสูง การแปรรูปขณะเย็น (Cold working) และการใช้ผงโลหะหลอมแข็ง (Powder metallurgical techniques) ฯลฯ



*Production sequence in investment casting (expendable pattern technique) showing casting production (centre) and steps in fusible metal die manufacture (top right)*

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนต่างๆ ในการทำ Investment Casting

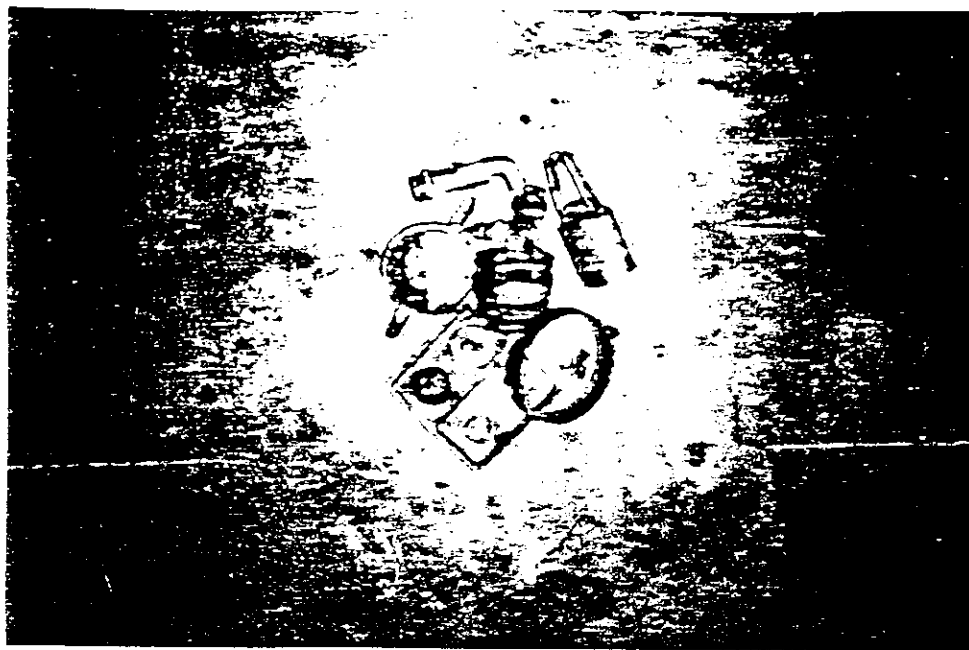
### ขั้นตอนการศึกษาโครงการ



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการศึกษาโครงการ

### 3.3 การหล่อทองเหลืองของชาวบ้านปะอ่าว

โลหะที่ใช้ในการหล่อ คือ เศษทองเหลือง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วัสดุที่ใช้ในการหล่อ (เศษทองเหลืองเก่า)

#### 3.3.1 การเตรียมทำแบบแกน

นำดินโคลนตามนา ซึ่งเป็นดินร่วนปนทราย, ไข่วัวสด, น้ำ มาตำคลุกเคล้าให้เข้ากัน เพื่อใช้เป็นแบบแกน ดังรูปที่ 3.4

ก. การทำแบบแกนนั้นจะใช้ดินที่ประกอบด้วย ดินโคลนตามนา เป็นดินร่วนปนทรายและไข่วัวสด ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยในการตำคลุกเคล้าให้เข้ากันโดยใช้น้ำเป็นส่วนผสมช่วย เพื่อไม่ให้ดินแข็งเกินไป และลักษณะที่ใช้ได้ คือ สามารถปั้นขึ้นรูปได้ไม่เหลวและเกินไป ดังรูปที่ 3.5

ข. นำมาปั้นขึ้นรูปตามรูปร่าง และขนาดตามต้องการ ดังรูปที่ 3.6

ค. นำไปตากแดดให้แห้งประมาณ 2-3 วัน

ง. นำมาล้างผิวให้เรียบ และให้ได้สัดส่วน, ขนาดตามต้องการ ดินที่เสร็จแล้วนี้ เรียกว่า ดินแกน ดังรูปที่ 3.7

จ. ดินแกนที่แห้งแล้ว จะนำมาเป็นแบบในการขึ้นรูป โดยใช้ขี้ผึ้งโอบล้อม



รูปที่ 3.4 ซี้่วสด ดินร่วนปนทราย



รูปที่ 3.5 ครกที่ใช้ในการผสมดินปั้นแบบแกน



รูปที่ 3.6 การปั่นดินแกน



รูปที่ 3.7 กลึงดินแกนให้เรียบ

3.3.2 การเตรียมขี้ผึ้ง นำขี้ผึ้งมาผสมกับชาญณรงค์ (หรือ ขี้ซี) และผสมกับ สูตร (หาได้จากป่า) ดังรูปที่ 3.8 โดยมีขั้นตอนดังนี้ คือ

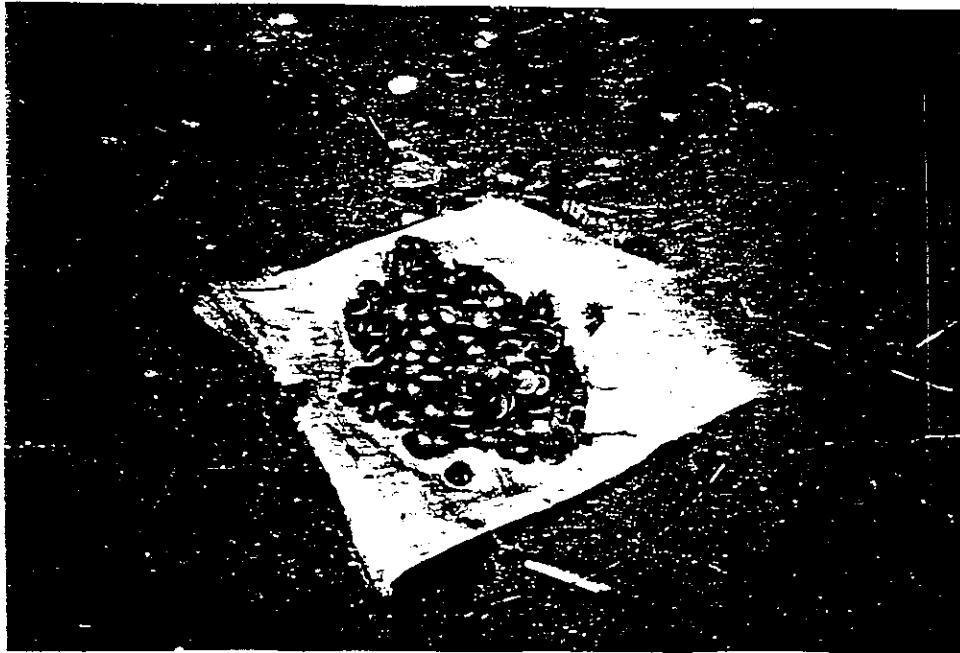
ก. ตั้งชาญณรงค์ในไฟให้หลอมละลายจนหมด ดังรูปที่ 3.9

ข. นำขี้ผึ้งใส่ลงไปในชาญณรงค์ที่หลอมนั้น คนให้เข้ากัน โดยใช้ ขี้ผึ้ง 3 กิโลกรัม ชาญณรงค์ 0.5 กิโลกรัม และใส่ขี้สูตรตามสภาพอากาศ (ถ้าอากาศร้อน ใส่ปริมาณน้อย ถ้าอากาศหนาว ใส่ปริมาณมาก) ดังรูปที่ 3.10

ค. เทส่วนผสมที่ได้ในภาชนะที่มีน้ำโดยใช้ผ้ากรอง ดังรูปที่ 3.11

ง. จะได้ขี้ผึ้งที่ผสมแล้ว ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งจะต้องนำมาทำให้เป็นเส้นโดยการนำมาปั่นให้เป็นแท่งยาวพอประมาณ ขนาดที่สามารถไว้ในรูกระบอกอัดได้ ดังรูปที่ 3.13 (ซึ่งทำจากกระบอกไม้ไผ่ และมีขนาดหลายขนาดตามต้องการ) ซึ่งเมื่อใส่ขี้ผึ้งลงในกระบอกและใช้ไม้กดอัดให้ขี้ผึ้งไหลออกมาตามรู เป็นเส้นยาวๆ ตามต้องการ ดังรูปที่ 3.14

จ. จะได้ขี้ผึ้งที่พร้อมจะใช้งาน ซึ่งจะมีขนาดต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.8 ขี้ผึ้งและชาญณรงค์ที่ใช้ผสม

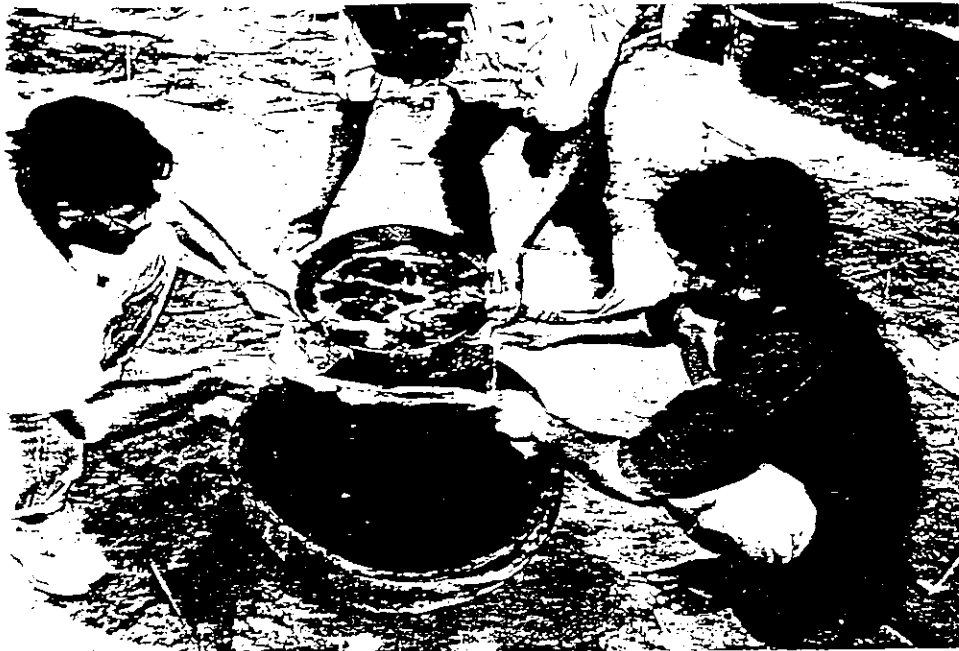




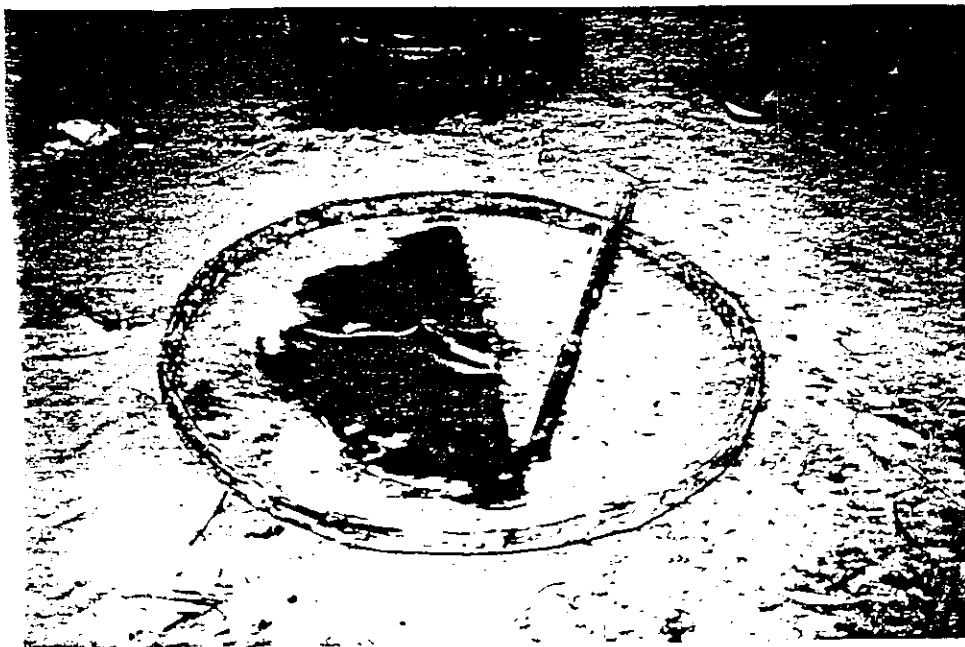
รูปที่ 3.9 การหลอมชาญนรงค์



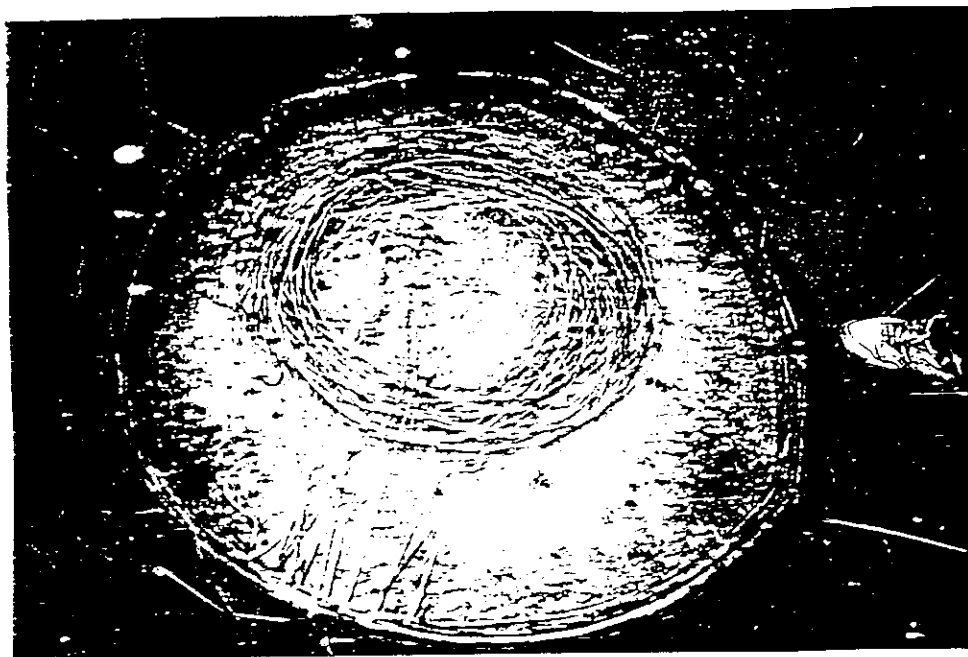
รูปที่ 3.10 การผสมขี้ผึ้งและชาญนรงค์



รูปที่ 3.11 การเทส่วนผสม



รูปที่ 3.12 ซี่ผึ้งที่ต้องการ



รูปที่ 3.15 ชี้ผึ้งที่อัดเป็นเส้นแล้ว

### 3.3.3 การทำแบบหล่อ ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ก. นำชี้ผึ้งไปขดขึ้นรูปรอบแกนดิน ให้เป็นรูปทรงที่ต้องการ ซึ่งกรรมวิธีการดังกล่าวนี้มีลักษณะคล้ายการขึ้นรูปแบบเครื่องปั้นดินเผาด้วยวิธีขด (Coiled Method) อันมีกรรมวิธีการผลิตแบบโบราณ ดังรูปที่ 3.16

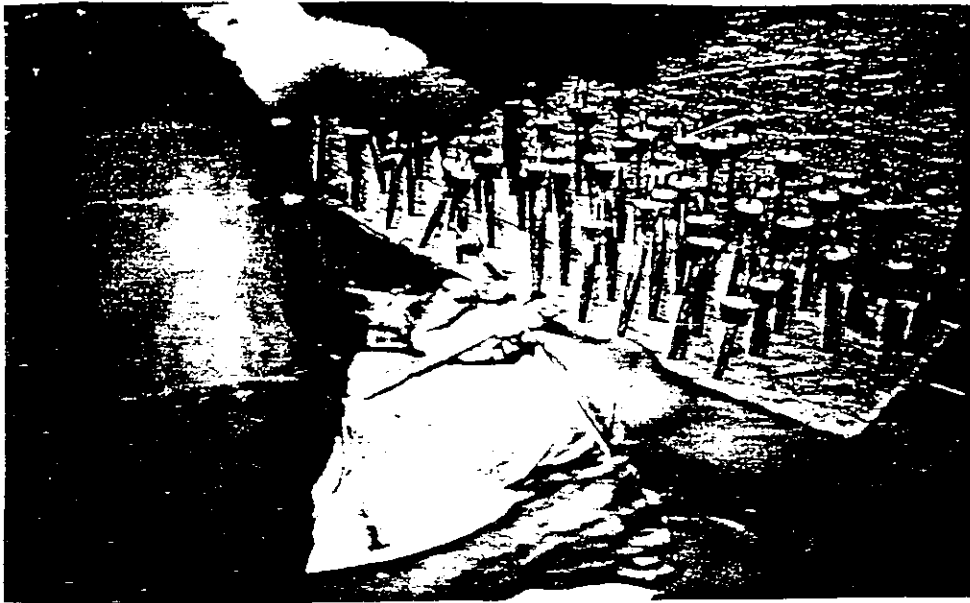
ข. ใช้มือบีบ จัด เส้นชี้ผึ้งให้เรียบและติดกันสนิท

ค. นำไปกลิ้งให้เรียบ เพื่อให้ได้รูปทรงตามต้องการพร้อมกับการทำลวดลายโดยใช้แบบกดพิมพ์ หลังจากตกแต่งเสร็จแล้วนำชี้ผึ้งส่วนหนึ่งมาติดบริเวณที่จะทำเป็นรู ดังรูปที่ 3.17

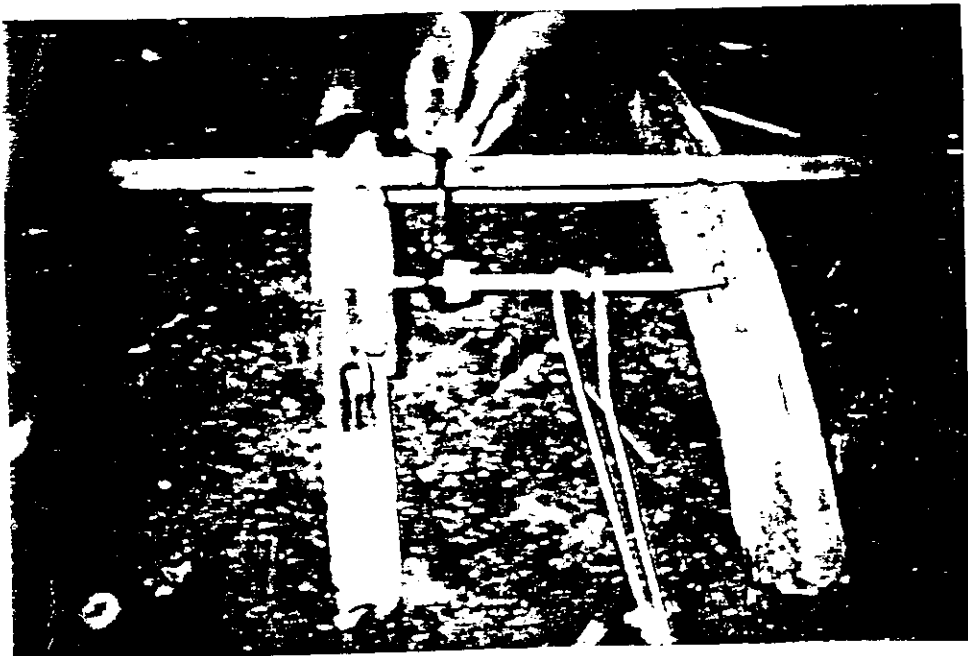
ง. นำดินที่ผสมขี้เถ้ามาพอกรอบชี้ผึ้งอีกชั้นหนึ่ง (ดินเหนียวที่จะใช้เป็นดินที่ละเอียดมาก) การใช้ดินเหนียวละเอียดนี้ เพื่อต้องการให้ดินมีความแข็งแรง ไม่แตกง่ายในขณะที่ทำการเผา และสามารถแกะออกได้ง่ายเมื่อหล่อโลหะเสร็จ เรียกส่วนนี้ว่า Facing sand พร้อมใส่ขี้เถ้าเพื่อเป็นรูให้ชี้ผึ้งไหลออกมา

จ. นำดินเหนียวผสมแคลบ อัตราส่วนพอประมาณ นำมาหุ้มบนดินละเอียดอีกชั้นหนึ่งให้แห้งดี ดังรูปที่ 3.18

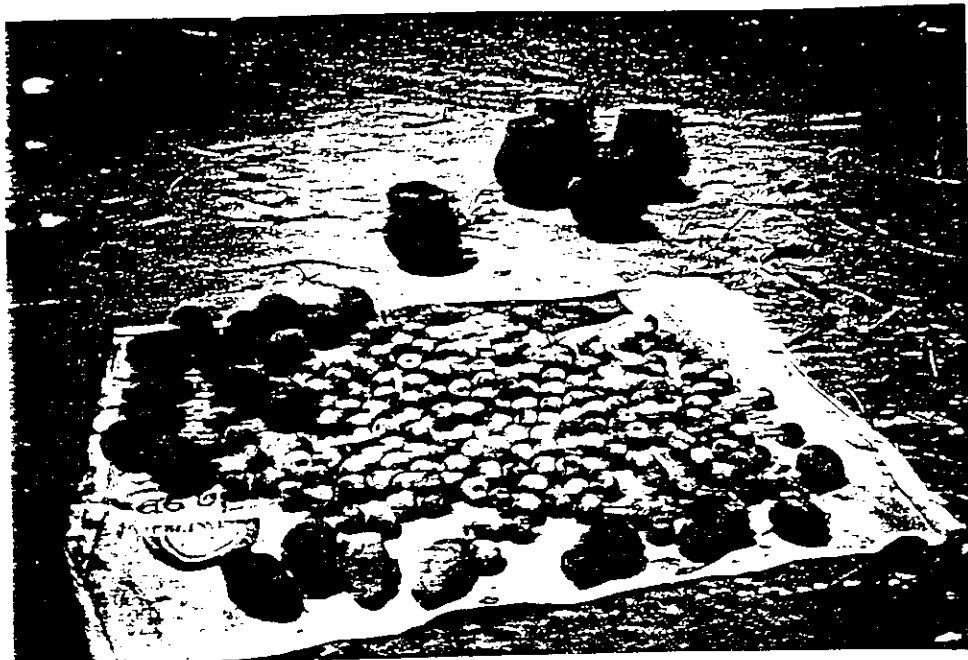
จ. นำแบบไปเผาไฟ ในเตาเผาไล้ซีเมนต์ ดังรูปที่ 3.19 โดยคว่ำด้านรูเทลง เพื่อให้ซีเมนต์ไหลออก ซึ่งจะได้แบบตามที่ต้องการ



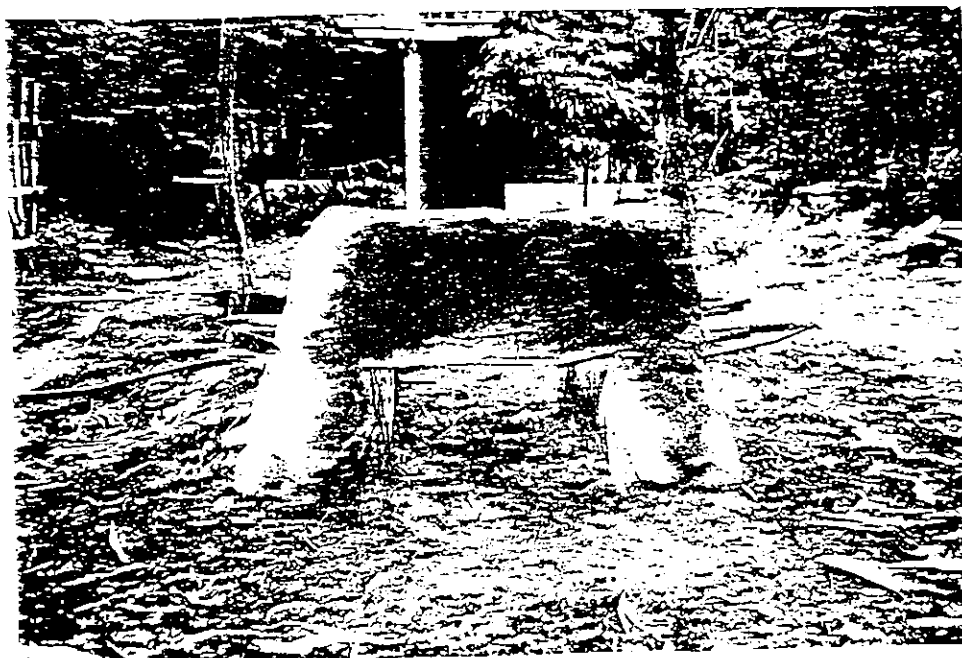
รูปที่ 3.16 การใช้ซีเมนต์โอบรอบดินแกน



รูปที่ 3.17 การกลึงแบบซีเมนต์



รูปที่ 3.18 แบบที่หุ้มเสร็จแล้ว



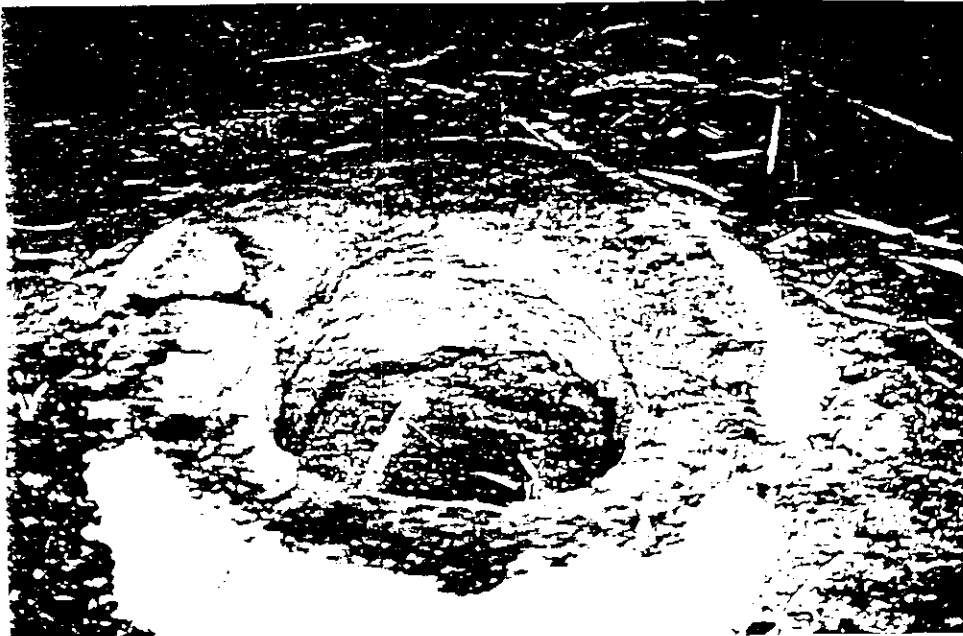
รูปที่ 3.19 เต้าเผาไล่ชีผึ้ง

### 3.3.4 การหลอมหล่อทองเหลือง

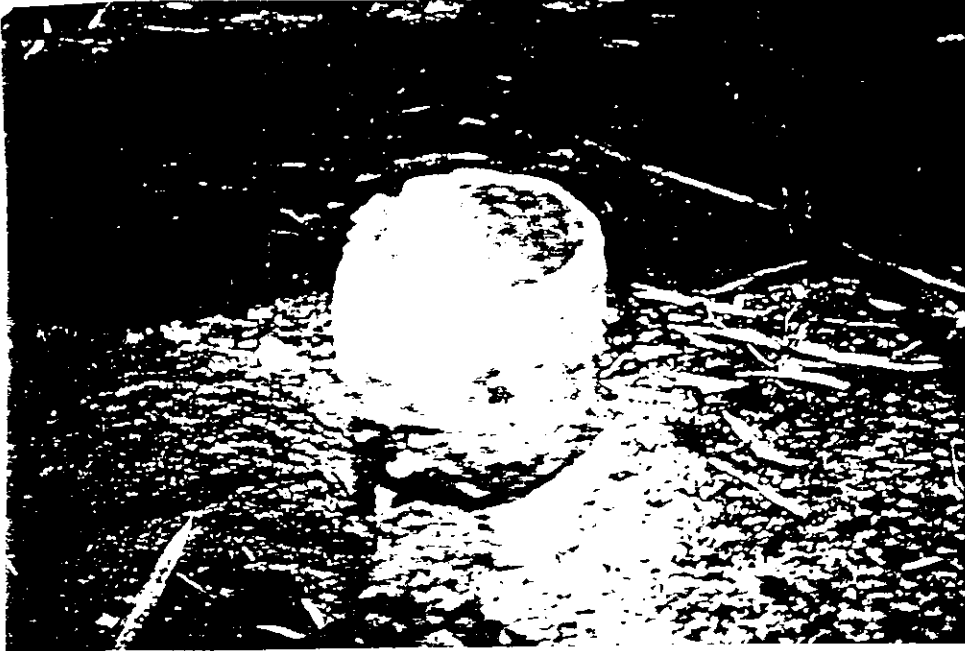
เตาหลอมทองเหลืองที่ใช้นี้เป็นเตาที่ทำขึ้นมาเอง ด้วยอิฐมอดูและใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงในการหล่อ ฉนวนเตาฉาบด้วยดินเหนียว มีท่อลมเข้าตรงกลางเตาใช้เครื่องอัดอากาศในการเป่าลมตัวเตาจะฝังอยู่ในดินเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ดังรูปที่ 3.20 ส่วนเบ้าหลอมที่ใช้จะทำขึ้นเองจากดินเหนียวและแกลบ ซึ่งจะใช้ได้ต่อการหลอมหนึ่งครั้ง ดังรูปที่ 3.21

ซึ่งมีขั้นตอนในการหลอมหล่อ ดังนี้

- ก. ก่อไฟในเตา โดยใช้ถ่าน ซึ่งในเตามีเบ้าหลอมวางในเตาแล้ว
- ข. ใส่ถ่านก้อนใหญ่ แล้วใช้เครื่องอัดอากาศเป่าลมเข้าไปให้ถ่านติดไฟ และต้องเติมถ่านเรื่อยๆ
- ค. เมื่อเบ้าเริ่มร้อนแดง ใส่เศษทองเหลืองลงไป ซึ่งในขณะที่ทำการหลอมทองเหลืองนี้ จะต้องเผาแบบไล้สีผึ้งออกไปด้วย เพื่อให้แบบยังร้อนเมื่อเททองเหลือง
- ง. เมื่อโลหะทองเหลืองหลอมได้ที่แล้ว จะนำแบบหล่อที่ไล้สีผึ้งออกหมดแล้วมาตั้งเรียงกัน แล้วตักนำโลหะเทใส่แบบหล่อ ดังรูปที่ 3.22
- จ. ปล่อยให้แบบเย็นลง แล้วจึงแกะแบบออก ดังรูปที่ 3.23



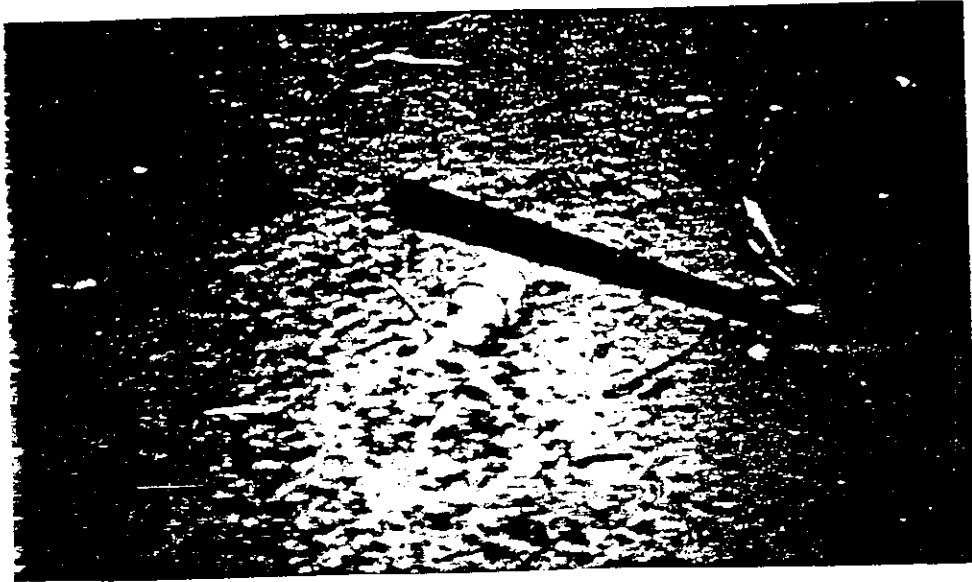
รูปที่ 3.20 เตาหลอม



รูปที่ 3.21 เบ้าหลอม



รูปที่ 3.22 การเทแบบ



รูปที่ 3.23 การทาบแบบดินออก

### 3.3.5 การตกแต่งประกอบชิ้นงาน

ชิ้นงานที่หล่อเสร็จแล้ว จะนำมาทาบเอาดินที่หุ้มออก ตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน ซึ่งสามารถปรับแต่งโดยใช้การกลึงเพื่อปรับขนาดให้สวยงามและได้รูปทรงตามที่ต้องการ การตกแต่งอีกวิธีหนึ่ง คือการเชื่อมอุดรูชิ้นงานที่ขาดหายไป โดยการนำน้ำทองเหลืองมาปะหรือหยดลงบนรูโหว่ แล้วจึงนำมากลึงอีกที หลังจากนั้นจึงนำมาขัดเงา และประกอบชิ้นส่วนให้ครบ



รูปที่ 3.24 ชิ้นงานที่ทำเสร็จแล้ว