การศึกษาอุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสมต่อการอบเผาขจัดต้นแบบเรซิ่นในเบ้าปูนหล่อเครื่องประดับ

The temperature heat for burning to eliminate the master resin plaster casting jewelry

จักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง

Jakkrit Yimchang

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2561

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โครงการวิจัย : การศึกษาอุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสมต่อการอบเผาขจัดต้นแบบเรซิ่นใน
เบ้าปูนหล่อเครื่องประดับ

ผู้วิจัย : นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง

บทคัดย่อ

จากผลการทดลองกรณีศึกษาอุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสมต่อการอบเผาขจัดต้นแบบเรซิ่นในเบ้าปูนหล่อด้วยต้นแบบเรซิ่น B9R-3-EMERALD โดยใช้วัสดุทองเหลืองในการทดลอง พบว่าอุณหภูมิ 750˚C ชิ้นงานดี 48% ชิ้นงานเสีย 52% พบว่าชิ้นงานที่เสียเกิดตามดที่ผิวงานมากมีรูพรุนที่บริเวณผิวงาน สาเหตุเกิดจากความร้อนของน้ำโลหะขณะเทลงแบบสัมผัสกับความชื้นของแบบหล่อทำให้เกิดก๊าซขึ้น อุณหภูมิของน้ำโลหะสูงเกิน หรือกำจัดก๊าซในน้ำโลหะไม่หมด รูระบายไม่เหมาะสม ในอุณหภูมิ 800˚C มีชิ้นงานดี 76% ชิ้นงานเสีย 24% พบว่าชิ้นงานที่เสียนั้นมีตามดน้อยลงรูพรุนที่ชิ้นงานน้อยลงเช่นกันดีกว่าในอุณหภูมิ 750˚C ในอุณหภูมิ 850˚C ชิ้นงานดี 96% ชิ้นงานเสีย 4% พบว่าชิ้นงานเกือบจะออกมาดี แต่ยังมีตามดบ้างแต่น้อยกว่า อุณหภูมิ 750˚C และ 800˚C ไม่มีรูพรุนที่ชิ้นงาน และในอุณหภูมิ 900˚C ชิ้นงานดี 100% ชิ้นงานเสีย 0% พบว่าชิ้นงานออกมาดีที่สุด ชิ้นงานเสียเกิดจากตามดน้อยที่สุด ผลการทดสอบทำให้อุณหภูมิที่ 900˚C เป็นอุณหภูมิเบ้าปูนสะอาดที่สุดในการเผาขจัดต้นแบบเรซิ่น

คำสำคัญ : ต้นแบบเรซิ่น,อุณหภูมิ,เผาขจัด

Abstract

The results of the study on the optimum temperature for baking soda extinguishers were investigated. B9R-3-EMERALD Using brass material in experiments. It was found that the temperature of 750˚C was good for 48% of the workpiece, 52% was found that the workpiece was damaged at the surface of the work very porous at the surface. Caused by the heat of metal water pouring into contact with the moisture of the mold, resulting in gas. High temperature of metal water Or eliminate gas in metal water is not exhausted. The workpiece is not suitable at a temperature of 800 ° C with a good workpiece of 76%. The workpiece loses 24%. The workpiece loses less punch at the lower porosity as well at 750˚C in temperature. 850˚C workpiece, 96% workpiece, 4% workpiece, the workpiece is almost out. It is less than 750˚C and 800˚C at porosity. And at 900˚C, the workpiece is 100% of the workpiece 0%. The workpiece is the best. Workpiece waste from the minimum. The test results make the temperature at 900 ° C is the cleanest casing temperature

Keywords : master resin ,Temperature, burning

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร รวมถึงอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ ที่ให้การสนับสนุนอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัย ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้ทุนสนับสนุน จนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

ผู้จัดทำ

สารบัญ

บทคัดย่อ ก
กิตติกรรมประกาศ ข
สารบัญตาราง จ
สารบัญรูปภาพ ฉ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 บทนำ 1
1.2 ความสำคัญของโครงการ 1
1.3 จุดประสงค์ของโครงการ 1
1.4 ขอบเขตของโครงการ 1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญ
2.1 บทนำ 3
2.2 นิยามศัพท์เฉพาะ 3
2.3 แนวคิด 3
2.4 ทฤษฎีที่สำคัญ 29
บทที่ 3
3.1 บทนำ 28
3.2 แผนการดำเนินการ 28
3.3. การออกแบบการทดลอง 29
3.4 การเตรียมอุปกรณ์ 29
3.5 ดำเนินการทดลอง 36
3.6 สรุปผลการทดลอง 39
3.7 เกณฑ์การประเมินชิ้นงาน 42
3.8 สรุปผลการทดลอง 43
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน
4.1 บทนำ 44
4.2 ผลการดำเนินงาน 44
4.3 สรุปผลการทดลอง 50
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ
5.1 บทนำ 51
5.2 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง 51

5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 52
5.4 ข้อเสนอแนะ 52
บรรณานุกรม 53

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขจัดแว็กซ์ในเบ้าปูน 38
ตารางที่ 3.2 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการอบเบ้าที่อุณหภูมิที่ 750 องศา 39
ตารางที่ 3.3 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการอบเบ้าที่อุณหภูมิที่ 800 องศา 40
ตารางที่ 3.4 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการอบเบ้าที่อุณหภูมิที่ 850 องศา 41
ตารางที่ 3.5 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการอบเบ้าที่อุณหภูมิที่ 900 องศา 42
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเบ้าปูนที่ 750°C 44
ตารางที่ 4.2 งานเสียที่อุณหภูมิ 750°C 45
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเบ้าปูนที่ 800°C 46
ตารางที่ 4.4 งานเสียที่อุณหภูมิ 800°C 46
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเบ้าปูนที่ 850°C 46
ตารางที่ 4.6 งานเสียที่อุณหภูมิ 850°C 47
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเบ้าปูนที่ 900°C 47
ตารางที่ 4.8 แสดงการจำนวนชิ้นงานเปรียบเทียบชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสีย 48
ตารางที่ 4.9 แผนภูมิควบคุมของเสียของการทดลอง 49

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 รูปแบบอิสระประดิษฐ์ของแข็งที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตชั้น 4
รูปที่ 2.2 ระบบ Stereo lithography 5
รูปที่ 2.3 ระบบ Selective Laser Sintering 6
รูปที่ 2.4 ระบบ Lamination 7
รูปที่ 2.5 ระบบ Fused Deposition Modeling 7
รูปที่ 2.6 **6** ระบบ Ink-Jet Printing 8
รูปที่ 2.7 แว็กซ์เรชิ่นชนิด B9R-3EMERALD 9
รูปที่ 2.8 เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ 16
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างอุณหภูมิการทำงานของเครื่องอบเบ้า 17
รูปที่ 2.10 อุณหภูมิมาตรฐานกระบอกหล่อ 18
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการ 28
รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งดิจิตอล 30
รูปที่ 3.3 หัวแร้งพร้อมหม้อแปลงปรับแรงดันกระแสไฟฟ้า 31
รูปที่ 3.4 เบ้าปูน 31
รูปที่ 3.5 เครื่องชั่ง 32
รูปที่ 3.6 ฐานยาง 32
รูปที่ 3.7 เครื่องดูดอากาศ 33
รูปที่ 3.8 เตาอบ 33
รูปที่ 3.9 เครื่องหล่อเหวี่ยง 34
รูปที่ 3.10 เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง 34
รูปที่ 3.11 ทองเหลือง 35
รูปที่ 3.12 ต้นแบบเรชิ่น B9R-3-EMERALD 35
รูปที่ 3.13 ปูนหล่อ 36
รูปที่ 3.14 ชิ้นงานจากเรชิ่น B9R-3-EMERALD 36
รูปที่ 3.15 ชิ้นงานที่ติดทางเดินน้ำโลหะและต้นเทียน 37
รูปที่ 3.16 เทปูนลงในเบ้าเหล็ก 37
รูปที่ 3.17 ตั้งทิ้งไว้ให้ปูนแข็งตัว 37
รูปที่ 3.18 หลอมทองเหลืองในเครื่องหล่อเหวี่ยง 38
รูปที่ 3.19 ล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง 38
รูปที่ 3.20 ลักษณะการสุ่มตรวจสอบคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ 43
รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสีย 47

บทที่ 1

1.1 บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องประดับในปัจจุบันนั้นมีผลิตภัณฑ์ที่ผลิดจากการใช้คอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบเครื่องประดับ เพราะมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลรวมถึงความทันสมัยและสะดวกสำหรับการผลิตชิ้นงาน จึงมองเห็นความสำคัญของการใช้เครื่องRP(rapid prototype) เพื่อการสร้างต้นแบบตัวเรือนแว็กซ์เพื่อนำไปเป็นต้นแบบโลหะแต่จะทราบได้อย่างไรว่าเราได้ใช้อุณหภูมิที่เป็นมาตฐานที่จะทำให้แว็กซ์ชนิด B9R-3-EMERALD เกิดความสมบูรณ์ในการขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อนเป็นการต่อยอดในการที่จะทำให้ชิ้นงานออกมาสวยงามและสมบูรณ์ที่สุด

ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าเรื่องเกี่ยวกับสภาวะของอุณภูมิที่ส่งผลต่อการละลายของต้นแบบแว็กซ์ชนิด castable resin และอุณหภูมิที่เหมาะสำหลับการอบปูนให้ได้อุณหภูมที่เหมาะสมกับแว็กซ์ B9R-3-EMERALD

1.2 ความสำคัญของโครงงาน

จากการศึกษาคุณสมบัติของแว็กซ์ B9R3EMERALD ที่มีลักษณะชิ้นงานอ่อนนุ่มและกระบวนการขจัดแว็กซ์ได้ง่าย มีระยะเวลาในการอบเป้าปูนที่สั้นกว่าแว็กซ์WIC100A อีกทั้งยังลดเวลาการผลิตเครื่องประดับและเป็นการศึกษาพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องประดับโดยการใช้แว็กซ์ B9R-3-EMERALD อย่างไรก็ตามข้อมูลทางเทคนิคการหล่อแว็กซ์ B9R-3-EMERALD ซึ่งทางบริษัทไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลเหล่านี้ได้ ผู้ศึกษาจึงเล็งเห็นว่าแว็กซ์ B9R-3-EMERALD สามารถขึ้นรูปได้จึงจะนำมาทำเป็นต้นแบบโดยขึ้นรูปด้วยเครื่อง Rapid Prototype เพื่อทดลองการขจัดแว็กซ์ออกจากเบ้าปูนและการอบเบ้าปูนในระยะเวลาที่เหมาะสม ด้วยวิธีการหล่อเหวี่ยงและเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาจึงใช้วัสดุเป็นทองเหลืองในการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับด้วยแว็กซ์ B9R-3-EMERALD เพื่อให้ชิ้นงานมีคุณภาพและนำไปใช้ต่อในระบบอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ

1.3 จุดประสงค์ของโครงการ

1.ศึกษาทดลองหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการอบเบ้าปูนให้ความร้อนอบเผาขจัดต้นแบบเรซิ่นในเบ้าปูนหล่อเครื่องประดับ

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. ทดลองการหล่อตัวเรือน โดยแบ่งช่วงอุณหภูมิอบเบ้าปูนในขั้นตอนการหล่อเป็น 4 ระดับ ทดลองที่อุณหภูมิ 750℃/800℃/850℃/900℃
2. ใช้วัสดุแว็กซ์ B9R-3-EMERALD เป็นต้นแบบตัวเรือนโดยขึ้นต้นแบบด้วยเครื่อง Rapid Prototype
4. ใช้กระบวนการหล่อเหวี่ยงในการขึ้นรูป
5. ใช้ปูนหล่อชนิด KerrCast 2000สำหรับหล่อทองเหลือง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้จากอุณหภูมิการอบเบ้าปูนของแว็กซ์เรซิ่น B9R-3-EMERALD
2. ได้รับความรู้ถึงการหล่อแว็กซ์เรซิ่น B9R-3-EMERALD ด้วยทองเหลือง

บทที่ 2
แนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญ

2.1 บทนำ

การจัดทำโครงการ “กรณีศึกษากระบวนการอบเบ้าปูนหล่อทองเหลืองด้วยต้นแบบแว็กซ์ B9R-3-EMERALD” ที่ถูกต้องตามขั้นตอนกระบวนการผลิต ซึ่งต้องมีการศึกษาค้นคว้าข้อมูล การทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทางทฤษฎีของกระบวนการผลิตเครื่องประดับ แหล่งที่มาของข้อมูลได้มาจาก หนังสืออ้างอิง หนังสือทั่วไป สื่อออนไลน์ หรือวิทยานิพนธ์ โดยเนื้อหาสาระที่สำคัญเกี่ยวข้องกับทฤษฎีการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Rapid Prototype กระบวนการอบเบ้าปูนไปตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ กระบวนการอบเบ้าปูน การหล่อชิ้นงาน ซึ่งใช้ทองเหลืองเป็นวัสดุในการทดลองเพื่อศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดระยะเวลาอบเบ้าปูน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2.2 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Rapid prototype Machine หมายถึง เครื่องจักรของเครื่องสร้างต้นแบบ 3 มิติ ก็คือ จะทำการสร้างชิ้นงานขึ้นมาตามคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ โดยจะทำการสร้างชิ้นงานขึ้นมาทีละชั้น (layer by layer) โดยต้องมีการส่งข้อมูลของเครื่องขึ้นรูปวัตถุใน 3 มิติ รวมไปถึงข้อมูลของของเหลวและวัสดุที่จะใช้ขึ้นรูป

2. B9R-3-EMERALD หมายถึงน้ำยาแว็กซ์เหลวที่ใช้กับ Rapid prototypeMachine มีลักษณะเป็นน้ำสีเขียวเข้มเป็นวัสดุที่ผสมแว็กซ์เป็นส่วนประกอบประมาณ 60%และ Polymer

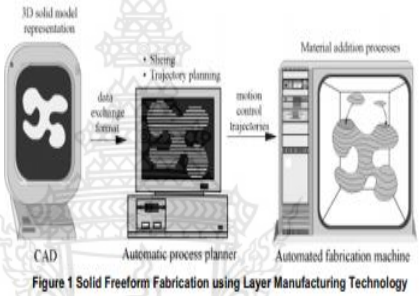
2.3 แนวคิด

Rapid prototype Machine เป็นการขึ้นรูปต้นแบบ 3 มิติ โดยใช้น้ำยาแว็กซ์EC500 เป็นการสร้างชิ้นงานที่มีความละเอียดสวยงามและทันสมัย แต่ในกระบวนการหล่อนั้นเกิดข้อบกพร่องต่อชิ้นงาน คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงกระบวนการอบเบ้า เพื่อลดระยะเวลาในการตกแต่งชิ้นงานจากกระบวนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ จึงได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องนำมาเป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน เพื่อให้ผิวของชิ้นงานมีคุณภาพดีและสามารถนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

2.4 ทฤษฎีที่สำคัญ

2.4.1 Rapid Prototype Machine

Rapid prototyping (RP) คือ ความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วจากแบบสามมิติ (3 Dimensional CAD Model) โดยตรง วิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ คือ กระบวนการขึ้นรูปวัตถุอย่างอิสระ Solid Freeform Fabrication (SFF) Process ซึ่งในปัจจุบันนี้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีการผลิตแบบ Layer ด้วยวิธีการนี้แบบสามมิติของชิ้นงานจะถูกจัดเรียงใหม่ในรูปแบบของ Layer ตัดขวาง (Cross sectional layer) แล้วใช้กระบวนการขึ้นรูปโดยค่อยๆ เติมเนื้อวัสดุให้ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่ต้องการทีละ Layer ดังรูปที่ 2.1 วิธีการนี้สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นกระบวนการเสริมวัสดุ (Material Additive Process)



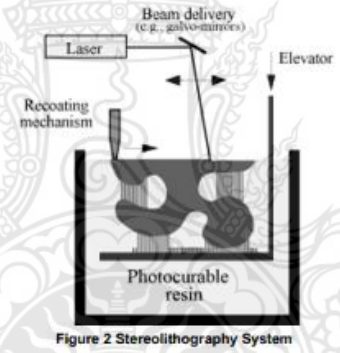
รูปที่ 2.1 รูปแบบอิสระประดิษฐ์ของแข็งที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตชั้น

Rapid Prototype (RP) เป็นระบบที่ช่วยให้เราสร้างชิ้นงานต้นแบบในเวลาอันรวดเร็ว โดยมีหลักการพื้นฐานสามขั้นตอนดังนี้ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่อง RP จะรับไฟล์ข้อมูลชิ้นงานประเภท STL ที่ได้จากการแปลงโดยโปรแกรมออกแบบแบบสามมติ (3D Model CAD) แล้วจะทำการประมวลผลและแบ่งซอยข้อมูลของชิ้นงานเป็นชั้นๆตามค่าความหนาที่กำหนด เพื่อคำนวณหาข้อมูลพื้นที่ ภาคตัดขวางในแต่ละชั้นของชิ้นงาน แล้วจึงส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังเครื่องจักร RP เครื่องจักร RP จะทำการสร้างชิ้นงานจากข้อมูลที่ได้รับ โดยจะทำการสร้างเนื้อวัสดุให้เต็มพื้นที่ภาคตัดขวางขึ้นมาทีละชั้น เริ่มสร้างจากชั้นล่างสุดก่อน เสร็จจากชั้นล่างแล้วจึงจะสร้างชั้นบนถัดไปจนกระทั่งได้ชิ้นงานต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์

2.4.2 กระบวนการขึ้นรูปด้วย Rapid prototype ประเภทต่างๆ

โฟโต้ไลท์กราฟฟิก (Photolithography)

Photolithography คือ วิธีการขึ้นรูปด้วยการใช้แสงเป็นตัวทำให้เรซิ่นที่มีความไวแสงแข็งตัวขึ้นมาระบบนี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ Laser Photolithography และ Photo Masking โดยระบบที่แพรหลายมากที่สุด คือ ระบบ Laser Photolithography เช่น Stereo lithography (SLA) ของบริษัท 3D Systems Stereo lithography เป็นเทคโนโลยี Rapid Prototype แรกที่คิดค้นขึ้นมา เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการยิงแสงเลเซอร์ไปบนของเหลวที่ไวต่อแสงเพื่อให้ของเหลวในแต่ละชั้นแข็งตัวตามการสแกนของลำแสงเลเซอร์ในระนาบ X-Y plane ดังรูปที่ 2.2 โดยวัสดุของเหลวเป็นแบบ Liquid Photopolymer (Resin) ชิ้นงานจะถูกสร้างขึ้นทีละ Layer บนแพลตฟอร์มที่เคลื่อนที่ลงตามระยะทางเท่ากับขนาดความหนาของชั้น Layer ซึ่งจะสัมพันธ์กับความสูงของชิ้นงานที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นเช่นกัน ชิ้นงานที่ได้มีความละเอียดและเที่ยงตรงสูงแต่ราคาเครื่องจักรและค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสูง



รูปที่ 2.2 ระบบ Stereo lithography

เลเซอร์ ฟิวเซอร์ (Laser Fusion)

Laser Fusion เป็นระบบที่ใช้แสงเลเซอร์ในการหลอม (Fusing) วัสดุที่เป็นผงเพื่อสร้างรูปร่างตามต้องการ Selective Laser Sintering (SLS) ดังรูปที่ 2.3 เป็นระบบหนึ่งที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเท็กซัสแห่งออสตินแล้วนำออกมาขายโดยบริษัท DTM (ปัจจุบันรวมกับ 3D Systems)

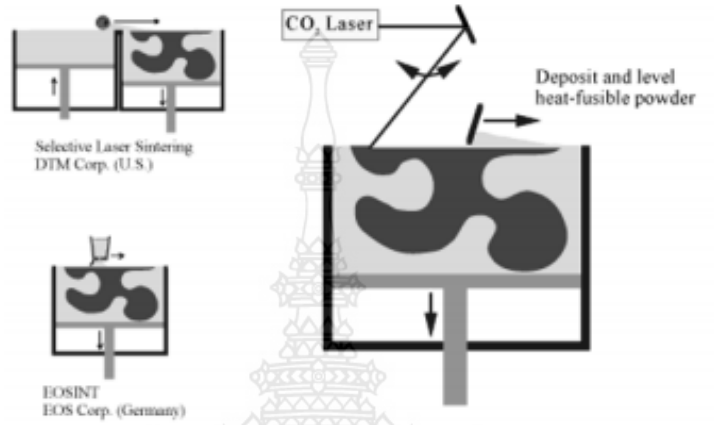


Figure 3 Selective Laser Sintering System

รูปที่ 2.3 ระบบ Selective Laser Sintering

วิธีการ คือ ผงวัสดุจะถูกแผ่กระจายลงบนผิวบนสุดของชิ้นงานที่กำลังสร้างขึ้น เลเซอร์ CO_2 จะกวาดลงไปบน Layer เพื่อหลอมพื้นที่เหล่านั้นตามรูปร่างของแต่ละชั้น Layer ตัดขวาง นอกจากนี้แล้วพลังงานของเลเซอร์ยังหลอมชั้น Layer ต่างๆให้ติดกันอีกด้วย ผงวัสดุที่ไม่ถูกหลอมจะยังคงอยู่และยังทำหน้าที่เป็นตัวรองรับชิ้นงานด้วย หลังจากที่แต่ละ Layer ได้จับตัวเป็นรูปร่างขึ้นแล้ว แพลตฟอร์มจะเลื่อนชิ้นงานลงตามความหนาของชั้น Layer เพื่อสร้าง Layer ต่อไป เมื่อกระบวนการเสร็จสิ้นจะสามารถนำชิ้นงานออกมาโดยการเอาผงวัสดุที่รองรับออกไป มีวัสดุหลายชนิดที่สามารถใช้ได้กับระบบนี้ เช่น พลาสติก แว็กซ์อัลลอย ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำหรือแม้แต่ โลหะและเซรามิกที่เคลือบด้วยโพลิเมอร์

ลามิเนชั่น (Lamination)

Lamination System คือ ระบบที่ขึ้นรูปด้วย Layer ของกระดาษหรือพลาสติก ดังรูปที่ 2.4 แผ่นลามิเนตที่เคลือบด้วยกาวความร้อน (Thermally Activated Adhesive) จะถูกติดกาวกับ Layer ก่อนหน้านี้ด้วยลูกกลิ้งร้อน (Heated Roller) แสงเลเซอร์จะทำการตัดชิ้นงานตามรูปด้านนอกของ Layer ตัดขวางแล้วเลเซอร์จะทำการตัดวัสดุที่ไม่ต้องการเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ แล้วทำซ้ำกระบวนการนี้ไปเรื่อยๆ เสร็จแล้วทำการนำสี่เหลี่ยมเล็กที่ทำหน้าที่รองรับชิ้นงานออกไป

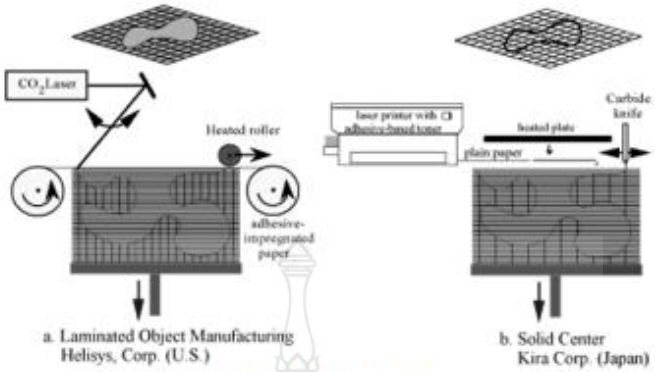


Figure 4 Lamination System

รูปที่ 2.4 ระบบ Lamination

เอ็กซ์ทรูชั่น (Extrusion)

การขึ้นรูปด้วยวิธี Extruding Freeform Shape ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Stratasysวิธีการนี้ยังถูกเรียกว่า Fused Deposition Modeling (FDM) ระบบนี้จะทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการหลอมละลายเส้นพลาสติก Thermoplastic polymer หรือแว็กซ์ด้วยหัวฉีด nozzle ที่ถูกทำให้ร้อนดังรูปที่ 2.5 วัสดุจะถูกป้อนตามสายมาที่หัว extrusion และถูกทำให้มีความร้อนเหนือจุดที่มีภาพเป็นของไหลเล็กน้อย (Flow Point) ด้วยหลักการนี้จะทำให้วัสดุแข็งตัวอย่างรวดเร็วเมื่อมันไหลออกมาจาก nozzle แต่อย่างไรก็ตามต้องมีการสร้างโครงสร้างเพื่อรองรับชิ้นงานไม่ให้ล้มโดยใช้แว็กซ์ซึ่งสามารถถูกนำออกไปโดยง่าย ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งแรงสูง ทนต่อความชื้นและความร้อนในสภาพการใช้งานทั่วไปได้ดี

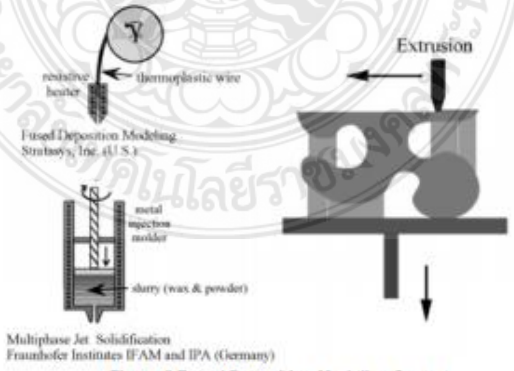
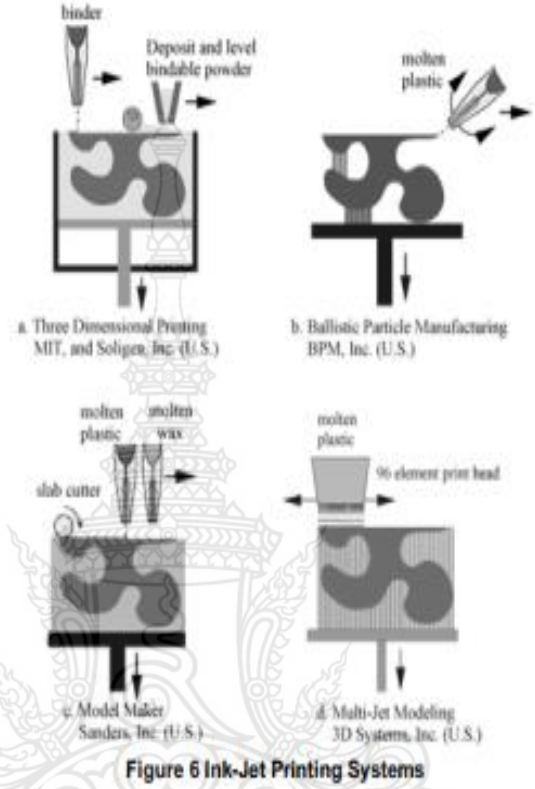


Figure 5 Fused Deposition Modeling System

รูปที่ 2.5 ระบบ Fused Deposition Modeling

อิงค์เจ็ตปริ้นเตอร์ (Ink-Jet Printing)

Ink-Jet Printing เป็นวิธีการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้หลักการของเทคโนโลยีการพิมพ์อิงค์เจ็ต กล่าวคือ หัวพิมพ์จะทำการสแกนลงไปบนวัสดุที่จะใช้ขึ้นรูปตามรูปแบบที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ระบบ Ink-Jet Printing

รูปที่ 6-A คือ 3Dimensional Printing เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการฉีดน้ำยาประสานไปบนชั้นผงวัสดุ เพื่อให้ผงวัสดุ ในแต่ละชั้นเกาะตัวเป็นรูปทรงชิ้นงาน พัฒนาโดย MIT และจำหน่ายโดยบริษัท Soligen สามารถสร้างชิ้นงานที่มีหลากสีได้โดยการผสมสีของน้ำยาประสานที่เป็นแม่สี ชิ้นงานที่ได้มีความสวยงามแต่ค่อนข้างเปราะ เป็นเทคโนโลยีที่สามารถขึ้นชิ้นงานได้เร็วที่สุด

รูปที่ 6-B คือ Ballistic Particle Manufacturing (BPM) พัฒนาโดยบริษัท BPM Technology ระบบนี้ใช้ 5-axis piezoelectric jetting system ในการขึ้นรูป molten thermoplastic ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ต้องการ อย่างไรก็ตามต้องมีการสร้างโครงสร้างเพื่อรองรับชิ้นงานเหมือนกับระบบ FDM และ SLA

รูปที่ 6-C คือ Model Maker System ที่พัฒนาโดยบริษัท Sander’s ระบบนี้จะใช้ทั้งหัวพิมพ์เทอร์โมพลาสติกและหัวพิมพ์แว็กซ์ในการขึ้นรูปไปพร้อมๆ กัน

รูปที่ 6-D คือ Multi-Jet Modeling พัฒนาโดย 3D Systems ใช้หัวพิมพ์อิสระทั้งหมด 96 หัวในการพิมพ์เทอร์โมพลาสติกเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานโดยการฉีดเรซิ่นเหลวที่ละชั้น และจะฉายแสงยูวี (UV Light) ไปพร้อมๆกัน เพื่อให้วัสดุเรซิ่นในแต่ละชั้นแข็งตัว โดยชิ้นงานที่ได้มีรายละเอียดและคุณภาพของพื้นผิวดี สามารถทำชิ้นงานที่โปร่งใสได้ (Transparency)

2.4.3 ประเภทของน้ำยาที่ใช้กับเครื่อง Rapid Prototype

รูปที่ 2.7 แว็กซ์เรซิ่นชนิด B9R-3EMERALD

วัสดุสามารถหล่อเป็นโลหะได้โดยตรง ความละเอียดสูง ถนอมถาดพิมพ์ เหมาะสำหรับงาน Jewelry

2.4.4 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ทองเหลือง (Brass)

เป็นโลหะผสมที่มีทองแดงและสังกะสีเป็นส่วนประกอบหลัก ปริมาณของสังกะสีนั้นแปรเปลี่ยนไป ระหว่าง 5 - 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ทองเหลืองที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป ทองเหลืองแตกต่างจากสำริดตรงที่ สำริดมีส่วนประกอบของทองแดงและดีบุกเป็นหลัก แต่ทองเหลืองบางชนิดก็ถูกเรียกว่า "สำริด" ทองเหลืองนั้นมีสีเหลือง จึงมีลักษณะบางส่วนคล้ายทองคำ มีความต้านทานต่อการเกิดสนิมได้ดีพอสมควร จึงนิยมนำมาทำเป็นเครื่องประดับตกแต่งภายในบ้านเรือน ในอุตสาหกรรมผลิตทองเหลืองทั่วๆไป จะแยกมาตรฐานออกไปสองกลุ่ม คือ ประเภทรีดเป็น แท่ง หรือเป็นแผ่น (Wrought copper alloys) กับอีกกลุ่มหนึ่งจะเป็นประเภทหล่อ (Cast copper) การผลิตทองเหลืองนั้น อาศัยการหลอมละลายทองแดงกับแร่คาลาไมน์ ซึ่งเป็นสินแร่สังกะสีชนิดหนึ่ง ในกระบวนการนี้ สังกะสีจะถูกดูดออกมาจากคาลาไมน์ และผสมเข้ากับทองแดงทองเหลืองมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 920 – 1067 °C

ประเภทของทองเหลือง

ในอุตสาหกรรมผลิตทองเหลืองทั่วๆไป จะแยกมาตรฐานออกไปสองกลุ่ม คือ ประเภทรีดเป็น แท่ง หรือเป็นแผ่น (Wrought copper alloys) กับอีกกลุ่มหนึ่งจะเป็นประเภทหล่อ (Cast copper) ซึ่งทั้งสองกลุ่มจะแยกชั้นคุณภาพ จะหารายละเอียดได้จากคู่มือ ASTM หรือ JIS ในการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกล มักจะกล่าวถึงชื่อทองเหลืองที่รู้จักและใช้งานกันอยู่เป็นประจำซึ่งมีอยู่ไม่มากนัก คือ

-ทองเหลืองที่ผสมสังกะสีไม่เกิน 5% มีชื่อเรียกทางการค้าว่า Gilding metal ใช้ทำเหรียญ
-ทองเหลืองที่ผสมสังกะสี 10% เรียก Commercial bronze หรือบรอนซ์ทางการค้า คุณสมบัติใช้งานคล้ายคลึงกับ Gilding metal
-ทองเหลืองผสมสังกะสี 12.5% เรียก Jewelry bronze หรือทองเหลืองทำเครื่องประดับ
-ทองเหลืองผสมสังกะสี 15% เรียก Red Brasses หรือทองเหลืองแดง
-ทองเหลืองผสมสังกะสี 30% เรียก Cartridge brass หมายถึงทองเหลืองที่ใช้ทำปลอกกระสุน ปืน ทำท่อที่ต้องอาศัยการอัดขึ้นรูป (Extrusion)
-ทองเหลืองผสมสังกะสี 35% เรียก Yellow brass หมายถึงทองเหลืองที่มีสีค่อนข้างเหลืองจัด คุณสมบัติและการใช้งานใกล้เคียงกับ Cartridge brass
-ทองเหลืองผสมสังกะสี 40% เรียก Munts Metal คำว่า Munts เป็นชื่อทางการค้า

คุณสมบัติเชิงกลของทองเหลือง

สังกะสีมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของทองเหลือง โดยเพิ่มทั้งความ แข็ง ความเหนียว และความเข็งให้กับทองแดง ในช่วงที่สังกะสีสามารถละลายให้สารละลายของแข็งในทองแดง แต่เมื่อเลยพิกัดการเป็นสารละลายของแข็งไปแล้ว สังกะสีจะให้สารประกอบเชิงโลหะกับทองแดง ซึ่งจะมีความแข็งและเปราะ ในช่วงนี้ความแข็งแรงกับความเหนียวจะค่อยๆลดลง แต่คงจะเพิ่มแต่ความแข็งเท่านั้น

2.4.5 พื้นฐานและหลักการหล่อ

การติดต้นเทียน

คือ การนำตัวแบบเทียน มารวมกันให้เป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบโดยนำไปติดกับที่ต้นเทียน เพื่อสามารถหล่อชิ้นงานได้ครั้งละจำนวนมาก เป็นการหล่อระบบอุตสาหกรรมลักษณะการติดต้นเทียนแบ่งออกเป็นหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของงานที่จะนำมาติด ถ้างานมีชิ้นใหญ่ก็จะติดแบบสลับฟันปลา หรือ เรียงกันเป็นแถวในแนวตั้ง ถ้างานชิ้นเล็กก็จะติดเป็นเกรียว หรือเป็นชั้นๆในแนวนอนทั้งนี้การติดต้นเทียนไม่ว่าจะเป็นแบบไหนทางเดินน้ำโลหะจะต้องทำมุม 30-60 องศา กับต้นเทียน เพื่อให้น้ำโลหะจากการหล่อสามารถเข้าไปในส่วนที่อยู่ลึกที่สุดของต้นเทียนได้สะดวกเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต้นเทียนประกอบ ด้วยฐานยางติดต้นเทียน ที่จับฐานยางติดต้นเทียนที่สามารถเอียงและหมุนไปเป็นมุมต่างๆ ได้เพื่อความสะดวกสบายในการติดต้นเทียน

- ฐานยาง เป็นฐานสำหรับใช้ติดหรือประกอบด้วยตัวแบบเทียน การเลือกใช้ฐานยางควรเลือกให้ฐานยางที่มีขนาดสวมเข้ากับกระบอกหล่อได้อย่างพอดี

-กระบอกหล่อ จะเป็นกรอบในการกำหนดความกว้างและความสูงของกลุ่มเทียน โดยให้ส่วนสูงที่สุดของกลุ่มเทียนจะต้องมีระยะห่างจากขอบด้านบนของกระบอกหล่อไม่น้อยกว่า 1/2นิ้วและตัวแบบเทียนต้องห่างจากผนังกระบอกไม่น้อยกว่า 1/4 นิ้ว เพื่อป้องกันไม่ให้ผนังของแม่พิมพ์ปูนหล่อบางเกินไป

-หัวแร้งไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับละลายเทียนให้ร้อนและติดตัวแบบเทียน

การคำนวณหาน้ำหนักของโลหะ

-ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ ความถ่วงจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุต่อน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน ความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วยแต่เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักจากกฎของอาร์คิมีดีสที่ว่า “วัตถุใด ๆ เมื่ออยู่ในน้ำ วัตถุนั้นจะสูญเสียน้ำหนักไปเท่ากับน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่วัตถุนั้นเข้าไปแทนที่”

การหาน้ำหนักโลหะ = (น้ำหนักต้นเทียน × ถ.พ.) + (น้ำหนักของเทียน × ถ.พ.) × 20/100

-การคำนวณหาปริมาณน้ำโลหะ ในทางปฏิบัติสามารถคำนวณน้ำหนักโลหะที่ต้องการใช้โดยไม่ยุ่งยากมากนัก เนื่องจากได้มีการคำนวณ ค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะชนิดต่าง ๆ ไว้แล้วจึงเพียงแต่นำน้ำหนักของต้นเทียน มาคูณและบวกด้วยส่วนเพิ่มเติมปัจจัยอื่นนี้ จะต้องบวกเพิ่มเข้าไปในน้ำหนักของโลหะที่คำนวณได้ส่วนเพิ่มเหล่านี้คือ ส่วนเพิ่มบริเวณปากทางเข้าของโลหะ ในการหล่อปูนทำแม่พิมพ์ปูนหล่อเมื่อปูนเริ่มจับตัวแข็งดีแล้ว จะนำเอาฐานยาง ออกจากแม่พิมพ์ปูน ซึ่งจะเห็นปากทางเข้าของน้ำโลหะ ที่มีลักษณะเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ มีรูปร่างตามแบบฐานยางที่นำออกไป ส่วนของกลุ่มนี้จะไม่มีสัดส่วนในการคำนวณข้างต้น สำหรับการเพิ่มน้ำหนัก โลหะส่วนนี้จะบวกเพิ่มจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักที่คำนวณได้

ขั้นตอนการปฏิบัติ

- ก่อนทำการติดต้นเทียนให้ชั่งน้ำหนักของฐานยาง และเขียนน้ำหนักของฐานยางไว้ให้ชัดเจน
- ติดต้นเทียนตามหลักการ
- ชั่งน้ำหนักต้นเทียนที่ติดตั้งบนฐานยาง นำน้ำหนักของฐานยางที่บันทึกไว้มาหักลบออก บันทึกไว้
- คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะที่จะใช้หรือ เปิดหาจากตารางสำเร็จ
- คำนวณโลหะที่ต้องการใช้ =ถ.พ. ของโลหะ × น้ำหนักของต้นเทียน
- เผื่อน้ำหนักโลหะ 20% = (ถ.พ. ของโลหะ × น้ำหนักของต้นเทียน) × 20/100
- น้ำหนักโลหะทั้งสิ้น = (ถ.พ. ของโลหะ × น้ำหนักของต้นเทียน) + (ถ.พ. ของโลหะ × น้ำ หนักของต้นเทียน) × 20/100

ข้อแนะนำในการติดต้นเทียน

- ตัวแบบเทียนจะต้องติดแน่นไม่หลุดง่าย ทั้งการติดต้นเทียนแบบแนวเดียวกัน และการติดต้นเทียนแบบสลับกัน หากติดตัวแบบไม่แน่นเมื่อนำไปเทปูนหล่อแบบและดูดฟองอากาศออกจากเนื้อปูนตัวแบบเทียนอาจหลุดออกจากฐานที่ติดได้

- การติดต้นเทียนที่ถี่เกินไปอาจทำให้ผนังปูนแตกร้าวถ้าผนังบางเกินไปโดยเฉพาะความหนาของปูนที่ยอดต้นเทียนควรให้หนามากกว่า 1/2 นิ้ว เพราะแรงดันของน้ำโลหะที่วิ่งไปตามลำต้นเทียนจะชนผนังส่วนนี้ให้แตกร้าวได้
- ก่อนทำการติดต้นเทียน ให้ตกแต่งตัวแบบเทียนให้เรียบร้อยก่อนโดยยึดหลักว่าการตกแต่งเทียนกระทำได้ง่ายกว่าการตกแต่งชิ้นงานโลหะ
- ตัวแบบเทียนทุกตัวที่ติดต้นเทียนจะต้องไม่สัมผัสกัน แต่ต้องอยู่ใกล้เคียงกันที่สุดเพื่อให้มีจำนวนการติดตัวแบบเทียนได้มากที่สุด

2.4.6 ปูนสำหรับหล่อเครื่องประดับ

การหล่องานเครื่องประดับนิยมใช้วิธีการหล่อแบบอิสเวสเมนต์ (investment casting) หรือเรียกอีกชื่อว่า การหล่อแบบประณีตงานหล่อประเภทนี้จะได้ผิวชิ้นงานที่มีความละเอียดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานหล่อประเภทอื่น การศึกษาสมบัติของปูนจึงมีความสำคัญกับการหล่ออย่างยิ่งคือ ปูนควรจะทนทานต่ออุณหภูมิของโลหะในระหว่างการหล่อ เนื้อปูนที่ละเอียดจะทำให้ผิวงานที่ดีจากหล่อ การควบคุมการเติบโตของผลึกในปูนเพื่อให้ได้ผิวเนื้อปูนที่ดีเหมาะสมสำหรับเป็นแม่พิมพ์ปูนที่สวยงาม การควบคุมอุณหภูมิของปูนในระหว่างการหล่อเพื่อให้น้ำโลหะไหลเข้าแบบได้อย่างเหมาะสม และการเลือกชนิดปูนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะระหว่างการหล่อเป็นต้น ปูนที่ใช้ในงานหล่อเครื่องประดับ แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ แยะตามประเภทวัสดุของปูนคือ ปูนยิปซัมบอนด์ (Gypsum bonded investment) ปูนฟอสเฟตบอนด์ (Phosphate bonded investment) และปูนแบบอลูมินา – แมกนีเซียม (alumina-maganesia investment)

ชนิดของปูนที่ใช้ในการหล่อ

- ปูนยิปซัมบอนด์(Gypsun bonded investment)

ปูนยิปซัมบอนด์เหมาะสำหรับงานหล่อโลหะ เงิน ทอง หรือทองเหลือง โดยส่วนใหญ่งานหล่อเครื่องประดับจะนิยมใช้ปูนหล่อประเภทนี้ เนื่องจากมีราคาและคุณสมบัติเหมาะสำหรับการหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส

ส่วนผสมของปูนยิปซัมบอนด์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ วัสดุทนไฟซึ่งประกอบด้วยซิลิกา คริสโตบาลไลต์ (Critoballite) เป็นต้น และกลุ่มวัสดุที่มีสมบัติเป็นตัวยึด (binder) คือ ผงยิมซัม ที่มีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (Calcium sulfate hemihydrate) และส่วนผสมอื่นๆเพิ่มตามแต่ละสูตรของการผลิต

-ปูนฟอสเฟตบอนด์(Phosphate bonded investment)

ปูนฟอสเฟตบอนด์เหมาะสำหรับงานหล่องานโลหะที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง เช่น แพลตินัมสเตนเลสตีล และทนทานต่อการหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงกว่า 1200 °C

ส่วนผสมของปูนฟอสเฟตบอนด์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือวัสดุทนไฟซึ่งประกอบด้วยซิลิกาและกลุ่มวัสดุที่เป็นธาตุยึดคือ เกลือฟอสเฟต หรือออกไซด์ของกรดฟอสฟอริค โดยทั่วไปใช้โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต แมกนีเซียมออกไซด์ และส่วนผสมอื่นๆเพิ่มเติมตามแต่ละสูตรของการผลิตปูนฟอสเฟต

-ปูนอะลูมินา-แมกนีเซียม(alumina-maganesia investment)
ถึงแม้ว่าปูนฟอสเฟตบอนด์จะทนต่ออุณหภูมิสูงเช่นงานหล่อไททาเนียม แต่ระหว่างการหล่อด้วยพิมพ์ปูนฟอสเฟตบอนด์อาจมีก๊าซเกิดขึ้น ทำให้ปูนฟอสเฟตบอนด์จึงไม่เหมาะสมสำหรับงานไททาเนียม เพราะโลหะไททาเนียมไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นออกไซด์ ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำปูนอะลูมินา-แมกนีเซียมซึ่งเป็นปูนที่ค่อนข้างเสถียรจากพันธะของอะลูมินาและแมกนีเซียม มาใช้หล่อไททาเนียม นอกจากนี้ยังสามารถนำไปหล่อโลหะประเภทอื่นๆ ได้ เช่น นิกเกิล โคบอลต์ โครเมียม เป็นต้น
ส่วนผสมของปูนอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม ประกอบไปด้วยวัสดุทนไฟจากปูนของอะลูมินากับแมกนีเซียม ซึ่งมีสารที่เป็นตัวยึดหลายชนิด สารหลักที่ผสมกันได้แก่ แมกนีเซียมอะซิเตต (Magnesium acetate) ปูนเซอร์คอเนีย (Zirconiacement) ปูนแมกนีเซียม (Magaesia cement) ซิลิกาเจลหรือวุ้นซิลิกา (Colloidal sillcate) เอธิลซิลิเกต (Ethyl sillcate)

2.4.7 การทำแม่พิมพ์ปูนหล่อ

ปูนหล่อแบบที่จำหน่ายอยู่ทั่วไปจะอยู่ในรูปของผงละเอียดแห้งสนิท เมื่อใช้งานจะผสมกับน้ำสะอาด ซึ่งถ้าผสมตามสัดส่วนที่ถูกต้องแล้วจะมีสภาพเป็นโคลนข้น เรียกว่า Slurry ในการผสมถ้าใช้สัดส่วนไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดความเสียหายขณะหล่อได้ เช่น ถ้าใช้น้ำมากเกินไปจะทำให้ปูนหล่อแบบไม่แข็งแรง ไม่สามารถทนแรงอัดจากน้ำโลหะได้หรือถ้าใช้น้ำน้อยเกินไปจะทำให้ส่วนผสมมีความเข้มข้นสูง ซึ่งจะมีความแข็งแรงมาก แต่อาจทำให้ตัวแบบ wax เสียหายได้ เป็นต้น ดังนั้นการใช้ปูนหล่อแบบของบริษัทใด ควรศึกษาคู่มือหรือคำแนะนำของบริษัทนั้น จะทำให้ได้แม่พิมพ์ปูนหล่อแบบที่ดี ส่วนผสมโดยทั่วๆ ไปจะมีอัตราส่วนโดยประมาณ คือ
1. น้ำหนักของน้ำ = 40% ของน้ำหนักปูนหล่อสำหรับแนวทางและวิธีการคำนวณนั้นให้คิดดังนี้
2.น้ำหนักของปูนหล่อแบบ = ปริมาตรของกระบอกหล่อ (V) x 1.2 + (20%ของน้ำหนักปูนหล่อทั้งหมด) โดยที่ ปริมาตรกระบอกหล่อ (V) = / 4 D2H หรือ
3.น้ำหนักของปูนหล่อแบบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (CC) = 1.2 CC/ กรัม20% ของน้ำหนักของปูนหล่อแบบทั้งหมดที่คำนวณได้ = คือการเผื่อสำหรับความสูญเสียของส่วนผสมที่เกิดจากการดูดอากาศออกจากเนื้อปูนและส่วนที่ติดกับภาชนะ

ขั้นตอนการผสมปูนหล่อแบบ

- คำนวณน้ำหนักของปูนหล่อแบบและชั่งน้ำหนักเตรียมไว้ให้พร้อม
- เทน้ำสะอาดลงในชามอ่างยางสำหรับผสม ค่อยๆ เทปูนลงในน้ำและใช้พายพลาสติกคนผสมกันให้ทั่ว ข้อควรระวัง คือ ห้ามเทน้ำลงในปูนขณะผสม เนื่องจากปูนหล่อแบบมีลักษณะเป็นผงละเอียดแห้งสนิท เมื่อเทน้ำลงไปบริเวณหนึ่งของปูนหล่อแบบ ปูนจะซึมซับน้ำไว้อย่างรวดเร็ว ทำให้ส่วนอื่นๆ ของปูนไม่ได้รับน้ำ การผสมจะทำได้ยากและส่วนผสมนั้นมักเสียหาย เนื่องจากน้ำไม่สามารถกระจายไปผสมกับปูนทั้งหมดได้
- นำส่วนผสมเข้ากวนในเครื่องผสมปูนหล่อ ใช้เวลาประมาณ 1 – 1.5 นาทีนำส่วนผสมเข้าเครื่องดูดอากาศออกจากภายในเนื้อปูนหล่อ พร้อมทั้งให้มีการสั่นสะเทือน ใช้เวลาประมาณ 1 – 2 นาที

- นำส่วนผสมเทลงในกระบอกที่มีต้น wax ติดตั้งอยู่ภายใน และประกอบกับฐานยางเรียบร้อนแล้ว เทส่วนผสมปูนหล่อลงในกระบอกโดยเทลงทางด้านข้างของกระบอก หากเทลงตรงกลางบนต้น wax โดยตรง ปูนหล่ออาจทำให้ต้น wax เสียหายได้
- นำกระบอกหล่อที่เทปูนหล่อแล้ว เข้าเครื่องดูดอากาศจากส่วนผสมของปูนหล่ออีกครั้ง ใช้เวลาประมาณ 1 – 2 นาที
- เติมส่วนผสมของปูนหล่อในกระบอกให้เต็ม การพร่องลงของปูนหล่อในกระบอก เนื่องจากการดูดอากาศออกจากเนื้อปูน ทำให้ส่วนผสมของปูนหล่อบางส่วนกระเด็นออกจากกระบอกหล่อ จึงต้องเติมให้เต็ม
- เมื่อมีการเทปูนหล่อแบบลงในกระบอกเรียบร้อยแล้วให้นำกระบอกหล่อไปตั้งผึ่งไว้ในที่ร่มเมื่อปูนหล่อเริ่มแห้งให้ตกแต่งปูนหล่อแบบให้เรียบร้อยเสมอขอบกระบอกหล่อ ในการผสมปูนหล่อแบบตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นนั้นมีความสำคัญมาก ต้องรีบดำเนินการให้เสร็จสิ้นเรียบร้อยภายในระยะเวลา 10 – 20 นาที เพราะปูนหล่อจะแห้งและแข็งตัว โดยเฉพาะถ้าเป็นการผสมแบบเข้มข้น เช่น แบบอัตราส่วน 38 : 100 จะต้องมีการปฏิบัติงานที่เร็วขึ้น เพราะปูนหล่อจะแข็งตัวเร็วมาก และการดูดอากาศออกจากเนื้อปูนหล่อก็จะกระทำได้ยากขึ้น

ข้อควรระวังในการผสมปูนหล่อ

-อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมปูนหล่อ ควรเลือกอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุที่ไม่มีเศษหรือเสี้ยนที่จะหลุดเข้าไปผสมกับส่วนผสมของปูน

-การลัดหรือการข้ามขั้นตอน อาจทำให้เกิดความเสียหายต่องานหล่อได้ เช่น การดูดฟองอากาศน้อยเกิดไป เป็นต้น

-ในขณะดูดอากาศออกจะต้องมีการสั่นสะเทือนตลอดเวลา เพื่อให้อากาศที่แทรกตัวอยู่ลึกๆ ถูกกระตุ้นให้ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของส่วนผสมและถูกดูดออกไป

2.4.8 การอบเบ้าปูน

เป็นขั้นตอนที่อาจเรียกว่าเป็นการเตรียมแม่พิมพ์สำหรับการหล่อโลหะเพื่อปรับอุณหภูมิของเนื้อปูนหล่อให้เหมาะสมกับน้ำโลหะ ในการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้มีความเหมาะสมเพื่อรองรับการฉีดน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบ ความผิดพลาดในการควบคุมอุณหภูมิจะก่อให้เกิดรูพรุน ขึ้นบนชิ้นงานได้ง่าย หรือเกิดผลอื่นๆ ทำให้การหล่อไม่สำเร็จ เช่น ถ้าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำเกินไป น้ำโลหะที่ฉีดเข้าสู่โพรงแบบจะแข็งตัวก่อนที่จะแทรกไปตามรายละเอียดของแบบทำให้การหล่อไม่สมบูรณ์ หรือที่เรียกว่าหล่อไม่เต็ม ขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้น้ำโลหะที่ฉีดเข้าไปอยู่ในสภาพของเหลวนานกว่าปกติ จะส่งผลให้เกิดรูพรุนขึ้นบนผิวชิ้นงานได้

จุดประสงค์ในการอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ

- เพื่อกำจัดตัวแบบเทียน และส่วนของเทียนทั้งหมดออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อทำให้แม่พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงแบบขึ้นภายใน พร้อมมีทางเดินน้ำโลหะ

- เพื่อเตรียมอุณหภูมิของกระบอกหล่อให้เหมาะสมกับอุณหภูมิในการหล่อโลหะ การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อเพื่อขจัดเทียนมักจะใช้ระบบไอน้ำในการละลายเทียนซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ100℃ เทียนประมาณ 90 % ในกระบอกหล่อจะหลอมละลายเทียนและไหลออกมาทางปากแม่พิมพ์ปูนหล่อ ซึ่งเกิดจากส่วนโค้งนูนของฐานยาง เมื่อกำจัดเทียนจำนวนมากออกแล้วจึงนำแม่พิมพ์เข้าอบในเตาอบต่อไป

ความร้อนที่ใช้ในการอบเบ้าปูน

- เพื่อกำจัดตัวแบบเทียน และส่วนของเทียน ทั้งหมดออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อทำให้แม่ พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงแบบขึ้นภายใน พร้อมทางเดินน้ำโลหะ
- เพื่อเตรียมอุณหภูมิของกระบอกหล่อให้เหมาะสมกับอุณหภูมิในการหล่อโลหะทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในขณะทำการหล่อโลหะ การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ เพื่อขจัด-เทียน นี้มักจะใช้ระบบไอน้ำในการละลายเทียน ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 100 ℃ เทียนประมาณ 90 % ในกระบอกหล่อจะหลอมละลายและไหลออกทางปากแม่พิมพ์ปูนหล่อ ซึ่งเกิดจากส่วนโค้งนูนของฐานยาง เมื่อกำจัดเทียนจำนวนมากออกแล้วจึงนำแม่พิมพ์เข้าอบในเตาอบ

ความสมดุลของอุณหภูมิ

-ชิ้นงานบาง เป็นชิ้นงานที่มีโพรงแคบและเล็ก ช่องทางน้ำโลหะจะแทรกเข้าไปได้เต็มโพรงแบบ ดังนั้นน้ำโลหะจะต้องมีลักษณะหลอมเหลว และต้องเย็นตัวช้าเพื่อให้มีเวลาเพียงพอที่น้ำโลหะแทรกตัวเข้าไปในที่แคบๆ ได้ทั่วถึง น้ำโลหะจึงต้องมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นแม่พิมพ์จึงต้องมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย
-ชิ้นงานหนา เป็นชิ้นงานที่มีโพรงแบบโตกว่า น้ำโลหะจะแทรกตัวเข้าไปได้เร็ว อุณหภูมิของน้ำโลหะจึงมีอุณหภูมิต่ำได้ การเตรียมแม่พิมพ์จึงสามารถใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและบางกว่า
-อุณหภูมิหล่อของโลหะแต่ละชนิดข้างต้น เป็นอุณหภูมิโดยประมาณเนื่องจากโลหะผสมแต่ละชนิด จะมีสัดส่วนการผสมที่แตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต
-ในการอบเผาแม่พิมพ์ ควรคงที่อุณหภูมิหล่อไว้อย่างน้อยครึ่งชั่วโมง ก่อนทำการหล่อเพื่อให้สัดส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์มีความร้อนใกล้เคียงกันมากที่สุด
-อุณหภูมิของแม่พิมพ์ จะขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์และรายละเอียดของแบบว่ามีขนาดและรายละเอียดซับซ้อนเพียงใด โดยชิ้นงานจะต้องการอุณหภูมิสูงกว่าชิ้นงานใหญ่
-ในการหล่อโลหะ ถ้าพบว่าน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะในส่วนที่มีความละเอียดมาก ๆ ให้เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อน การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำโลหะต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง
-ในการอบเผาแม่พิมพ์ ไม่มีเครื่องมืออุปกรณ์ควบคุมที่ดีพอ ให้สังเกตที่บริเวณปากทาง เข้า – ออกของน้ำโลหะแม่พิมพ์ ถ้าบริเวณนั้นมีจุดสีน้ำตาลเข้มและมีเปลวไฟพุ่งออกมาจากภายในโพรงแบบแสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้ไม่หมด แต่ถ้าบริเวณปากทางเข้าและออกของน้ำโลหะของแม่พิมพ์มีสีขาวนวล แสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์
-แก๊สหรือควันที่ระเหยออกมา ในขณะอบเผาแม่พิมพ์เป็นแก๊สพิษ ควรหาทางป้องกันและหลีกเลี่ยงการสูดดม

รูปที่ 2.8 เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

การใช้เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

-การเปิด / ปิดเครื่อง เตาอบเผาแม่พิมพ์มี 2 ชนิด คือเตาไฟฟ้าและเตาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง ส่วนประกอบที่สำคัญ คือห้องอบเผาซึ่งมีหลายขนาดตามความต้องการของผู้ใช้ ภายในห้องเผานี้จะมีปล่องสำหรับระบายควันออกจากห้อง ซึ่งมีการต่อปล่องนี้ออกจากห้องปฏิบัติงาน เพราะควันที่ออกจากเตาอบเผาจะเป็นควันพิษ นอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมอุณหภูมิของเตา ซึ่งมีทั้งชนิดที่ควบคุมด้วยมือ และชนิดควบคุมอัตโนมัติ เตาอบเผาแม่พิมพ์นี้จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1200 ℃ ในการใช้งานจะต้องคำนึงถึงส่วนของอุณหภูมิและเวลาในการอบการควบคุมอุณหภูมิและเวลาจะต้องกระทำไปพร้อมกัน

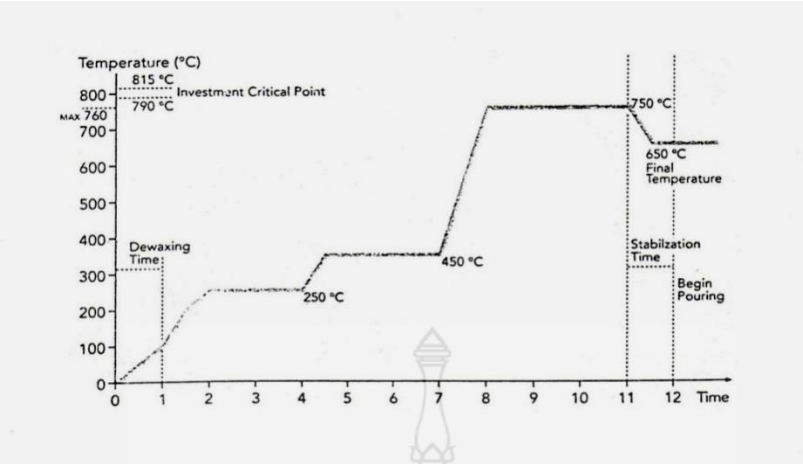
-การตั้งอุณหภูมิในการอบ อุณหภูมิหล่อโลหะจะต้องมีความสมดุลกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ปูนหล่อ เนื่องจากในการหล่อโลหะแม่พิมพ์ซึ่งจะทำหน้าที่รองรับน้ำโลหะควรมีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากนัก มิฉะนั้นแม่พิมพ์จะแตกเสียหายได้ และโลหะแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิหลอมละลายแตกต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิหล่อหรืออุณหภูมิของแม่พิมพ์ จึงต้องมีความแตกต่างกันตามชนิดของโลหะด้วย อาจสรุปได้ดังนี้คือ เงิน (SILVER)มีอุณหภูมิหล่อประมาณ 426 – 454 ℃

-การตั้งเวลาในการอบในการอบเผาแม่พิมพ์ มีสูตรการอบเผาหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคผู้ปฏิบัติสรุปหลักการอบเผาอย่างกว้างๆ ได้ดังนี้

1.) เพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ

2.) ในบางอุณหภูมิที่สำคัญๆ หรือในกรณีที่มีกรอบเผาไม่เหมือนกันให้คงอุณหภูมินั้นไว้เพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึง

3.) ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์ ปริมาณแม่พิมพ์และประสิทธิภาพของเตาอบเผาแม่พิมพ์



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างอุณหภูมิการทำงานของเครื่องอบเบ้า

ในการกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาแต่ละช่วงนั้นต้องตระหนักถึงอุณหภูมิหล่อและปฏิกิริยาต่างๆ สรุปได้ดังนี้

- ทฤษฎีการอบเผาแม่พิมพ์ ในการอบเผาแม่พิมพ์ จะมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

1.) ในการอบเอาแม่พิมพ์ ควรเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ในระยะแรกจนถึงประมาณ 200 °C เนื่องจากในแม่พิมพ์ มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100 °C น้ำจะกลายสภาพเป็นไอน้ำ และแทรกตัวออกตามช่องว่างของเนื้อปูนหล่อ หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไอน้ำจะขยายตัวโดยมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่าปูนหล่อ การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้เอง ทำให้เกิดแรงดันภายในปูนหล่อ ลวดลายต่าง ๆ ของแม่พิมพ์จะเกิดความเสียหาย และร้ายแรงที่สุดถึงขั้นทำให้แม่พิมพ์แตกร้าวได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำในแม่พิมพ์ส่วนผสมของสารเคมีจากปูนหล่อ มิใช่อยู่ในรูปของน้ำบริสุทธิ์ ดังนั้นจุดที่น้ำจะกลายเป็นไอ อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 200 °C ทีเดียว

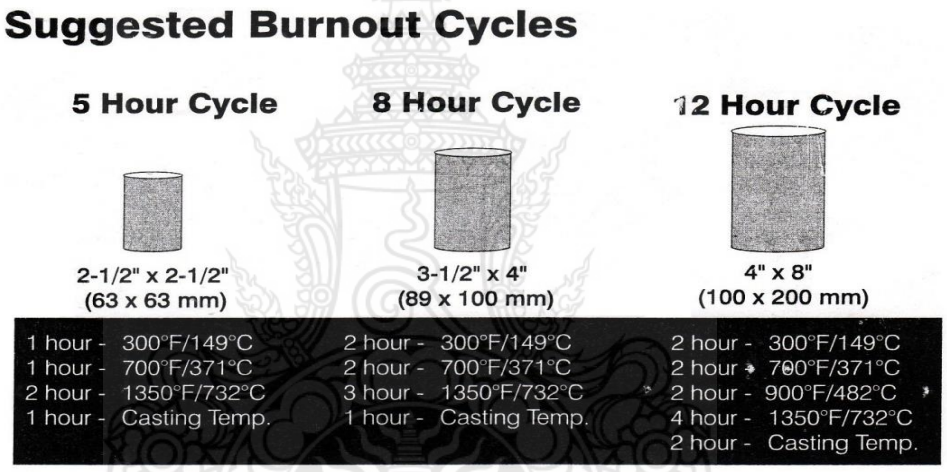
2.) ในกรณีที่ไม่มีการนึ่งเทียน ก่อน แต่นำแม่พิมพ์เข้าอบเผาในเตาอบโดยตรงนั้น ไม่ควรนำแม่พิมพ์เข้าอบในขณะที่เตาอบเย็น แต่ควรนำเข้าในขณะที่ภายในเตามีอุณหภูมิประมาณ 150 °C นั่นคือควรทำการอุ่นเตาอบก่อนนำแม่พิมพ์เข้าไปอบเผาเนื่องจากในขณะที่เตาเย็น เมื่อเริ่มต้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 80 °C เทียนจะเริ่มละลายกลายเป็นของ เหลว ส่วนหนึ่งจะเริ่มไหลออกมาทางปากทางเข้า แต่ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่ยังคงอยู่ภายในโพรงแบบ ขณะเดียวกันปูนจะเริ่มขยายตัวทำให้รูพรุนหรือช่องว่างของเนื้อปูนหล่อโตขึ้น ปูนหล่อจะทำตัวเป็นฟองน้ำดูดซับเทียน ที่มีลักษณะเป็นของเหลวเข้าไปในเนื้อปูนหล่อ และกำจัดออกให้หมดได้ยากแต่ถ้านำแม่พิมพ์เข้าเตาอบในขณะที่เตามีอุณหภูมิประมาณ 150 °C เทียน จะละลายเป็นของเหลวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้น้ำจะกลายเป็นไอน้ำ และขยายตัวดันให้เทียน ไหลออกจากแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้นอีกด้วย

3.) ในการอบเผาแม่พิมพ์ หลังจากเทียนส่วนใหญ่ไหลออกจากทางเข้าและออกของน้ำโลหะจะมีเทียนอีกส่วนหนึ่งที่ถูกเผาจนกลายเป็นขี้เถ้า ซึ่งสามารถกำจัดออกจนหมด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึงประมาณ 700 °C โดยในการเผาไหม้ขี้เถ้า ซึ่งมีสถานะเป็นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยาออกซิเจน (0) ในอากาศ ทำให้ได้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สพิษ

4.) ในการอบเผา เตาจะมีอุณหภูมิเพิ่มเร็วกว่าอุณหภูมิของกระบอกหล่อ โดย เฉพาะภายในโพรงแบบ ซึ่งยังมีส่วนผสมของน้ำอยู่ในเนื้อปูนหล่อ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกระบอกหล่อกับภายในโพรงแบบ อาจแตกต่างกันถึง 50 ℃ ดังนั้นก่อนการหล่อจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิหล่ออย่างน้อยครึ่งชั่วโมง ก่อนหล่อโลหะ

5.) ถ้าแม่พิมพ์ถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 800 ℃ ยิปซัมซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของปูนหล่อ จะแตกตัวออกเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดสีผิวโลหะที่หล่อ

- วิธีการใช้อุณหภูมิในการอบแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของแม่พิมพ์ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 อุณหภูมิมาตรฐานกระบอกหล่อ

-. วิธีการคำนวณเชิงวิชาการ แนวทางการคำนวณคำนึงถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อจะต้องมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้อบเบ้าปูนหล่อ

1. สูตรการหาอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อ
2. อุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อ = จุดหลอมเหลวของโลหะ + 100 ℃

ข้อควรระวังในการใช้เตาอบแม่พิมพ์อีกประการหนึ่ง คือ ควรเพิ่มอุณหภูมิของเตาอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์เกิดความเครียดและแตกร้าวได้ง่าย การใช้เครื่องกำจัดเทียน จะเป็นการยืดอายุการใช้งานของเตาอีกวิธีหนึ่ง เพราะจะไม่มีคราบเทียนไปเกาะติดอยู่ตามส่วนต่างๆ ของเตามากเกินไป การใช้เตาอบเผาเบ้าในขณะที่กำลังอบเผาแม่พิมพ์ ไม่ควรเปิดประตูเตาโดยไม่จำเป็น เพราะอาจเกิดอันตรายจากคลื่นความร้อนจำนวนมากจะพุ่งออกมาจากเตา และทำให้เตาต้องใช้พลังงานอีกมากในการปรับอุณหภูมิให้เท่ากับตอนก่อนที่จะเปิดเตา แต่หากมีความจำเป็นที่ต้องเปิด

เตา ผู้ปฏิบัติควรหลบอยู่ด้านข้างประตูเตา นอกจากนี้เตาทั่วไปจะมีช่องสำหรับมองเข้าไปภายในเตาอยู่แล้ว โดยไม่ต้องเปิดเตาโดยตรง

2.4.9การหลอมโลหะ

คือการทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวแล้วเทลงในแม่พิมพ์ ปล่อยให้โลหะเย็นตัวและคืนสภาพเป็นของแข็งอีกครั้ง สำหรับการหลอมโลหะให้กลายเป็นของเหลวนั้นจะใช้ความร้อนจากแหล่งพลังงานต่าง ๆ พอสรุปได้ดังนี้

- การหลอมโลหะโดยใช้เปลวเพลิงโดยตรง เป็นวิธีดั้งเดิมที่ยังใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพราะมีค่าใช้จ่ายน้อย เป็นการใช้เปลวไฟที่ได้จากแก๊สเชื้อเพลิงหลอมโลหะให้ละลายโดยตรง แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ได้แก่แก๊สอะเซทิลิน แก๊สโพรเพน เป็นต้น โดยใช้ร่วมกับแก๊สออกซิเจน เพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ โดยมีหัวผ่านแก๊สเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการปรับหรือบังคับเปลวไฟให้มีปริมาณความร้อนตามต้องการ การหลอมด้วยวิธีนี้ผู้หลอมจะต้องมีความชำนาญในการดูผิวหน้าของโลหะว่าใช้ได้หรือไม่ เพราะไม่มีเครื่องมือวัดหรือควบคุมอุณหภูมิในการหลอม ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิในการหลอมละลายของโลหะจะมีหลายระดับ คือ อุณหภูมิหลอมละลาย (Melting Point) เป็นอุณหภูมิที่น้ำโลหะจะไหลได้ดี อุณหภูมิเดือด (Boiling Poing) เป็นอุณหภูมิที่น้ำโลหะเริ่มดึงอากาศรอบ ๆ เข้ามารวมตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation น้ำโลหะจะเดือด ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดรูพรุนในชิ้นงานหล่อดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้หลอมโลหะต้องหลอมให้ถึงจุดไหลของโลหะ แล้วจึงเริ่มเทลงบนแบบพิมพ์ตามกรรมวิธีการหล่อ ในทางปฏิบัติจะดูผิวหน้าของโลหะที่หลอมละลายให้เหมือนผิวหน้าของกระจกเงา จึงจะถือว่าเป็นอุณหภูมิที่ใช้ได้ ข้อควรจำแนกประการหนึ่งในการหลอมโลหะต้องเผาหรือให้ความร้อนแก่เบ้าหลอมให้เพียงพอก่อนที่จะทำการหลอมโลหะเพื่อให้เบ้าหลอมมีการขยายตัวให้เพียงพอเพราะ อุณหภูมิในการหลอมโลหะจะสูงมาก ตัวเบ้าหลอมขยายตัวไม่ทันจะเกิดการแตกร้าวจะทำให้สูญเสียเบ้าหลอมและโลหะมีค่าที่หลอมด้วยการหลอมโลหะจากเปลวไฟโดยตรงในเครื่องหล่อตัวเรือนด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และชุดเชื้อเพลิงสำหรับหลอมโลหะ การหลอมโลหะโดยใช้เตาหลอมเป็นกรรมวิธีการหลอม-โลหะที่อาจใช้พลังงานจากไฟฟ้า หรือแก๊ส เป็นการให้ความร้อนหรือเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาหลอมความร้อนจะค่อย ๆ แพร่เข้าไปถึงโลหะที่อยู่ในเบ้าหลอมหรือ Crucible จนโลหะนั้นละลายเนื่องจากการหลอมลักษณะนี้ไม่ใช่เป็นการให้ความร้อนกับโลหะโดยตรง จึงต้องใช้เวลาหลอมโลหะมากกว่าวิธีอื่น ๆ วิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมใช้

-การหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำ เป็นการหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำจากแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีนี้โลหะจะถูกให้อยู่ในเบ้าหลอมซึ่งถูกล้อมไว้ด้วยขดลวดตัวนำไฟฟ้าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดตัวนำ จะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนสูงมาก สามารละลายหรือหลอมโลหะได้ภายในระยะเวลาสั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำระบบแก๊สเฉื่อยมาใช้ในการหลอมโลหะลักษณะนี้เพื่อใช้คลุมผิวหน้าของโลหะขณะหลอมละลายเพื่อป้องกันการเกิด Oxidation ของน้ำโลหะอีกด้วยการหลอมโลหะแบบนี้ได้รับความนิยมจากผู้ผลิตเครื่องประดับที่มีคุณภาพสูงอย่างมากในปัจจุบัน

-จุดหลอมละลายของโลหะ หมายถึง ระดับอุณหภูมิที่ทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะจากของ แข็งเป็นของเหลว โดยทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มักอยู่ในรูปของโลหะผสม คือ มีโลหะอื่นปะปนอยู่ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อให้มีคุณสมบัติตามความต้องการใช้งาน ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับก็

เช่นเดียวกัน โลหะที่นำมาใช้มักมีการผสมโลหะอื่น ๆ ลงไปด้วย เพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ทองคำและเงิน โดยโลหะที่นำไปผสมมักมีอุณหภูมิหลอมละลายต่ำกว่าโลหะตั้งต้น โลหะผสมที่ได้จึงนำวิธีการบัดกรีมาใช้ เพื่อให้มีการหลอมละลายเฉพาะบางจุดเท่านั้น (ไม่หลอมละลายทั้งชิ้นงาน)

-การนำความร้อน คือความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ จากจุดใดจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่งได้รวดเร็วเพียงใด เช่น โลหะเงินมีการนำความร้อนได้ดี นั่นคือเมื่อให้ความร้อนแก่โลหะเงินที่จุดหนึ่ง โลหะเงินสามารถนำความร้อนนั้นไปถึงอีกจุดหนึ่งบนชิ้นงานเดียวกันได้อย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันไม้จะนำความร้อนได้ช้ามาก เมื่อเทียบกับโลหะเงิน ทองแดง ซึ่งเป็นโลหะที่มีการนำความร้อนที่ดี ในการบัดกรีและอบอ่อนจะต้องให้ความร้อนที่เพียงพอและสม่ำเสมอ ทั้งชิ้นงานจึงจะได้ผลที่ดีในชิ้นงานขนาดใหญ่ การบัดกรีเป็นจุดมักทำได้ไม่ดีนักเพราะความร้อนจะถูกกระจายไปในส่วนอื่น ๆ ของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับแพลทินัม เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนไม่ดีนัก จึงบัดกรีเป็นจุดได้ดี โดยไม่ต้องแกะพลอยออกจากตัวเรือน ในกรณีที่เป็นตัวเรือนที่สำเร็จแล้ว เพราะเพชรพลอยเหล่านั้นจะไม่ได้รับความร้อนจากการบัดกรี การศึกษาคุณสมบัติในการหลอมละลายของโลหะจึงมีประโยชน์อย่างมากในงานหล่อโลหะทองคำ เงิน และแพลทินัม เป็นโลหะซึ่งใช้ในการหล่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ทองแดงไม่สามาถนำมาหล่อได้ เนื่องจากมีผิวหน้าที่แข็งเกินไป

2.4.10 การหล่อ

ในปัจจุบันจะพบโรงหล่อมีอยู่มากมายซึ่งแต่ละโรงจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปแต่ถ้ามองในแง่ขนาดของโรงงานก็จะมีตั้งแต่ประเภทที่ใช้แรงงานเพียงสองสามคนจนถึงโรงงานที่มีพนักงานเป็นร้อยๆคนหรือถ้ามองทางด้านโลหะที่หล่อก็มีตั้งแต่ประเภทที่หล่อธรรมดาซึ่งไม่เน้นคุณภาพมากนักจนถึงประเภทที่หล่อไทเทเนียมโดยใช้เทคนิคสุญญากาศแต่ไม่ว่าโรงหล่อแต่ละโรงจะมีลักษณะแตกต่างกันมากน้อยเพียงไรหลักที่เหมือนกันก็คือการเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อ

ได้แบ่งแบบหล่อไว้ 4 ชนิดคือ

1. แบบหล่อสิ้นเปลือง

จะใช้ทรายชนิดเปียก (Green Sand Mold) จะได้จากการผสมของทรายซิลิกากับตัวประสาน (Binder) เช่นเบนโตไนท์และน้ำเข้าด้วยกันจากนั้นก็นำไปอัดบนแม่พิมพ์ซึ่งเรียกว่ากระสวน (Pattern) ซึ่งมีรูปร่างเหมือนชิ้นงานเมื่อดึงกระสวนออกก็จะเกิดช่องว่างจากนั้นเทน้ำโลหะลงไปและรอจนกว่าน้ำโลหะแข็งตัวแล้วนำออกจากแบบทรายก็จะได้ชิ้นงานตามต้องการนอกจากแบบหล่อชนิดทรายเปียกแล้วยังมีแบบหล่อชนิดอื่นๆคือแบบหล่อที่ใช้ทรายแห้ง (Dry Sand Mold)แบบหล่อที่ใช้ทรายไส้แบบ (Core Sand Mold)แบบหล่อปูนพลาสเตอร์ (Plaster Mold) แบบหล่อเปลือก (Shell Mold) แบบหล่อไร้หีบ (Flaskless Mold)

2. แบบหล่อถาวร

วิธีการผลิตแบบหล่อแบบนี้จะมีวิธีการที่มีข้อจำกัดซึ่งจะผลิตได้โดย

- แบบหล่อโดยการเท

จะใช้ได้เฉพาะกับโลหะที่มีการหดตัวต่ำและใช้งานที่อุณหภูมิของน้ำโลหะที่ต่ำซึ่งวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อจะต้องมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะที่ต้องการหล่อมากๆ

- แบบหล่อโดยใช้แรงอัด

วิธีนี้น้ำโลหะจะถูกนำเข้าไปในแบบโดยใช้แรงอัดโลหะที่นิยมใช้แบบหล่อนี้คืออลูมิเนียม ทองเหลืองสังกะสีผสม

- แบบหล่อสิ้นเปลืองที่ทำจากแม่พิมพ์สิ้นเปลือง

การหล่อชนิดนี้ที่สำคัญจะมี 2 แบบ

1) การหล่อประณีต (Investment Casting)

การหล่อแบบนี้จะใช้ขี้ผึ้งหรือพลาสติก ที่ถูกฉีดให้เหมือนชิ้นงานไปชุบเซรามิก แล้วปล่อยให้แห้งแล้วนำไปชุบ ทำอย่างนี้จนได้ความหนาตามต้องการจากนั้นนำไปอบเผาเพื่อไล่ขี้ผึ้งละลายออกมาก็จะได้ช่องว่างในเซรามิกเป็นรูปชิ้นงานตามต้องการ แล้วจึงเทน้ำโลหะลงไป งานที่หล่อได้โดยวิธีการนี้จะมีความคลาดเคลื่อนน้อย และผิวเรียบกว่าการหล่อด้วยวิธีอื่น

2) การหล่อโดยใช้โฟม (Full Mold Process)

การหล่อแบบนี้จะนำโฟมมาแกะและประกอบเป็นรูปร่างเหมือนชิ้นงานจากนั้นนำไปวางในหีบแล้วนำทรายใส่ลงไปในช่องว่างที่เหลือ แล้วอัดให้แน่นแล้วจึงนำน้ำโลหะเทในหีบตรงบริเวณโฟม ทำให้โฟมละลายและระเหยไปโดยมีน้ำโลหะเข้าไปแทนที่ตามรูปร่างของโฟมแบบหล่ออื่น ๆซึ่งไม่สามารถจัดลงได้ในทั้งสามแบบที่กล่าวมา ซึ่งจะมีดังนี้

- แบบหล่อเซรามิก (Ceramic Mold) ที่ใช้ในขบวนการชอว์ (Shaw Process) ซึ่งจะต้องมีความละเอียดสูง

- แบบหล่อด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Mold)

- แบบหล่อด้วยโฟม (Explorative Pattern Casting)

ในกรรมวิธีการหล่อโลหะนั้นต้องมีการเลือกแบบหล่อที่เหมาะสม ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้นสิ่งที่ควรพิจารณาคือความเหมาะสม หรือมีข้อจำกัดในแต่ละกรรมวิธี

การหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เป็นกรรมวิธีหล่อโลหะที่มีลักษณะพิเศษจำเพาะ คือ จะบรรจุโลหะเหลวเข้าสู่โพรงแบบในขณะที่หมุนอยู่รอบแกน และปล่อยให้ชิ้นงานแข็งตัวในระหว่างที่โพรงแบบยังคง หมุนอยู่เช่นเดิม แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนของโพรงแบบจะทำให้โลหะเหลวอัดตัวแน่นเข้ากับผนังโพรงแบบ จึงทำให้เกิดรูปร่างของชิ้นงานคล้อยตามผิวของผนังโพรงแบบโดยตลอดด้วย นอกจากนั้นยังทำให้เกิดระบบการป้อนเติมที่แตกต่างกันจากขบวนการหล่อกรรมวิธีอื่น ๆ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะคล้ายกับ แรงไฮโดรสเตติก (Hydrostatic Force) ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ขึ้น 2 ทางคือ

- ในขณะเทจะเห็นว่าแรงเหวี่ยงนี้ สามารถสลัดโลหะเหลวให้กระจายแผ่ออกไปสัมผัสกับผิวของผนังโพรง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้สามารถหล่อชิ้นงานรูปทรงกระบอกกลวงภายในได้เลย รวมทั้งรูปทรงแหวนอื่น ๆ ด้วย

- แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จะทำให้เกิดความดันสูงยิ่งขึ้นภายในชิ้นงานขณะที่โลหะเหลวกำลังจะแข็งตัวลักษณะเช่นนี้หากทิศทางการแข็งตัวเริ่มต้นจากผนังโพรงแบบมุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของแกนหมุนแล้ว ย่อมจะช่วยให้เกิดลักษณะการป้อนเติมที่ดีขึ้น และยังสามารถทำให้สิ่งมลทินต่าง ๆ แยกตัวออกจากเนื้อโลหะ และแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางยังสามารถขับไล่แก๊สให้ออกจากโมเลกุลของโลหะเหลวอีกด้วย

-แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) Beeley (1974: 490-493) ได้สรุปไว้ว่า แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะเกิดขึ้นได้ขณะหมุน มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรัศมีของการหมุนและความเร็วยกกำลังสอง ดังนี้

$$F_c = mr^2 = \frac{mv^2}{r} \quad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อกำหนดให้ F_c คือแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (N)

m คือมวลสาร (kg)

r คือรัศมี (m)

ω คือความเร็วเชิงมุม (rad/s)

ν คือความเร็วขอบที่เส้นรอบวง(m/s)

ในขณะที่กำลังหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอยู่นั้นจะได้รับแรงดึงดูดของโลกกระทำด้วยเช่นกัน โดย

$$Fg = m.g \quad \text{.....(2.2)}$$

เมื่อกำหนดให้ g คืออัตราความเร่ง (m/s^2)

เช่นนี้เองทำให้เกิดองค์ประกอบของแรงดึงดูดของโลกในระหว่างการหมุนกล่าวคือ

องค์ประกอบของแรงดึงดูดของโลกหรือการเหวี่ยงนั้นมีค่า

$$G_{factor} = \frac{Fc}{Fg} = \frac{r.\omega^2}{g} \quad \text{.....(2.3)}$$

โดยทั่วไปมักกล่าวเป็นหน่วยความเร็วรอบต่อนาที n นั่นคือ

$$G_{factor} = \frac{r}{g}.\left(\frac{\pi}{30}\right)^2 n^2 = \frac{0.011rn^2}{g}$$

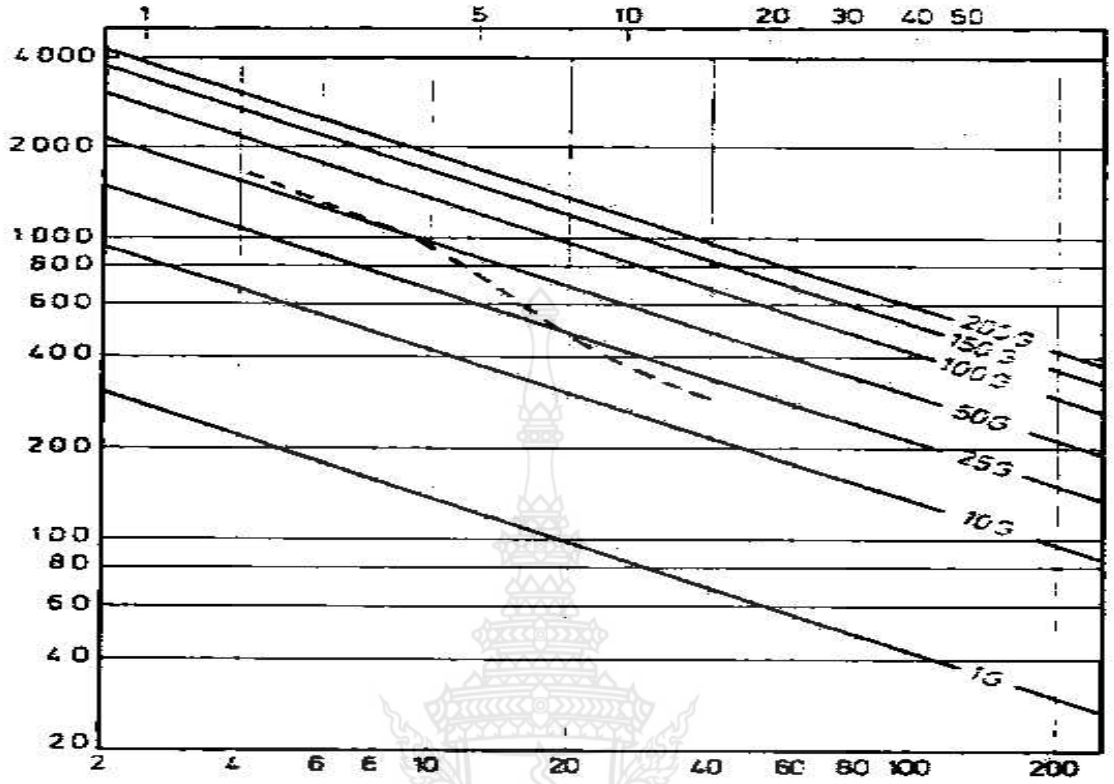
หรือ

$$n = \left(\frac{G_{factor} \times g}{0.011r}\right)^{\frac{1}{2}} = 29.9\left(\frac{G_{factor}}{r}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 42.3\left(\frac{G_{factor}}{d}\right)^{\frac{1}{2}} (rev/\min)$$

เมื่อกำหนดให้ d คือเส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

$$n = 265\left(\frac{G_{factor}}{d}\right)^{\frac{1}{2}} (rev/\min)$$



แบบเพื่อทำการเทหล่อได้เช่นกันไม่มีเกณฑ์มาตรฐานอะไรสำหรับหลักในการเลือกขนาดของการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอันนี้ ในการหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่แท้จริง หรือการหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชิ้นงานรูปทรงกระบอกกลวงนั้น ความเร็วขอบนอกที่เส้นรอบวงของโพรงแบบกับโลหะเหลว จะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากแรงฝืดที่เกิดขึ้นระหว่างผนังโพรงแบบกับคุณ สมบัติภายในของเนื้อโลหะ เช่นการหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางตามแกนนอก โลหะจะถูกเทเข้าสู่โพรงแบบในขณะที่มันยังคงหมุนอยู่ซึ่งจะต้องมีความเร็วพอเพียง เพื่อทำให้โลหะเหลวเกาะยึดติดกับผนังโพรงแบบได้แน่น โดยไม่เลื่อนหลุด มิฉะนั้นโลหะเหลวอาจจะหยดย้อยลงข้าง ล่างได้ในขณะที่มันถูกเหวี่ยงพาหมุนเลยครึ่งวงกลมส่วนบนขึ้นไป เนื่องจากโลหะเหลวอาจจะเลื่อนหลุด(Slip) ออกจากผนังโพรงแบบก่อนที่จะแข็งตัวโดยปกตินั้นจะต้องใช้การเหวี่ยงหนีศูนย์ กลางนี้มีค่าไม่ต่ำกว่า 1G จึงจะทำให้โลหะเหลวถูกแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางพาหมุนไปพร้อม ๆ กับผนังโพรงแบบได้แต่จากการทดลองค่าที่ให้ผลดีที่สุดจะจำกัดค่าของการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมีค่าต่ำสุดอยู่ระหว่าง 3-4.5 G ซึ่งอาจจะเป็นแรงที่มากมายเกินไปสำหรับการปฏิบัติงานโดยในการทำการทด ลองจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า G ในการหล่อเหวี่ยง เนื่องจากเครื่องหล่อเหวี่ยง ไม่สามารถปรับตั้งค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ได้

การควบคุมคุณภาพของชิ้นงานหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนั้นมีองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานเช่น ความเร็วในการหมุนโพรงแบบ อุณหภูมิเทหล่อ อัตราการเทและอุณหภูมิของโพรงโลหะ

- ความเร็วในการหมุน การเลือกความเร็วในการหมุนโพรงแบบนั้นเป็นเรื่องสำคัญที่สุดของกระบวนการ ในขบวนการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแท้จริงนั้น รูภายในของชิ้นงานจะถูกรั้งเอาไว้ด้วยแรงดึงดูดของโลก แต่แรงเหวี่ยงจะช่วยให้ชิ้นงานหลุดพ้นจากการฉีกร้าวตามแนวความยาวเนื่องจากแรงดึงดูดอย่างมากมายตามแนววางแหวนที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดของโลก สำหรับในขบวนการหล่อกึ่งเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและขบวนการหล่อความดันเหวี่ยงนั้น จะต้องพิจารณาตามค่าความดันในการป้อนเติม ความเร็วในการหมุนโพรงแบบจะมีอิทธิพลเหนือเม็ดโครงสร้างของโลหะงาน ถ้าความเร็วในการหมุนโพรงแบบเพิ่มขึ้น ก็ยิ่งจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีผลึกแข็งเม็ดเล็กละเอียดยิ่งขึ้นตามไปด้วยถึงแม้นว่าโพรงแบบที่หมุนเร็ว ๆ นั้น จะทำให้โลหะเหลวเกิดการอลวนมากขึ้นก็ตามแต่ก็ยังจะดีกว่าการหมุนรอบต่ำ ๆ ทั้งนี้การหมุนรอบจัดจะทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการฉีกร้าวซึ่งย่อมจะให้คุณประโยชน์มีค่ามากกว่า

- อุณหภูมิเทจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับรูปแบบการแข็งตัวของโลหะ การเทหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโลหะอุณหภูมิต่ำย่อมจะทำให้ได้ผลึกเม็ดเล็กละเอียด เป็นชนิดเม็ดหลายเหลี่ยมมุมเท่า (Equiaxed) ในขณะที่ใช้อุณหภูมิเทสูงก็จะทำให้ได้เม็ดโครงสร้างเป็นผลึกรูปแท่ง (Columnar) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะต้องใช้อุณหภูมิเทสูงพอที่จะให้ความมั่นใจได้ว่า โลหะเหลวจะสามารถไหลแผ่กระจายโดยไม่เกิดความบกพร่องเรื่องผิวย่น เหตุนี้จึงทำให้ไม่สามารถที่หลีกเลี่ยงต่อการก่อรูปผลึกแข็งหยาบ และยังเสี่ยงต่อการฉีกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิละลายสูงยิ่งยวดมากเกินไป

- อัตราการเทมีหลักการง่ายๆอยู่ว่าจะต้องเทโลหะให้เสร็จสิ้นก่อนที่มันจะเกิดการแข็งตัวพอกนูนหรือไม่ไหลตัวแผ่กระจาย ถึงแม้ในบางครั้งจะต้องใช้อัตราการเทสูงจนเกิดการอลวนและฟุ้งกระเซ็นก็ตาม ในทางปฏิบัติควรจะใช้อัตราการเทที่ต่ำเนื่องจากจะทำให้เกิดประโยชน์ในการสร้างทิศทางการแข็งตัวของชิ้นงานกับผิวนอกของชิ้นงาน (ติดผนังโพรงแบบ) ซึ่งจะช่วยลดการเสี่ยงต่อเรื่องการฉีกร้าวขณะร้อนของชิ้นงานหล่อได้

- อุณหภูมิของโพรงแบบการหล่อเหวี่ยงด้วยโพรงแบบโลหะถาวร ย่อมจะทำให้ได้เม็ดผลึกของโลหะเล็กละเอียดมากกว่าการเทหล่อในโพรงแบบทราย ซึ่งอุณหภูมิของโพรงแบบจะมีอิทธิพลเป็นอันดับรองในเรื่องที่กล่าวนี้ อุณหภูมิของโพรงแบบจะเกี่ยวข้องโดยตรงในเรื่องการขยายตัวของโลหะเสียมากกว่า การอุ่นโพรงแบบโลหะให้ร้อนไว้ก่อนการหล่อเหวี่ยงนั้นจะช่วยไล่ความชื้นออกให้หมดและช่วยลดการเสี่ยงต่อการฉีกร้าวขณะร้อนของชิ้นงานในขบวนการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแท้จริง

2.4.11 การทำความสะอาดชิ้นงานหล่อ

หลังจากทำการหล่อชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ผู้ปฏิบัติจะนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องหล่อ และตั้งรอให้โลหะแข็งตัวและเย็นตัวลง โดยมีข้อแนะนำว่าถ้าเป็นการหล่อทองคำสีขาว หรือทองคำขาว ควรตั้งแม่พิมพ์ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที และถ้าเป็นทองคำสีเหลือง หรือโลหะเงินควรตั้งทิ้งไว้จนโลหะที่มีสีแดงจากการหลอมกลายเป็นสีดำ จากนั้นจึงนำแม่พิมพ์ไปฉีดด้วยน้ำเพื่อทำลายปูนหล่อแบบออกจากกระบอกหล่อ ปูนหล่อแบจะแตกออกในทันทีที่ฉีดน้ำ เนื่องจากความร้อนและคุณสมบัติของปูนหล่อแบบ ในปัจจุบันผู้ผลิตมักใช้น้ำที่มีความดันสูงในการฉีดทำลายปูนหล่อซึ่งสามารถกำจัดปูนหล่อที่ติดอยู่ในชิ้นงานได้ไม่ยากนัก ข้อควรระวังประการหนึ่งคือ ควรมีสถานที่สำหรับฉีดน้ำทำลายปูนหล่อ

โดยเฉพาะ โดยมีตะแกรงสำหรับเก็บกักเศษปูนไว้มิให้ไหลไปอุดทางเดินของการระบายน้ำ หลังจากการฉีดน้ำทำลายปูนหล่อแล้วจะได้ชิ้นงานที่ลักษณะเหมือนต้น wax แต่เป็นต้นขี้ผึ้งที่ทำด้วยโลหะที่หล่อเข้าไปในแม่พิมพ์ ชิ้นงานที่ได้จะมีสีน้ำตาลดำเนื่องจากความร้อนในการหล่อโลหะ ผู้ผลิตจะนำชิ้นงานนี้ไปแช่ในสารละลายจำพวกกรดเพื่อทำความสะอาดผิวของชิ้นงาน กรดและเครื่องมือที่ใช้ในการทำความสะอาดชิ้นงานมีดังนี้

- การใช้กรดทำความสะอาดผิวชิ้นงาน

1. กรดกำมะถัน เจือจาง คือใช้กรดกำมะถัน 2 ส่วน ผสมกับน้ำ 10 ส่วน โดยอาจผสมโซเดี่ยมไดโครเมตลงไปเล็กน้อย การจุ่มชิ้นงานในกรดที่ร้อนจะให้ผลดีกว่าจุ่มล้างในอุณหภูมิปกติ และเมื่อชิ้นงานผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดแล้วจะต้องจุ่มล้างในน้ำสะอาดทันที
ข้อควรจำ ในการผสมกรดกับน้ำ จะต้องเทกรดในน้ำเสมอ นอกจากนี้ควรหาวิธีป้องกันการสูดดมไอกรดที่เกิดขึ้นในขณะจุ่มล้าง

2. การใช้กรดเกลือ (Muriatic Acid)เป็นกรดที่มีปฏิกิริยารุนแรงกว่าชนิดแรก มีอัตราส่วนผสมของกรดกับน้ำ 1:1 และสามารถใช้งานได้ดีในสภาพที่ให้ความร้อนเช่นเดียวกับชนิดแรกและมีข้อควรระวังเช่นเดียวกัน

3. กรดกัดแก้ว (ไฮโรฟูออริค แอซิค) การใช้กรดชนิดนี้มีอันตรายอย่างยิ่ง ผู้ใช้ต้องระมัดระวังอย่างมากในการใช้เนื่องจากเป็นกรดที่มีปฏิกิริยารุนแรงในการกัดผิวโลหะ ส่วนมากมักใช้กับงานทองคำและทองคำขาว

- การใช้เครื่องทำความสะอาดด้วยไอน้ำ

เป็นเครื่องที่มีราคาแพงและมีคุณภาพในการทำความสะอาดสูงทำงานด้วยการผลิตไอน้ำออกมาฉีดล้างชิ้นงานด้วยความดันสูง แต่มีข้อเสียคือ สามารถทำความสะอาดชิ้นงานได้ครั้งละหนึ่งชิ้นเท่านั้น

- การใช้เครื่องอัลตราโซนิกทำความสะอาดชิ้นงาน

เป็นเครื่องที่ใช้คลื่นความถี่ของเสียงทำความสะอาดชิ้นงาน ร่วมกับการใช้สารเคมีบางประเภท สามารถทำความสะอาดในซอกมุมเล็กๆ ของชิ้นงานได้ดี ปัจจุบันผู้ผลิตจำนวนมากนิยมใช้เครื่องมือชนิดนี้ทำความสะอาดชิ้นงาน

2.4.12 การตรวจสอบงานหล่อ

มาตรฐานคุณภาพการตรวจสอบด้วยตาสาโรชและทวีทรัพย์ (2535 : 123) ได้สรุปมาตรฐานคุณภาพเมื่อดูด้วยตาไว้ดังนี้

1. ผิว

เนื่องจากผิวงานหล่อวัดแบบเดียวกับงานกลึงได้ยากจึงเปรียบเทียบผิวงานหล่อมาตรฐาน SIS-1ของ Alloy Casting Institute Surface Indicator Scale ซึ่งเปรียบเทียบด้วยตารางงานหล่อประณีตจะมีผิวเปรียบเทียบได้กับความหยาบประมาณ 150 RMS ความหยาบของผิวรวมเนื้อส่วนเกินส่วนขาดหากถูกจำกัดไปได้หมดในขบวนการต่อเนื่องเช่นการกลึงไสให้ถือว่าเป็นคุณภาพผิวที่ยอมรับกันได้

2. โลหะส่วนเกิน

โดยธรรมชาติของงานหล่อมักจะมีส่วนเกินจากการหล่ออันเกิดจากธรรมชาติของเนื้อโลหะเองหรือลักษณะรูปร่างของชิ้นงานหากไม่มีการตกลงไว้ก่อนพิกัดสูง 0.381 ถึง 0.762 mmบนพื้นที่3.175 mm×6.35mm และมีได้ไม่เกิน 1 จุดใน 645.16 mm2 ตำหนิเล็กๆอาจเกิดได้ทั่วยกเว้นบนพื้นที่กำหนดเฉพาะสำหรับงาน

3. หลุม

ผิวงานหล่ออาจเกิดหลุมกระจายไม่แน่นอนสำหรับงานหล่อประณีตจะมีหลุมลึกไม่เกิน0.762 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 0.762 –1.524 mm ในจำนวนไม่เกิน 1 จุดต่อ 645.16 mm2 หากไม่

กำหนดโดยผู้ซื้อหลุมที่เล็กกว่าขนาดที่กล่าวข้างต้นอาจเกิดขึ้นได้ทั่วไปหากไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน

4. นอนฟิลล์ (Nonfill)

ในงานหล่อบางครั้งมุมต่างๆที่หล่อได้อาจไม่มีคมเหมือนกับที่กำหนดไว้เป็นที่ยอมรับกันในอุตสาหกรรมหล่อโลหะประณีตว่ายอมให้เกิดมุมโค้งบนสันต่างๆมีรัศมีโค้งไม่เกิน0.381 mm ยกเว้นผู้ซื้อหรือโรงหล่อมีข้อกำหนดเป็นอย่างอื่น

5. ความสะอาดของผิว

โดยปกติงานหล่อจะได้รับการทำความสะอาดผิวด้วยวิธีพ่นด้วยเม็ดเหล็กหรือเม็ดทรายเพื่อขจัดคราบที่เกิดจากการหล่อหรือสนิมเหล็กอันเกิดจากการอบด้วยความร้อนหากผู้ซื้อต้องการขัดแต่งด้วยวิธีอื่นๆต้องตกลงกับโรงหล่อเป็นกรณีๆไป

ชิ้นงานไม่ควรมีตำหนิที่เป็นอันตรายต่อการใช้งานเช่นรอยร้าวโพรงหดตัวเห็นด้วยตาเปล่ายกเว้นผู้ซื้อจะมีข้อกำหนดเป็นอย่างอื่น (หริสและเคนยิ 2533: 181)

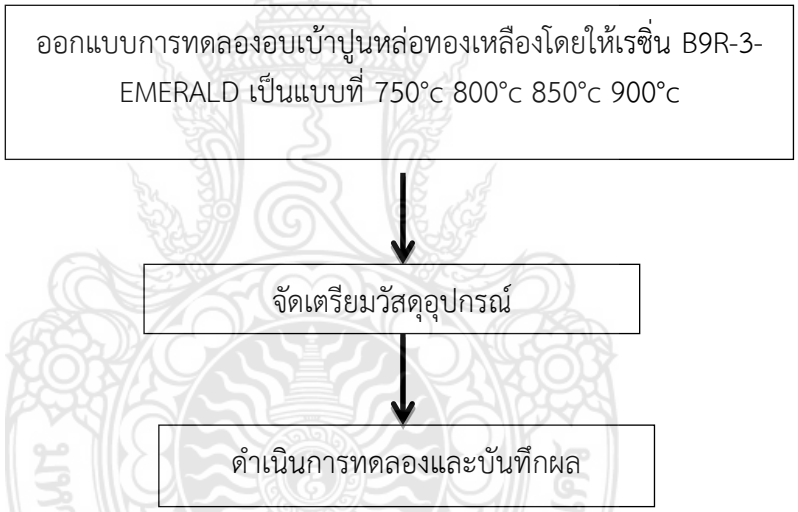
บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

3.1 บทนำ

ในส่วนของบทที่3 ได้กล่าวถึงการเตรียมการ เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพ และเหมาะสม โดยนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ในการทำงาน เริ่มจากค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง วางแผนการดำเนินงาน และออกแบบการทดลอง

3.2 แผนการดำเนินการ

แผนการดำเนินการโดยมีรายละเอียดดังนี้

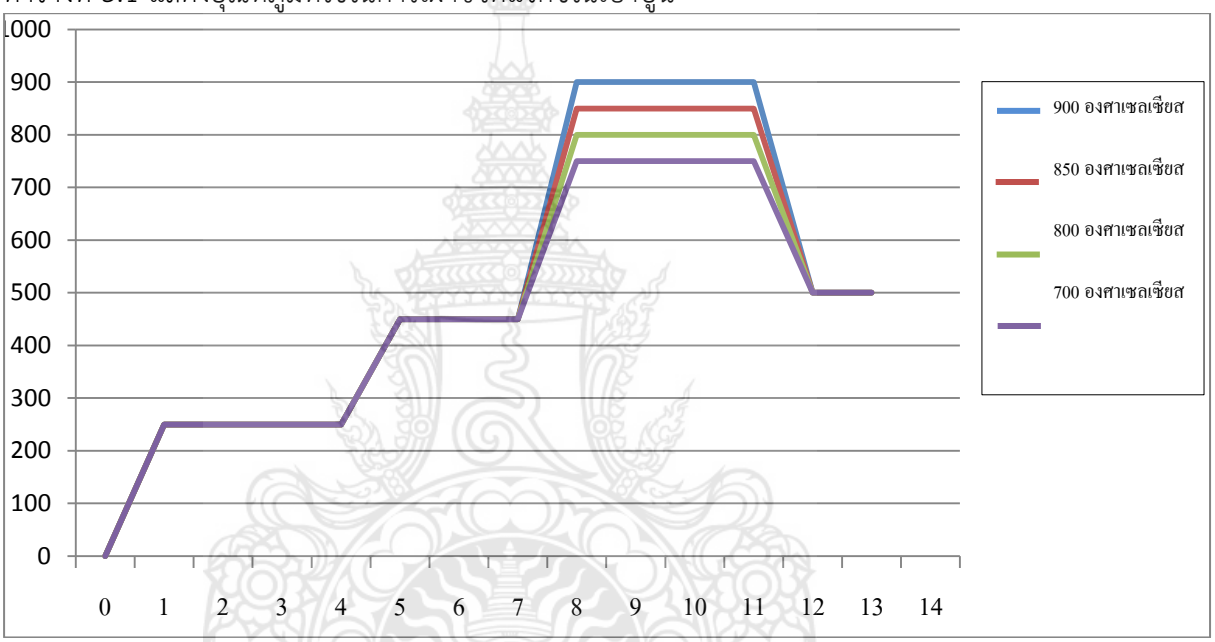


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการ

3.3 ออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองหาอุณหภูมิอบเบ้าปูนเพื่อหล่อทองเหลืองโดยใช้เรซิ่น B9R-3-EMERALD เป็นต้นแบบในการหล่อชิ้นงาน เนื่องจากปกติใช้อุณหภูมิอบเบ้าตั้งแต่เริ่มจนถึงก่อนหล่อใช้เวลา 14-16ชั่วโมง เนื่องจากทางบริษัท CAD Maker co.ltd ได้ให้ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นกรณีศึกษากระบวนการอบเบ้าปูนโดยใช้ต้นแบบเรซิ่น B9R-3-EMERALD นั้นมีจุดหลอมเหลวที่ 250°C เพื่อลดระยะเวลาจึงได้ตั้งสมมุติฐานโดย ใช้เวลาในการขจัดแว็กซ์ 3 ชั่วโมงได้ทำการกำหนดอุณหภูมิดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขจัดแว็กซ์ในเบ้าปูน



3.4 การจัดเตรียมอุปกรณ์

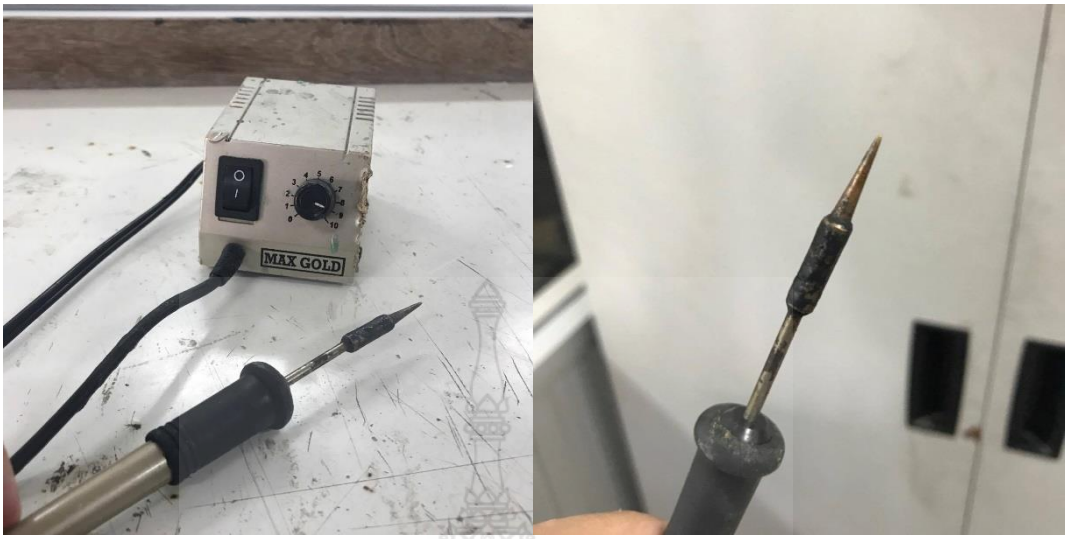
การเตรียมการนั้นสิ่งที่สำคัญคือ การเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ จะเป็นส่วนช่วยให้เวลาการดำเนินการมีความคล่องตัว และลดปัญหาความล่าช้า ซึ่งถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากในการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่จะนำมาทดลองประกอบไปด้วย

3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งดิจิตอล
2. หัวแร้งพร้อมหม้อแปลงประกระแสไฟฟ้า
3. ฐานยาง
4. เบ้าโลหะ
5. เครื่องผสมปูน
6. เครื่องดูดสุญญากาศ
7. เตาอบ
8. เครื่องหล่อเหวี่ยง
9. เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง

ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน ขนาดพิกัดสูงสุด600 กรัม อ่านละเอียด 0.01หาซื้อได้ตามร้านค้าชั้นนำทั่วประเทศ

รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งดิจิตอล



รูปที่ 3.3 หัวแร้งพร้อมหม้อแปลงปรับแรงดันกระแสไฟฟ้า

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการเชื่อมชิ้นงานโดยใช้ความร้อน โดยการหลอมชิ้นงานที่เป็นแว็กซ์และทางเดินน้ำที่ทำจากเทียนให้เป็นชิ้นเดียวกัน มาพร้อมตัวประกระแสไฟฟ้า เพื่อไม่ให้ตัวเทียนไหม้จากอุณหภูมิที่สูงเกินไป

รูปที่ 3.4 ฐานยาง

ฐานยางใช้สำหรับยึดทางเดินน้ำโลหะหลักให้อยู่กับที่ พร้อมเป็นฐานรองในการประกอบกับกระบอกเหล็กเพื่อใช้เป็นแบบในการเทปูน

รูปที่ 3.5 เบ้าโลหะ
ใช้เป็นแบบสำหรับการเทปูน และอบเบ้าปูนเพื่อใช้ในการหล่อ

รูปที่ 3.6 เครื่องผสมปูน

เป็นเครื่องที่ทำงานโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าพร้อมด้วยมู่เล่ย์ทดรอบและใช้สายพานในการส่งกำลังไปที่เพลาหมุนตะกร้อผสมปูน เพื่อให้น้ำและปูนเข้ากัน

รูปที่ 3.7 เครื่องดูดสุญญากาศ

ทำงานโดยทำให้สภาวะภายในถังเป็นสุญญากาศ เพื่อที่จะนำปูนที่ผสม หรือ เทลงแบบมาดึงอากาศในเนื้อปูนออกทำให้เนื้อปูนและชิ้นงานมีช่องว่างเกิดขึ้น

รูปที่ 3.8 เตาอบ

เป็นการละลายตัวเรซิ่น B9R-3-EMERALD ออกจากปูนและปรับอุณหภูมิของเบ้าปูนให้ได้ตามอุณหภูมิที่กำหนดสำหรับการทดลองที่ได้ตั้งไว้

รูปที่ 3.9 เครื่องหล่อเหวี่ยง

เป็นเครื่องหล่อที่ใช้ระบบการเหวี่ยงหนีศูนย์ เพื่อเร่งให้น้ำโลหะวิ่งเข้าสู่โพรงภายในก่อนที่โลหะจะแข็งตัว

รูปที่ 3.10 เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง

เป็นเครื่องที่ใช้ล้างปูนที่ติดตามชิ้นงานด้วยแรงดันน้ำที่แรงสามารถทำให้ปูนที่ติดตามร่องหลุดออกมาได้อย่างง่ายดาย

3.4.2 วัตถุดิบ

1. ทองเหลือง 12.5%
2. ต้นแบบเรซิ่น B9R-3-EMERALD
3. ปูนยี่ห้อ Kerr cast 2000

รูปที่ 3.11 ทองเหลือง

ทองเหลืองที่เหมาะสำหรับหล่อเครื่องประดับ มีอัตตราส่วนผสมอยู่ที่ ทองแดง 87.5% และสังกะสี 12.5%

รูปที่ 3.12 ต้นแบบเรซิ่น B9R-3-EMERALD
แว็กซ์ที่ได้จากเครื่อง RP เป็นน้ำยาที่มีส่วนผสมของแว็กซ์ 60%

รูปที่ 3.13 ปูนหล่อ

ปูนหล่อ KerrCast เป็นปูนประเภทปูนยิปซัมบอนด์เหมาะสำหรับงานหล่อโลหะ เงิน หรือทองเหลือง มีส่วนผสมคือวัสดุทนไฟซึ่งประกอบด้วยซิลิกา คริสโตบาลไลต์ (Critoballite) วัสดุที่มีสมบัติเป็นตัวยึด (binder) คือ ผงยิปซัม ที่มีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (Calcium sulfate hemihydrate) และมีแร่ควอตซ์ (Quartz14808-60-7 0) เป็นส่วนประกอบเพิ่มเติม

3.5 ดำเนินการทดลอง

กำหนดจำนวนการทดลองในการออกแบบการทดลองอุณหภูมิการอบเบ้าปูนแบ่งเป็น 4 ระดับ ที่ 750°C 800°C 850°C และ 900°C ซึ่งในแต่ละช่วงอุณหภูมิ จะทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง ครั้งละ5 เบ้า จำนวน 5ชิ้นต่อเบ้า รวมจะได้ 25 ชิ้นต่อช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง

รูปที่ 3.14 ชิ้นงานจากเรซิ่น B9R-3-EMERALD
จัดหาชิ้นงานต้นแบบเพื่อทำการทดลอง นำมาเชื่อมทางเดินนำโลหะเพื่อเข้าสู้ขั้นต่อไป

รูปที่ 3.15 ชิ้นงานที่ติดทางเดินน้ำโลหะและต้นเทียน

นำชิ้นงานที่แว็กซ์ที่ติดทางเดินน้ำโลหะแล้วเชื่อมติดเข้ากับต้นเทียนและฐานยาง โดยใช้ความร้อนจากหัวแร้งให้WAXละลายและเชื่อมเข้าด้วยกัน

รูปที่ 3.16 เทปูนลงในเบ้าเหล็ก

นำต้นแบบที่ได้ทำการประกอบรวมกับฐานยางแล้วทำการผสมปูนในอัตราส่วนที่เหมาะสม และทำการดูดอากาศออกจากปูนโดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ จากนั้นเทลงเบ้าโลหะที่เตรียมไว้

รูปที่ 3.17 ตั้งทิ้งไว้ให้ปูนแข็งตัว

นำกระบอกปูนที่ทำการพักปูนจนได้ที่แล้วนั้นเข้าเตาอบตามช่วงอุณหภูมิที่กำหนดเพื่อทำการหล่อเป็นชิ้นงานในลำดับต่อไป

รูปที่ 3.18 หลอมทองเหลืองในเครื่องหล่อเหวี่ยง

หลอมทองเหลืองตามน้ำหนักของการคำนวณแว็กซ์ที่ได้เตรียมมาแล้วเพื่อทำการหล่อเหวี่ยงใส่เบ้าปูนที่อบไว้แล้วดังขั้นตอนก่อนหน้า

รูปที่ 3.19 ล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง

ทำความสะอาดชิ้นงานที่ได้ทำการหล่อออกมาแล้วโดยการใช้เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง เพื่อทำความสะอาดในซอกที่แปลงไม่สามารถขัดออกได้

3.6 บันทึกข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ 3.2 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการอบเบ้าที่อุณหภูมิที่ 750 องศา

ชิ้นงาน		น้ำหนักWAX	น้ำหนักโลหะ20%	น้ำหนักปูน	น้ำ (g)
เบ้าที่ 1		2.2	22.44	500 g	200 g
เบ้าที่ 2		2	20.4	500 g	200 g
เบ้าที่ 3		2.6	26.52.	500 g	200 g
เบ้าที่ 4		2	20.4	500 g	200 g
เบ้าที่ 5		2.7	27.54	500 g	200 g

ตารางที่ 3.3 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการอบเบ้าที่อุณหภูมิที่ 800 องศา

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าที่ได้จากการอบเบ้าปูนหล่อที่อุณหภูมิ 800 องศา					
ชิ้นงาน		น้ำหนักWAX	น้ำหนักโลหะ20%	น้ำหนักปูน	น้ำ (g)
เบ้าที่ 1		2.5	25.5	500 g	200 g
เบ้าที่ 2		2.3	23.46	500 g	200 g
เบ้าที่ 3		2.1	21.42	500 g	200 g
เบ้าที่ 4		2.2	22.44	500 g	200 g
เบ้าที่ 5		2.3	23.46	500 g	200 g

ตารางที่ 3.4 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการอบเบ้าที่อุณหภูมิที่ 850 องศา

ชิ้นงาน		น้ำหนักWAX	น้ำหนักโลหะ20%	น้ำหนักปูน	น้ำ (g)
เบ้าที่ 1		2.1	21.42	500 g	200 g
เบ้าที่ 2		2.2	22.44	500 g	200 g
เบ้าที่ 3		2.6	26.52	500 g	200g
เบ้าที่ 4		2	20.4	500 g	200 g
เบ้าที่ 5		3	30.6	500 g	200 g

ตารางที่ 3.5 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการอบเบ้าที่อุณหภูมิที่ 900 องศา

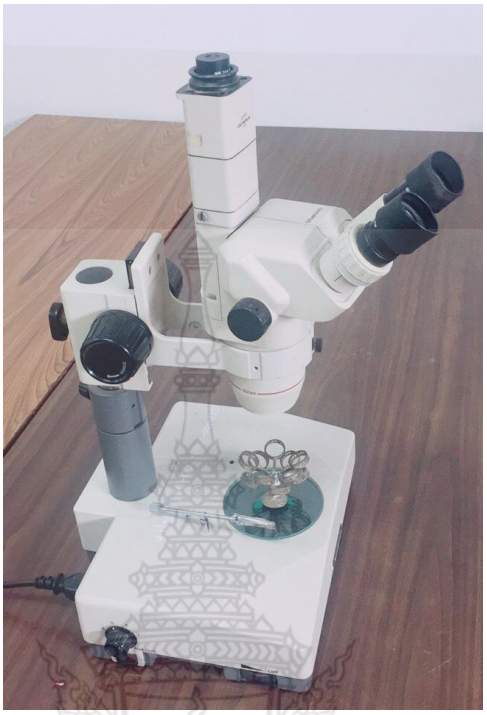
ชิ้นงาน		น้ำหนักWAX	น้ำหนักโลหะ20%	น้ำหนักปูน	น้ำ (g)
เบ้าที่ 1		2.3	23.46	500 g	200 g
เบ้าที่ 2		2.1	21.42	500 g	200 g
เบ้าที่ 3		2.4	24.48	500g	200 g
เบ้าที่ 4		2	20.4	500 g	200 g
เบ้าที่ 5		2.6	26.51	500 g	200 g

3.7 เกณฑ์การประเมินชิ้นงาน

ตรวจชิ้นงานโดยพิจารณาจาก รูปทรงโดยรวมของชิ้นงานมีชิ้นส่วนสมบูรณ์ตามต้นแบบหรือไม่ ผิวของชิ้นงานที่หล่อมาแล้วนั้นสามารถที่จะนำเข้ากระบวนการต่อไปได้หรือไม่ โดยแบ่งเกณฑ์การตัดสินออกเป็นชิ้นงานดี และชิ้นงานเสียโดยชิ้นงานเสียมีเกณฑ์ดังนี้คือ ชิ้นงานไม่เต็ม,ชิ้นงานมีตามดและชิ้นงานมีครีบโลหะ นอกเหนือจากเกณฑ์ให้ถือเป็นงานดีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

เกณฑ์การประเมิน

1. ชิ้นงานไม่เต็ม
2. ชิ้นงานมีตามด
3. ชิ้นงานมีครีบโลหะ



รูปที่ 3.20 ลักษณะการสุ่มตรวจสอบคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.8 สรุป

เนื้อหาในบทนี้จะเน้นเรื่องของวิธีการทดลองและผลการดำเนินการทดลอง โดยทำการทดลองการใช้ เรซิ่น B9R-3-EMERALD เป็นต้นแบบในการหล่อเพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเบ้าปูนหล่อทองเหลืองโดยแบ่งช่วงอุณหภูมิในการทดลองออกเป็น 4 ช่วง โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองในช่วงอุณหภูมิอบเบ้าปูนที่ 750°C และ 900°C พบว่าชิ้นงานมีการสูญเสียมากที่สุดโดยชิ้นงานส่วนใหญ่นั้นจะมีตามด และชิ้นงานไม่สมบูรณ์ ในช่วงอุณหภูมิที่ 750°C และ 800°C พบว่าชิ้นงานมีความสมบูรณ์มากที่สุดโดยมีปัญหาที่ชิ้นงานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะที่ค่อนข้างเล็ก จึงทำให้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นมีช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากทองเหลืองที่ส่วนใหญ่อุณหภูมิหล่อจะอยู่ที่ 500°C

บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

4.1 บทนำ

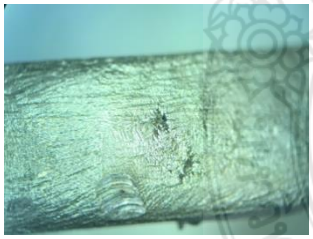
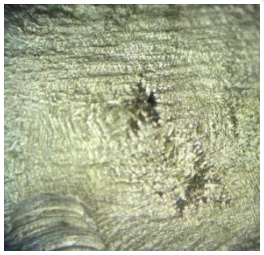
จากตารางบันทึกข้อมูลการทดลองนำมาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบชิ้นงานในอุณหภูมิอบเบ้าปูนหล่อที่ต่างกัน เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเบ้าปูนสำหรับแว็กซ์ เรซิ่น B9R-3-EMERALD โดยใช้ทองเหลืองเป็นโลหะทดสอบ

4.2 ผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 4.1แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเบ้าปูนที่ 750°C

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
750°	เบ้าที่ 1	5	2	3
	เบ้าที่ 2	5	4	1
	เบ้าที่ 3	5	2	3
	เบ้าที่ 4	5	3	2
	เบ้าที่ 5	5	2	3
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			48%	52%

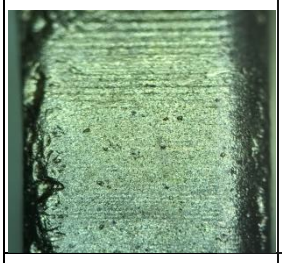
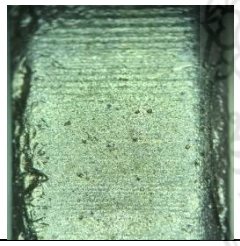
ตารางที่ 4.2 งานเสียที่อุณหภูมิ 750°C

	- **สาเหตุ** งานชิ้นนี้เกิดจากตามดที่ผิวงานมากมีรูพรุนที่บริเวณผิวงาน สาเหตุเกิดจากความร้อนของน้ำโลหะขณะเทลงแบบสัมผัสกับความชื้นของแบบหล่อทำให้เกิดก๊าซขึ้น อุณหภูมิของน้ำโลหะสูงเกิน หรือกำจัดก๊าซในน้ำโลหะไม่หมด รูระบายไม่เหมาะสม
	- **สาเหตุ** งานชิ้นนี้เกิดจากการ อุณหภูมิในเบ้าปูนต่ำเกิดไปจึงทำให้น้ำโลหะเข้าไปไม่เต็มเกิดรอยแหว่งที่ชิ้นงาน หรือเกิดจากทางเดินน้ำโลหะไม่ดี

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเบ้าปูนที่ 800°C

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
800°	เบ้าที่ 1	5	4	1
	เบ้าที่ 2	5	3	2
	เบ้าที่ 3	5	4	1
	เบ้าที่ 4	5	4	1
	เบ้าที่ 5	5	4	1
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			76%	24%

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างงานเสียที่อุณหภูมิ 800°C

	**- สาเหตุ** งานชิ้นนี้เกิดจากการ อุณหภูมิในเบ้าปูนต่ำเกิดไปจึงทำให้น้ำโลหะเข้าไปไม่เต็ม เกิดรอยแหว่งที่ชิ้นงาน หรือเกิดจากทางเดินน้ำโลหะไม่ดี
	**- สาเหตุ** งานชิ้นนี้เกิดจากตามดที่ผิวงานมากมีรูพรุนที่บริเวณผิวงาน สาเหตุเกิดจากความร้อนของน้ำโลหะขณะเทลงแบบสัมผัสกับความชื้นของแบบหล่อทำให้เกิดก๊าซขึ้น อุณหภูมิของน้ำโลหะสูงเกิน หรือกำจัดก๊าซในน้ำโลหะไม่หมด รูระบายไม่เหมาะสม

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเบ้าปูนที่ 850°C

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
850°	เบ้าที่ 1	5	5	-
	เบ้าที่ 2	5	5	-
	เบ้าที่ 3	5	4	1
	เบ้าที่ 4	5	5	-
	เบ้าที่ 5	5	5	-
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			96%	4%

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างงานเสียที่อุณหภูมิ 850°C

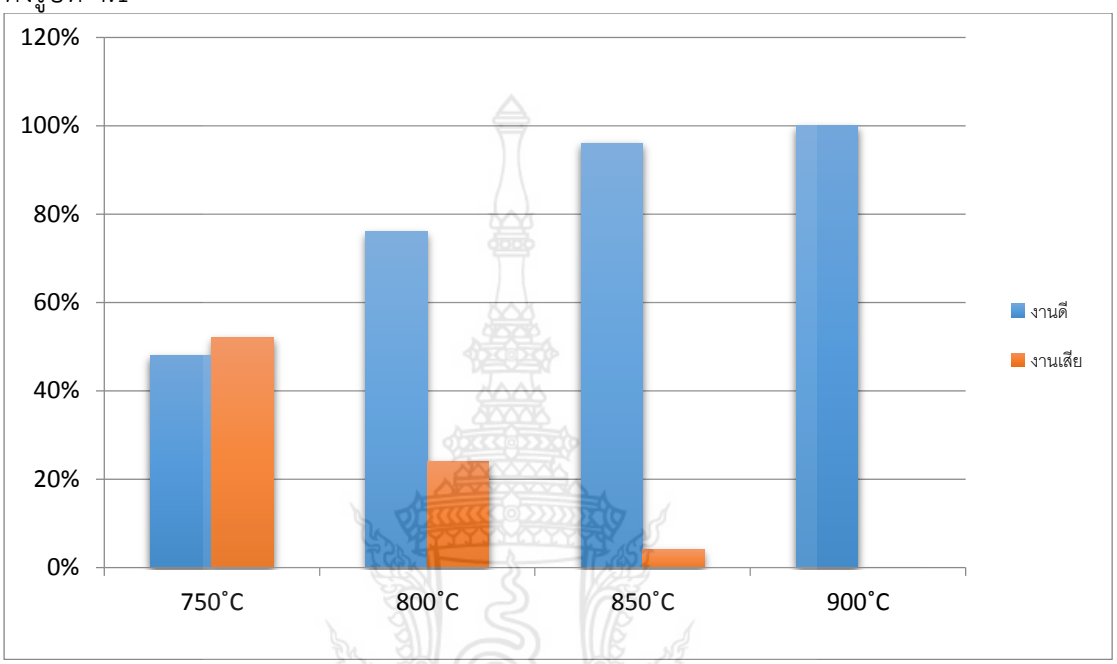
	- **สาเหตุ** งานชิ้นนี้เกิดจากตามดที่ผิวงานมากมีรูพรุนที่บริเวณผิวงาน สาเหตุเกิดจากความร้อนของน้ำโลหะขณะเทลงแบบสัมผัสกับความชื้นของแบบหล่อทำให้เกิดก๊าซขึ้น อุณหภูมิของน้ำโลหะสูงเกิน หรือกำจัดก๊าซในน้ำโลหะไม่หมด รูระบายไม่เหมาะสม
	- **สาเหตุ** งานชิ้นนี้เกิดจากการ อุณหภูมิในเบ้าปูนต่ำเกิดไปจึงทำให้น้ำโลหะเข้าไปไม่เต็ม เกิดรอยแหว่งที่ชิ้นงาน หรือเกิดจากทางเดินน้ำโลหะไม่ดี

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเบ้าปูนที่ 900°C

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
900°	เบ้าที่ 1	5	5	0
	เบ้าที่ 2	5	5	0
	เบ้าที่ 3	5	5	0
	เบ้าที่ 4	5	5	0
	เบ้าที่ 5	5	5	0
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			100%	0%

ผลการทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยจากชิ้นงานที่ทำการทดสอบ

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่ใช้อบเบ้าปูนที่มีจากเรซิ่น B9R-3-EMERALDเป็นต้นแบบนั้น มีผลทำให้ชิ้นงานที่ออกมามีความสมบูรณ์มากหรือน้อย โดยใช้เกณฑ์การประเมินลักษณะของชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสีย

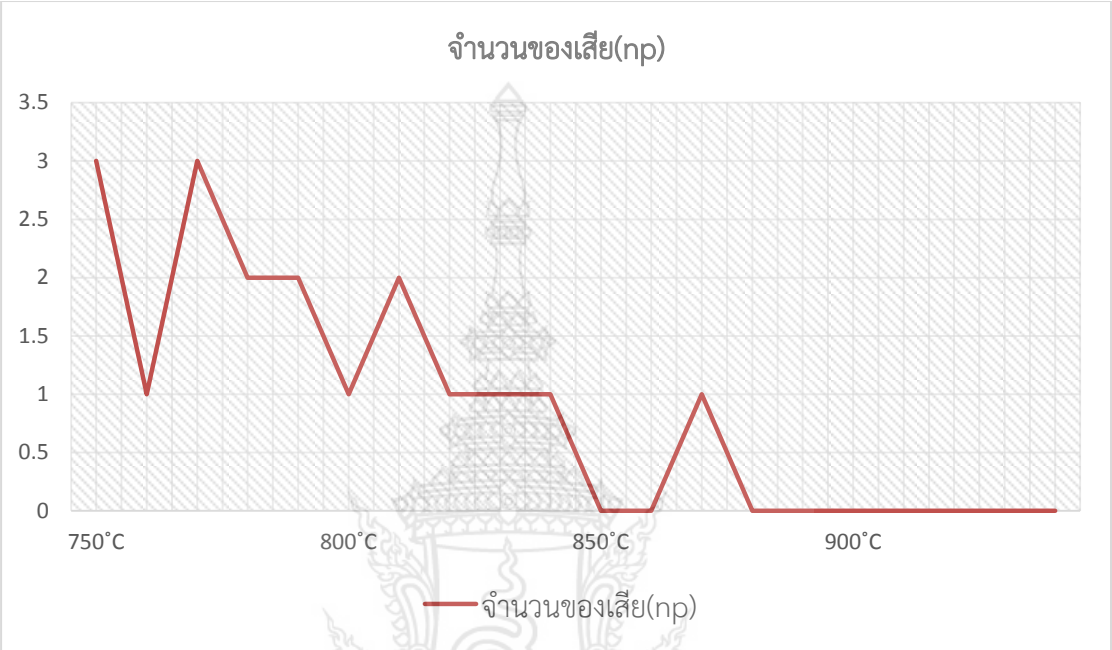
อุณหภูมิ 750˚C	ชิ้นงานดี 48%	ชิ้นงานเสีย 52%
อุณหภูมิ 800˚C	ชิ้นงานดี 76%	ชิ้นงานเสีย 24%
อุณหภูมิ 850˚C	ชิ้นงานดี 96%	ชิ้นงานเสีย 4%
อุณหภูมิ 900˚C	ชิ้นงานดี 100%	ชิ้นงานเสีย0%

ตารางที่ 4.8 แสดงการจำนวนชิ้นงานเปรียบเทียบชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสีย

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง(n)	จำนวนของเสีย (np)	สัดส่วนของเสีย(p)
750°C	5	3	0.6
	5	1	0.2
	5	3	0.6
	5	2	0.4
	5	2	0.4
800°C	5	1	0.2
	5	2	0.4
	5	1	0.2
	5	1	0.2
	5	1	0.2
850°C	5	-	0
	5	-	0
	5	1	0.2
	5	-	0
	5	-	0
900°C	5	-	0
	5	-	0
	5	-	0
	5	-	0
	5	-	0
Total	$\sum n = 100$	$\sum np = 18$	$\sum p = 3.6$

จากการวิเคราะห์ชิ้นงานทั้งหมด 100 ชิ้น มีชิ้นงานที่สมบูรณ์ 82 ชิ้น ชิ้นงานเสีย 18 ชิ้น

ตารางที่ 4.9 แผนภูมิควบคุมของเสียของการทดลอง



- จำนวนตัวอย่าง 20 ชุด (= 20) ชุดละ 5 ตัว (n=5)
- หาแกนกลาง (CL) จากสูตร

$$\overline{p} = \frac{\sum pi}{k}$$

$$\overline{p} = \frac{0.6+0.4+\cdots+0.2}{20}$$

$$\overline{p} = \frac{8.6}{20}$$

$$\overline{p} = 0.43$$

- หาขีดจำกัดการควบคุม

$$UCL = \overline{p} + 3\sqrt{\frac{\overline{p(1-\overline{p})}}{n}}$$

$$= 0.43 + 3\sqrt{\frac{0.43(1-0.43)}{5}}$$

$$= 1.09$$

$$LCL = 43 + 3\sqrt{\frac{\overline{p(1-\overline{p})}}{n}}$$

$$= 0.43 + 3\sqrt{\frac{0.43(1-0.43)}{5}}$$

= 0 (เนื่องจากติดลบ)

4.3 สรุปผลการทดลอง

ผลของการทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยจากการตรวจสอบคุณภาพผิวและผลเชิงคุณภาพเพื่อหาค่าของเสียจากการตรวจสอบคุณภาพผิว ให้ผลจากการทดลองมีความสัมพันธ์กันคือ จากการทดลองการอบเบ้าปูนหล่อที่อุณหภูมิ 900°C พบว่ามีชิ้นงานดี 25ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 100% ชิ้นงานเสีย 0 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 0%

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

จากการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจนถึงขั้นตอนการทำงาน และทำการทดลอง จะเห็นได้ว่าการทดลองนั้นสามารถลดระยะเวลาในการอบเบ้าปูนและลดระยะเวลาในการตกแต่งชิ้นงานจากกระบวนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ สามารถนำความรู้ทักษะความสามารถที่ได้จากการศึกษามาปฏิบัติงานได้จริง และยังช่วยลดระยะเวลาในการทำงานได้เป็นอย่างมาก

5.2 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง

5.2.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองกรณีศึกษาอุณหภูมิอบเบ้าปูนหล่อทองเหลืองด้วยต้นแบบเรซิ่น B9R-3-EMERALD ที่ได้มาจากเครื่องสร้างต้นแบบ 3 มิติ (Rapid Prototype Machine) เพื่อทดลองอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเบ้าปูนที่เหมาะสม พบว่าอุณหภูมิ 750°C ชิ้นงานดี 48% ชิ้นงานเสีย 52% พบว่าชิ้นงานที่เสียเกิดตามดที่ผิวงานมากมีรูพรุนที่บริเวณผิวงาน สาเหตุเกิดจากความร้อนของน้ำโลหะขณะเทลงแบบสัมผัสกับความชื้นของแบบหล่อทำให้เกิดก๊าซขึ้น อุณหภูมิของน้ำโลหะสูงเกิน หรือกำจัดก๊าซในน้ำโลหะไม่หมด รูระบายไม่เหมาะสม ในอุณหภูมิ 800°C มีชิ้นงานดี 76% ชิ้นงานเสีย 24% พบว่าชิ้นงานที่เสียนั้นมีตามดน้อยลงรูพรุนที่ชิ้นงานน้อยลงเช่นกันดีกว่าในอุณหภูมิ 750°C ในอุณหภูมิ 850°C ชิ้นงานดี 96% ชิ้นงานเสีย 4% พบว่าชิ้นงานเกือบจะออกมาดี แต่ยังมีตามดบ้างแต่น้อยกว่า อุณหภูมิ 750°C และ 800°C ไม่มีรูพรุนที่ชิ้นงาน และในอุณหภูมิ 900°C ชิ้นงานดี 100% ชิ้นงานเสีย 0% พบว่าชิ้นงานออกมาดีที่สุด ชิ้นงานเสียเกิดจากตามดนิดหน่อย แต่งานออกมาสมบูรณ์ที่สุดจากผลการทดสอบทำให้อุณหภูมิที่ 900°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหล่อทองเหลืองด้วยต้นแบบเรซิ่น B9R-3-EMERALD

5.2.2 สรุปตามวัตถุประสงค์

จากกรณีการศึกษาอุณหภูมิอบเบ้าปูนหล่อทองเหลืองด้วยต้นแบบเรซิ่น B9R-3-EMERALD ที่ได้มาจากเครื่องสร้างต้นแบบ 3 มิติ (Rapid Prototype Machine) นั้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ คือ สามารถหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเบ้าปูนเพื่อที่จะหล่อต้นแบบเรซิ่น B9R-3-EMERALD และลดระยะเวลาในกระบวนการอบเบ้าปูน สามารถคิดค้นกระบวนการหล่อที่ใช้ระยะเวลาที่น้อยกว่าเดิม งานปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะช่วยเป็นประโยชน์ต่อนิคมอุตสาหกรรม Jewelry ในกระบวนการผลิตเครื่องประดับได้ดียิ่งขึ้น

5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. ชิ้นงานไม่เต็มเนื่องจากลักษณะชิ้นงานและอุณหภูมิหล่อไม่สัมพันธ์กันจึงต้องเพิ่มอุณหภูมิสังเกตจากในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้นชิ้นงานมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2. รูพรุนในเนื้อโลหะและผิวงานเกิดจากก๊าซออกซิเจนภายในเนื้อโลหะถูกปล่อยออกมาในขณะที่เย็นตัว ดังนั้นควรกำจัดก๊าซออกซิเจน

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากในการทดลอง ผลทดสอบที่ออกมานั้นยังไม่แน่ชัดว่าปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานเกิดจากสาเหตุที่ควบคุมอุณหภูมิเข้าหรือ เกิดจากการหลอมโลหะ เพราะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิการหลอมโลหะให้คงที่

2. เนื่องจากความปลอดภัยในการปฏิบัติงานเป็นเรื่องที่สำคัญ ควรเห็นความสำคัญของการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยทุกครั้ง

บรรณานุกรม

1.ส่วนอุสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ สำนักงานพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุสาหกรรม ,การหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ, กรุงเทพฯ, 2539

2.เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการโครงการจรัส, เทคนิคการหล่อเครื่องประดับชั้นสูง, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพ ฯ , 2547

3.ไพบูลย์ ชูพึ่งอาตม์. ข้อบกพร่องที่เกิดกับงานหล่อ และการแก้ไข. กรุงเทพมหานคร : สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องกลและโลหะการ, 2533

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง
   Mr. Jakklit Yimchang
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 130100488033
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์
โทร. 0-2913-2424 ต่อ 4187 , E-Mail : jky_1942@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา
   วศ.ม.วิศวกรรมการจัดการอุตสาหการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
   คอ.บ. อุตสาหการ-เครื่องมือกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างวุฒิการศึกษา)
   - งานหล่อเครื่องประดับ
   - งานหล่อเครื่องประดับชั้นสูง
- งานแม่พิมพ์ยาง
- งานทำต้นแบบแว๊กซ์
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิชาภายในประเทศ โดยระบุสถานะในการทำวิจัย
   1 ผู้อำนวยการวิจัย : ไม่มี
   2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ไม่มี
   3 งานวิจัยที่ทำแล้วเสร็จ :

1. การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง งานหล่อเครื่องประดับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2550
2. การวิจัยและพัฒนาการหล่ออลูมิเนียมเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย 2557.
3. การวิจัยและพัฒนาโลหะเงินเจือสีชมพูเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย 2558.