



การศึกษาอุณหภูมิการหล่อต้นแบบแว็กซ์ชนิด EC 500 เพื่อลดของเสีย
จากกระบวนการผลิตเครื่องประดับเงิน
study temperature casting wax type prototype EC 500 to
reduce waste. Silver production process.

จักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง
Jakkrit Yimchang



งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2560
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โครงการวิจัย : การศึกษาอุณหภูมิการหล่อต้นแบบแว็กซ์ชนิด EC 500 เพื่อลดของเสีย
จากกระบวนการผลิตเครื่องประดับเงิน
ผู้วิจัย : นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแจ้ง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสมสำหรับอบเข้าปูนต้นแบบแว็กซ์ชนิด EC500 ให้ไหลออกจากเข้าปูนหล่อแบบทั้งหมดโดยไม่ทิ้งคราบแว็กซ์ไว้ในเข้าปูน เพื่อลดของเสียเมื่อนำเข้าปูนผ่านกระบวนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับเงินสเตอร์ริง 925 บริษัท เครื่องเงินวัวลาย อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ซึ่งของเสียเกิดจากการไหลออกของแว็กซ์ ที่ไม่สมบูรณ์และทิ้งคราบแว็กซ์ไว้ใน โดยทดลองใช้อุณหภูมิความร้อนสูงในการอบเข้าปูน และวิเคราะห์คุณภาพของผิวชิ้นงานหลังการหล่อ ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อหาข้อบกพร่อง เช่น ตามด และรูพรุน ที่เกิดจากช่วงของอุณหภูมิต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิการอบเข้าปูน มีความแตกต่างจากอุณหภูมิอบเข้าปูนแว็กซ์ทั่วไป กล่าวคือการไหลออกของแว็กซ์ชนิด EC500 ในเข้าปูนต้องอาศัย อุณหภูมิความร้อนที่สูง ผลของการทดสอบตัวอย่างต้นแบบแว็กซ์ชนิด EC500 จำนวน 100 ตัวอย่าง ช่วงอุณหภูมิละ 25 ตัวอย่าง อุณหภูมิการอบเข้าปูนที่ 70 องศาเซลเซียส ตรวจพบของเสียร้อยละ 60 อุณหภูมิการอบเข้าปูนที่ 75 องศาเซลเซียส ตรวจพบของเสียร้อยละ 54 อุณหภูมิการอบเข้าปูนที่ 80 องศาเซลเซียส ตรวจพบของเสียร้อยละ 32 อุณหภูมิการอบเข้าปูนที่ 85 องศาเซลเซียส ตรวจพบของเสียร้อยละ 1 ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิความร้อนที่ไม่เกิน 85 องศาเซลเซียส สามารถแก้ปัญหาการหล่อตัวเรือนโลหะเงินสเตอร์ริงจากต้นแบบแว็กซ์ EC500 ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์พบของเสียน้อยที่สุด

คำสำคัญ : แว็กซ์ชนิด EC 500, กระบวนการหล่อ, เงินสเตอร์ริง



Abstract

The purpose of this research was to investigate the optimum heat temperature for the EC500 wax cured basecoat extrusion from all castings without waxing in the mortar. To reduce waste when the casting mortar through the casting process Silver Sterling 925 silver jewelry company Muang District, Chiang Mai, where the waste is caused by waxing outflow. The imperfections and leave waxing inside. Experiment with high temperature heat in mortar. And analyze the quality of work surface after casting with microscope. To find defects such as droplets and porosities caused by a range of temperatures. Temperature of baking mortar There is a difference from the conventional waxing mortar temperature. That is, outflow of EC500 type wax. In the mortar to live. High heat The results of the 100 sample EC500 wax samples were tested at a temperature of 25 ° C. The mortar temperature was 700 ° C. 60 percent of waste was found, the mortar was laid at 750 ° C 54 percent of waste was found. The mortar temperature was 800 deg C 32 percent waste was found, the mortar temperature was 850 deg C Detecting 1 percent waste. The results of the study show that heat temperatures of up to 850 ° C can solve the problem of casting sterling silver alloys from the EC500 wax model. Finds the least waste.

Keywords: Rapid prototype EC500 , Casting Process, sterling silver



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร รวมถึง อาจารย์ประจำสาขาวิชา เทคโนโลยีแม่พิมพ์ เครื่องประดับ ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัย ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี



สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 นิยามศัพท์เฉพาะ	5
2.2 เครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว Rapid Prototype	5
2.3 ปูนสำหรับหล่อเครื่องประดับ	11
2.4 ทางเดินน้ำโลหะ	20
2.5 โลหะที่นำมาทำตัวเรือนเครื่องประดับ	23
2.6 การหล่อโลหะ	26
2.7 การหล่อระบบสุญญากาศ	28
2.8 ทฤษฎีการทำความสะอาดหลังการหล่อ	30
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการงานการวิจัย	34
3.1 แผนการดำเนินงาน	34
3.2 ออกแบบการทดลอง	35
3.3 ดำเนินการทดลอง	37
3.4 สรุป	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์	48
4.1 ผลการดำเนินงาน	48
4.2 ผลการทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยจากชิ้นงานที่ทำการทดสอบ	52
4.3 การวิเคราะห์ผลของช่วงอุณหภูมิ	52
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุป	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	53
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะเงิน,ทองแดง,อินเดียม,ฟอสฟอรัสคุณสมบัติต่างๆ	24
2.2 ความหนาแน่นของโลหะเงินหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ	26
3.1 การเตรียมชิ้นงาน โลหะ น้ำหนักปูนและน้ำ ในการอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 700°C	39
3.2 การเตรียมชิ้นงาน โลหะ น้ำหนักปูนและน้ำ ในการอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 750°C	40
3.3 การเตรียมชิ้นงาน โลหะ น้ำหนักปูนและน้ำ ในการอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 800°C	41
3.4 การเตรียมชิ้นงาน โลหะ น้ำหนักปูนและน้ำ ในการอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 850°C	42
3.5 บันทึกการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 700°C	43
3.6 บันทึกการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 750°C	44
3.7 บันทึกการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 800°C	45
3.8 บันทึกการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 850°C	46
4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานจากอุณหภูมิเข้าปูนที่ 700°C	48
4.2 ตัวอย่างงานเสียที่อุณหภูมิ 700°C	48
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานจากอุณหภูมิเข้าปูนที่ 750°C	49
4.4 ตัวอย่างงานเสียที่อุณหภูมิ 750°C	49
4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานจากอุณหภูมิเข้าปูนที่ 800°C	50
4.6 ตัวอย่างงานเสียที่อุณหภูมิ 800°C	50
4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานจากอุณหภูมิเข้าปูนที่ 850°C	51
4.8 ตัวอย่างงานเสียที่อุณหภูมิ 850°C	51



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Stereolithography Apparatus (SLA)	6
รูปที่ 2.2 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธี PolyJet	7
รูปที่ 2.3 ชิ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Selective Laser Sintering (SLS)	8
รูปที่ 2.4 ชิ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Laminated Object Manufacturing (LOM)	9
รูปที่ 2.5 ชิ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Fused Deposition Modeling (FDM)	10
รูปที่ 2.6 ชิ้นงานจากเครื่อง RP ที่สามารถนำไป Lost-Wax ได้	11
รูปที่ 2.7 ชิ้นงานจากเครื่อง RP ที่ไม่สามารถนำไป Lost-Wax ได้ แต่นำไปทำแม่พิมพ์ยาง	11
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างปูนสำหรับหล่อตัวเรือนเครื่องประดับที่มีจำหน่ายภายในประเทศ	12
รูปที่ 2.9 แสดงการผสมปูนหล่อ	14
รูปที่ 2.10 แสดงการอบเข้าปูนหล่อ	15
รูปที่ 2.11 แสดงการจัดเรียงเข้าปูนหล่อเข้าสู่เตาอบ	17
รูปที่ 2.12 แสดงอุณหภูมิที่ใช้การทำงานของเครื่องอบ	18
รูปที่ 2.13 แสดงอุณหภูมิมาตรฐานกระบอกล่อ	19
รูปที่ 2.14 แสดงการติดต้นเทียนหล่อ	20
รูปที่ 2.15 แสดงหลักการทำงานของเครื่องหล่อระบบสูญญากาศ	29
รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินการวิจัย	34
รูปที่ 3.2 ทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 700 องศา	35
รูปที่ 3.3 ทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 750 องศา	35
รูปที่ 3.4 ทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 800 องศา	36
รูปที่ 3.5 ทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 850 องศา	36
รูปที่ 3.6 ต้นแบบแว็กซ์ EC500 ที่ได้จากเครื่อง RP	37
รูปที่ 3.7 ปูนหล่อแบบ	37
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานที่ติดทางเดินน้ำโลหะและต้นเทียน	37
รูปที่ 3.9 เทปูนลงในเบ้ากระบอกล	38
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบงานดี งานเสีย	52
รูปที่ 4.2 กราฟอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบเข้าปูนด้วยแว็กซ์ EC500	52

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่ถือว่ามีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศมากที่สุดสาขาหนึ่ง มูลค่าการส่งออกในแต่ละปีมีมูลค่าประมาณสามแสนล้านบาท และก่อให้เกิดการจ้างงานในตำแหน่งงานต่างๆ มากมาย เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ทักษะฝีมือ ความประณีตในการผลิตค่อนข้างสูงและต้องใช้แรงงานในการผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งเครื่องจักรไม่สามารถทดแทนได้ การประกอบกิจการของอุตสาหกรรมสาขานี้ มีทั้งผู้ประกอบการ ที่ดำเนินการผลิตขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs.) รวมถึงผู้ประกอบการระดับครัวเรือน สำหรับในส่วนของผู้ประกอบการ SMEs. นั้น มีผู้ประกอบการอยู่เป็นจำนวนมากและกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศ

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น รัฐบาลจึงให้ความสำคัญและให้การสนับสนุนอุตสาหกรรมสาขานี้เป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ประเทศไทยมีความได้เปรียบและสามารถพัฒนาศักยภาพให้สามารถแข่งขัน หรือเป็นผู้นำทางด้านการผลิตและการค้าในการเปิดเสรีทางการค้ากับประเทศคู่ค้าต่างๆ และที่ผ่านมารัฐบาลได้มีนโยบายต่างๆ ที่จะพยายามผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตและการค้าสินค้าผลิตภัณฑ์อัญมณีและเครื่องประดับแห่งหนึ่งของโลก โดยมีการจัดทำโครงการแผนปรับโครงสร้างอุตสาหกรรมสำหรับอุตสาหกรรมสาขานี้ ภายใต้การดำเนินการของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ในช่วงปี 2544-2546 ซึ่งรายละเอียดของโครงการได้มีการส่งเสริมและสนับสนุนให้หน่วยงานต่างๆ ดำเนินการศึกษาวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมสาขานี้ ภายใต้การบริหารโครงการโดยชุดโครงการอัญมณีและเครื่องประดับ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ตัวอย่างโครงการวิจัย อาทิเช่น การศึกษาวิจัยทางด้านการพัฒนาส่วนผสมของโลหะตัวเรือนเครื่องประดับ การศึกษาวิจัยเพื่อผลิตอัลลอยสำหรับผสมกับโลหะมีค่าต่างๆ ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ การศึกษาวิจัยพัฒนาเทคนิคการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ การศึกษาวิจัยพัฒนาสร้างเตาเผาพลอย การศึกษาวิจัยพัฒนาเทคนิคการเผาพลอย การศึกษาวิจัยพัฒนาเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการผลิตเครื่องประดับและอื่นๆ อีก ฯลฯ นอกจากนี้โครงการสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับดังที่กล่าวข้างต้น ในช่วงปี 2547-2549 รัฐบาลยังมีการจัดทำโครงการกรุงเทพเมืองแฟชั่นเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมสาขานี้ให้มีความเจริญรุดหน้ามากยิ่งขึ้น โดยการสนับสนุนให้หน่วยงานต่างๆ ดำเนินการศึกษาวิจัยและจัดทำโครงการฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการ และนอกจากนี้ รัฐบาลยังได้มอบหมายให้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยศูนย์

เทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ (Mtec) ดำเนินการจัดทำแผนยุทธศาสตร์วัสดุของชาติ ในปี 2548-2557 ขึ้นมา เพื่อส่งเสริมให้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาทางด้านวัสดุ ซึ่งยุทธศาสตร์วัสดุของชาติ ยุทธศาสตร์ที่ 3 เป็นยุทธศาสตร์ที่เน้นหนักไปทางด้านวัสดุสำหรับอุตสาหกรรมแพชั่น ที่มุ่งส่งเสริมให้มีการวิจัยพัฒนาวัสดุ และเทคโนโลยีการผลิตสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมในสาขาสิ่งทอ เครื่องหนัง และอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ (ที่มา : แผนยุทธศาสตร์วัสดุของชาติ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (Mtec.) www.mtec.or.th และความคืบหน้าล่าสุดเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2552 รัฐบาลโดยการนำของนายอภิสิทธิ์ เวชชาชีวะ นายกรัฐมนตรี ได้มีการประกาศยกเลิกการจัดเก็บภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) 7% สำหรับวัตถุดิบอัญมณีทุกประเภทที่นำมาผลิตสินค้าสำเร็จรูปเพื่อส่งออก ไม่ว่าจะเป็นเพชร หรือพลอยก้อน ที่ยังไม่เจียระไนรวมถึงโลหะมีค่าอื่นๆ เพื่อสนับสนุนให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการค้าและการผลิตผลิตภัณฑ์อัญมณีและเครื่องประดับที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลกและเป็นอุตสาหกรรมที่สามารถช่วยฟื้นฟูเศรษฐกิจของประเทศในภาวะที่กำลังประสบกับปัญหาวิกฤติเศรษฐกิจ (ที่มา: จากหนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ ฉบับที่ 2438 25 มิ.ย. - 27 มิ.ย. 2552) จากการศึกษาวิเคราะห์ปัญหา/อุปสรรคในการพัฒนาคุณภาพการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ที่ได้มีการประชุมร่วมกับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ได้ข้อสรุปว่า ปัญหาสำคัญ (Major Problem) เกี่ยวกับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ได้แก่

1. ปัญหาด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ ทั้งในรูปของโลหะมีค่าบริสุทธิ์ โลหะเจือสำเร็จรูปหรือที่เรียกว่าอัลลอยสำหรับผสมกับโลหะมีค่า และโลหะเจือที่ใช้สำหรับการผลิตเครื่องประดับเทียม (อาทิเช่น ทองคำเจือ เงินเจือ แพลทินัมเจือ ทองเหลือง โลหะสีขาว ดีบุก และตะกั่ว เป็นต้น) การศึกษาวิจัยและพัฒนาด้านวัตถุดิบนี้ควรที่จะมีการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตอัลลอยขึ้นมาใช้เองภายในประเทศและทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเริ่มทำการศึกษาวิจัยอิทธิพลของธาตุเจือต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของโลหะมีค่า (สมบัติทางกล ความต้านทานการหมอง การปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนและสมบัติทางด้านการหล่อขึ้นรูป)

2. ปัญหาด้านวัสดุเชื่อมประสาน เนื่องจากในขบวนการผลิตเครื่องประดับจะต้องมีการเชื่อมประสานเพื่อประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องประดับเข้าด้วยกันไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการเชื่อมกระเปาะสำหรับฝังพลอยเข้ากับตัวเรือนของจี ต่างหู หรือแม้แต่ก้านแหวน และนอกจากนี้ยังรวมถึงการเชื่อมประสานเพื่อตกแต่งผิวชิ้นงานสำเร็จโดยการเชื่อมปิดรอยตำหนิหรือตามด และหรือรอยตำหนิจากการหดตัวของชิ้นงานจากขบวนการหล่อขึ้นรูป ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการเชื่อมประสานเหล่านี้จะต้องมีอุณหภูมิหลอมละลายต่ำกว่าวัสดุที่ใช้เป็นตัวเรือนเครื่องประดับ แต่จะต้องมีปริมาณส่วนผสมของโลหะมีค่าผสมอยู่ตามปริมาณที่กำหนด ซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้สำหรับการแบ่งชนิดของโลหะมีค่าเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ และนอกจากนี้สีของวัสดุ

เชื่อมประสานจะต้องมีสีใกล้เคียงกับวัสดุตัวเรือนให้มากที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงความแตกต่างระหว่างสีของวัสดุตัวเรือนและวัสดุเชื่อมประสาน

3. ปัญหาด้านการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ เนื่องจากการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคนิคการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ ยังมีผลงานการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาและสร้างองค์ความรู้ค่อนข้างน้อย ไม่สามารถทำการศึกษาวิจัยได้ครอบคลุมสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นกับผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มผู้ประกอบการที่เป็น SMEs. เช่น อัตราส่วนผสมระหว่างก๊าซ LPG และออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อที่ทำการหล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง ที่ให้ความร้อนด้วยหัวเผา (Torch หรือ Burner) แบบสัมผัสบรรยากาศเปิดปกติ ตัวแปรของอุณหภูมิ น้ำโลหะและแบบหล่อที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ อิทธิพลของบรรยากาศที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ อิทธิพลของธาตุเจือต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ และ อิทธิพลของขนาดทางเดินน้ำโลหะที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ เป็นต้น

4. ปัญหาด้านการขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับด้วยวิธีการทางกล กล่าวคือ การขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับด้วยวิธีการทางกลนั้น เป็นเทคนิคการขึ้นรูปที่สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างรวดเร็วและผลิตได้ในปริมาณมากๆ ในลักษณะของ Mass Product ช่วยให้สามารถลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง แต่สภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรมเกิดจากขาดแคลนบุคลากร และองค์ความรู้ทางด้านการขึ้นรูปโลหะมีค่าด้วยวิธีการทางกล เช่น การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป องค์ความรู้ทางด้านพฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับโลหะมีค่าในระหว่างที่ดำเนินการผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการทางกล องค์ความรู้ทางด้านปัจจัยหรือสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมในการขึ้นรูป (เช่น แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป ค่า Clearance ของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป สารหล่อลื่นที่ให้ประสิทธิภาพการหล่อลื่นสูงสุดสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีการทางกล)

5. ปัญหาทางด้านเครื่องมืออุปกรณ์การผลิตกล่าวคือ ยังขาดแคลนเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิต เช่น เครื่องหล่อที่สามารถควบคุมบรรยากาศและอุณหภูมิได้เที่ยงตรง เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างต้นแบบได้รวดเร็ว (Rapid Prototype) เทคโนโลยี CAD/CAM

จากปัญหาของภาคอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับดังที่ได้กล่าวข้างต้น การศึกษาวิจัยของแผนงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาวิจัยคุณสมบัติของยางซิลิโคนสำหรับกระบวนการอัดขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีการผลิตซิลิโคน การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์อัดสำหรับผลิตตัวเรือนเครื่องประดับซิลิโคน เพื่อสร้างองค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสาขานี้ และนอกจากนี้การดำเนินการของโครงการวิจัยนี้ยังมีประโยชน์สำหรับการพัฒนาการเรียนการสอนในรูปแบบของการบูรณาการเรียนการสอนร่วมกับการวิจัยในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ โลหะวิทยาโลหะมีค่า งานหล่อขึ้นรูป และกระบวนการผลิตเครื่องประดับที่ทางมหาวิทยาลัยได้มีการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ ซึ่งดำเนินการมากกว่า 20 ปี ให้สามารถพัฒนาไปสู่ความเป็น

ศูนย์วิจัยที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางทางด้านเทคโนโลยีวัสดุและการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ เพื่อเป็นศูนย์กลางสำหรับการศึกษาวิจัยพัฒนาองค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีจากการศึกษาวิจัยทางด้านวัสดุและการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับเผยแพร่สู่ภาคการผลิต ที่สามารถรองรับ การพัฒนาอุตสาหกรรมสาขานี้ของประเทศ สอดคล้องกับนโยบายต่างๆ ของรัฐบาลที่ต้องการ ส่งเสริมให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตและการค้าสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับแห่งหนึ่ง ของโลก และจากการให้คำปรึกษาของคณะวิจัยในส่วนของ ห้างหุ้นส่วนจำกัด คลาสซี่ จิวเวลรี่ ที่ ดำเนินกิจการออกแบบ ผลิตและส่งออกสินค้าเครื่องประดับแฟชั่น เสื้อผ้าแฟชั่นนั้น ปัจจุบันทาง บริษัทกำลังประสบปัญหาทางด้านการผลิตเครื่องประดับแฟชั่นที่ขึ้นรูปด้วยยางซิลิโคน โดยปัญหาที่ เกิดขึ้นเกิดจากคุณภาพของยางซิลิโคนที่เป็นวัตถุดิบมีคุณภาพทางด้านสี ซึ่งทางบริษัทไม่สามารถ ควบคุมคุณภาพทางด้านสีได้คงที่ได้เนื่องจากวัตถุดิบยางซิลิโคนที่ใช้ในการผลิตมาจากแหล่งผลิต ต่างๆ ที่หลากหลายส่งผลให้สินค้าที่ผลิตออกมาไม่เป็นพอใจของลูกค้าและนอกจากนี้คุณสมบัติทาง กลไม่เหมาะสมกับการใช้งานส่งผลให้ชิ้นงานเสียหายและไม่คงทนต่อการใช้งาน จากการวิเคราะห์ สาเหตุของปัญหาในเบื้องต้นร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ สามารถสันนิษฐานได้ว่าปัญหาในเรื่องของคุณภาพสี และสมบัติทางกลเกิดจากวัตถุดิบที่เป็นยางซิลิโคนและปัจจัยควบคุมของตัวแปรต่างๆ ของกรรมวิธี การผลิตไม่เหมาะสม ส่งผลทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสีและสมบัติทางกลแตกต่างกัน

ดังนั้น เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว เหล่านี้ ทางบริษัทจึงมีความสนใจที่จะขอรับการ สนับสนุนผู้เชี่ยวชาญและงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับนำมาใช้ในการดำเนินการศึกษาวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดปัญหาต่างๆ เหล่านี้ใน กระบวนการผลิต เพื่อสร้างองค์ความรู้และความเข้าใจสำหรับการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นนี้ และ นอกจากนี้ยังเป็นการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเพื่อการพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต ซึ่งการดำเนินการศึกษาวิเคราะห์และวิจัยพัฒนานี้เป็นการดำเนินการร่วมกับนักวิชาการใน มหาวิทยาลัยของรัฐที่มีความพร้อมของเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ และองค์ความรู้ทางหลักวิชาการที่ เชื่อถือได้

1.2. วัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการหล่อต้นแบบแว็กซ์ชนิด EC500
- 1.2.2. เพื่อลดของเสียในการผลิตเครื่องประดับแว็กซ์ชนิด EC500

1.3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษาอุณหภูมิการอบเข้าปูนหล่อต้นแบบแว็กซ์ชนิด EC500 ที่อุณหภูมิ 700,750,800,และ850 องศาเซลเซียส
- 1.3.2 สร้างชิ้นงานเครื่องประดับเงิน 925 จากต้นแบบแว็กซ์ชนิด EC500

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 กระบวนการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ด้วยวัสดุแว็กซ์ EC 500
- 1.4.2 สร้างองค์ความรู้ที่การหล่อตัวเรือนด้วยวัสดุแว็กซ์ EC 500 สำหรับภาคอุตสาหกรรม

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Rapid prototype (RP) หมายถึง เครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็วเป็นเครื่องสร้างต้นแบบ 3 มิติ โดยจะทำการสร้างชิ้นงานขึ้นมาตามคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ โดยจะทำการสร้างชิ้นงานขึ้นมาทีละชั้น (Layer by Layer) โดยต้องมีการส่งข้อมูลของเครื่องขึ้นรูปวัตถุใน 3 มิติ รวมไปถึงข้อมูลของของเหลว และสารที่จะใช้ขึ้นรูป ตลอดจนกำลังของเครื่องมือและแผ่นรองที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน

2. EC 500 หมายถึง นํ้ายาแวกซ์เหลวที่ใช้กับ Rapid Prototype Machine มีลักษณะเป็นนํ้าสีเหลืองเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของเนื้อแวกซ์

2.2 เครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว Rapid Prototype

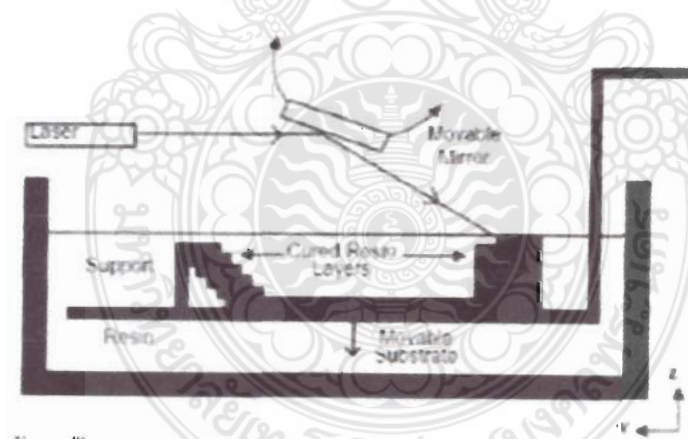
เทคโนโลยีที่เรียกว่า Rapid Prototyping (RP) ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างต้นแบบด้วยความรวดเร็ว โดยกระบวนการนี้ถูกนำมาใช้มากขึ้นในอุตสาหกรรมการออกแบบการผลิตเครื่องประดับ การแพทย์ สถาปัตยกรรม และงานด้านศิลปะอื่น ๆ อีกด้วย โดยคำว่า “เร็ว” ในที่นี้ หมายถึง การสร้างต้นแบบขึ้นมาโดยตรงจากแบบที่ถูกออกแบบไว้ก่อนแล้วในคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลด้านรูปทรงต่าง ๆ ของ 3D CAD Model จะถูกส่งไปยังเครื่อง Rapid Prototype เพื่อทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นมาทีละชั้นหลักการทั่วไปของ Rapid Prototyping คล้ายกับการพิมพ์รูปภาพจากคอมพิวเตอร์ออกทางเครื่องพิมพ์ หากแต่สิ่งที่พิมพ์ออกมาเป็นชิ้นงาน 3 มิติ ที่มีขนาด รูปทรงเป็นไปตาม CAD Model ในคอมพิวเตอร์ โดยจุดประสงค์หลักของการสร้างต้นแบบด้วยกระบวนการ Rapid Prototyping จะเน้นไปที่การสร้างต้นแบบที่ให้สาระข้อมูลในแง่ของรูปทรงของชิ้นงานทางกายภาพ คือ สามารถจับต้องได้ และในบางกรณีอาจนำมาใช้งานจริงได้ หากความแข็งแรงของตัวแบบมีมากเพียงพอ โดยวัสดุของต้นแบบที่ได้จากกระบวนการ RP ทั่วไปมักทำขึ้นมาจากวัสดุที่ง่ายต่อการขึ้นรูป เช่น พลาสติกเป็นต้น

กรรมวิธีและหลักการในการสร้างต้นแบบเร็ว นั้น มีอยู่หลากหลายวิธีด้วยกัน โดยแต่ละวิธีจะมีข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดแตกต่างกันไป ในที่นี้จะแบ่งกระบวนการสร้างต้นแบบเร็ว หรือ Rapid Prototyping Processes ออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ การใช้พอลิเมอร์ชนิดไวแสงในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Photopolymerization) การใช้เลเซอร์ หรือการเชื่อมติดผงวัสดุเข้าด้วยกัน

2.2.1 การใช้พอลิเมอร์ชนิดไวแสงในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Photopolymerization)

วิธีการนี้ถือเป็นวิธีการสร้างต้นแบบที่นิยมใช้มากเป็นอันดับต้น ๆ และมีเทคนิคที่ได้รับการพัฒนาแตกขยายออกไปเป็นจำนวนมาก และมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละบริษัทผู้คิดค้น เพื่อให้

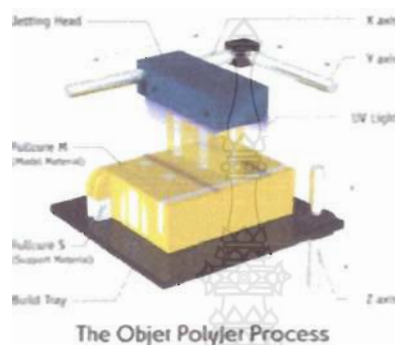
มีความเหมาะสมกับงานในแต่ละประเภท โดยขนาดของชิ้นงานและโครงสร้างของตัวแบบสามารถทำได้ในระดับไมกีก่อนไมครอนไปจนถึงหลายเซนติเมตร ขึ้นอยู่กับขนาด และคุณสมบัติของเครื่อง RP ที่ใช้เทคนิคที่ถือเป็นพื้นฐานดั้งเดิมในการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ Photopolymerization นี้ คือ Stereolithography Apparatus (SLA) คิดค้นโดยบริษัท 3D Systems ซึ่งถือว่าเป็นบริษัทแรกที่นำเสนอวิธีการสร้างต้นแบบด้วยการใช้พอลิเมอร์ชนิดไวแสง โดย Chuck Hull ผู้ก่อตั้งบริษัท และเจ้าของสิทธิบัตรวิธีการ SLA นี้ ถือเป็นบิดาแห่งกระบวนการ Stereolithography โดยเครื่อง SLA เครื่องแรกได้ออกสู่ตลาดในช่วงกลางปี พ.ศ.2523 หลักการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ Stereolithography คือ การใช้วัสดุประเภทเรซินที่สามารถแข็งตัวได้ เมื่อถูกฉายด้วยแสงเหนือม่วง หรือ Ultraviolet(UV) ซึ่งมักจะได้จากเลเซอร์ประเภท UV Lasers ที่ให้แสงในช่วงความยาวคลื่นน้อยกว่า 300 นาโนเมตร โดยชิ้นงานต้นแบบจะถูกสร้างขึ้นทีละชั้น ๆ จากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของ Platform ในแนวตั้ง และการสแกน UV เลเซอร์ในแนวราบ เพื่อให้เรซินชนิดไวแสงเปลี่ยนรูปเป็นของแข็งในตำแหน่งที่ต้องการ ชิ้นงานที่มีส่วนโค้ง หรือมีความซับซ้อนมาก อาจต้องอาศัยการสร้างส่วนรองรับที่เรียกว่า Support ขึ้นมาไปพร้อม ๆ กับการขึ้นรูปตัวชิ้นงานด้วย โดย Support นี้สามารถตัดเอาออกภายหลังได้ ชิ้นงานที่ได้หลังจากทำการฉายแสง UV ซ้ำ ภายหลังจากที่ขึ้นรูปชิ้นงานเสร็จแล้วจะมีความแข็งแรงในระดับหนึ่งดังเช่นพลาสติกทั่วไป ซึ่งนอกจากจะสามารถให้รูปทรงทางกายภาพตรงตามแบบในคอมพิวเตอร์ซึ่งถือเป็นจุดประสงค์หลักของการสร้างต้นแบบแล้วยังจะสามารถใช้ในการทดสอบกลไกการเคลื่อนที่บางอย่างที่ไม่ต้องรับแรงทางกลมาก ๆ ได้ เช่น ส่วนที่เป็นบานพับ จุดหมุนเป็นต้น หรืออาจนำไปใช้งานดังเช่นชิ้นงานพลาสติกจริงได้เลย



รูปที่ 2.1 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Stereolithography Apparatus (SLA)

นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่น ๆ ที่ได้รับการพัฒนาต่อมาจากแนวคิดของ SLA ให้มีความแตกต่างและเหมาะสมกับรูปแบบการขึ้นรูปที่ต่างกันไป เช่น Micro-stereolithography โดยบริษัท MicroTEC เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการสร้างต้นแบบที่มีขนาดเล็กมาก ๆ หรือ วิธีการขึ้นรูปแบบ

PolyJet พัฒนาคอยบริษัท Objet ที่อาศัยการฉีดเรซิน ลงบน Platform ด้วยแผงหัวฉีดขนาดเล็กมากกว่า 1,500 หัวไปพร้อม ๆ กับการใช้แสง UV ในการทำให้เรซิน แข็งตัวในทันที ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีถังขนาดใหญ่ในการบรรจุเรซิน และจุ่มชิ้นงานทั้งชิ้นลงไปในอ่างเรซินในระหว่างการขึ้นรูปดังเช่นที่ใช้กับวิธีการแบบ SLA ทั่วไป

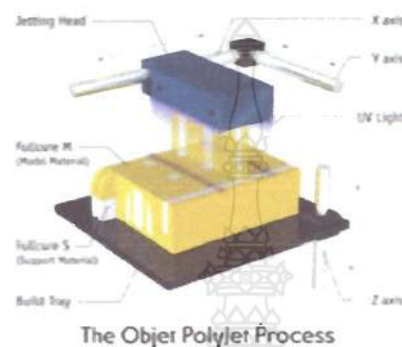


รูปที่ 2.2 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธี PolyJet

2.2.2 การใช้เลเซอร์หรือการเชื่อมติดผงวัสดุเข้าด้วยกัน(Sintering / Bonding)

การสร้างต้นแบบด้วยวิธีการนี้จะต่างกับวิธี Photopolymerization ตรงที่ว่าสถานะของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานจะอยู่ในรูปของผงวัสดุ โดยทั่วไปจะนิยมใช้ผงพลาสติก เนื่องจากมีจุดหลอมตัวต่ำ ทำให้ง่ายในการขึ้นรูป ขนาดของผงพลาสติกที่ใช้จะมีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน ซึ่งผงวัสดุเหล่านี้จะถูกให้ความร้อนด้วยเลเซอร์บนตำแหน่งที่เป็นหน้าตัดของชิ้นงาน ความร้อนที่ได้มากพอที่จะทำให้ผงพลาสติกแต่ละเม็ดในบริเวณที่ถูกฉายด้วยเลเซอร์สามารถยึดเกาะติดกันได้ และยังสามารถยึดเกาะกับชั้นที่ขึ้นรูปไปแล้วก่อนหน้านี้ได้อีกด้วยเพื่อให้เกิดเป็นโครงสร้างแข็ง 3 มิติ ตามแบบในคอมพิวเตอร์ โดยตัว Platform จะเลื่อนลงเล็กน้อย เพื่อให้ผงวัสดุชุดใหม่ถูกกวาดเข้ามาทับผิวที่ถูกให้ความร้อนในชั้นก่อนหน้านี้สำหรับการ Sintering ในชั้นถัดไป โดยกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานแบบนี้จะวนไปเรื่อย ๆ และเมื่อทำการขึ้นรูปจนครบทุกชั้นแล้ว วัสดุผงส่วนเกินที่ไม่ได้ถูกฉายด้วยเลเซอร์ก็จะถูกปัดหรือพ่นออกไปด้วยลม คงเหลือแต่ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ตามแบบที่ต้องการความเร็วโดยเฉลี่ยในการขึ้นรูปชิ้นงานจะอยู่ที่ประมาณ 10 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง หรือทุก ๆ 1 ชั่วโมงจะได้ชิ้นงานสูงขึ้น 10 มิลลิเมตร โดยความถูกต้องของชิ้นงานจะอยู่ที่ประมาณ ± 0.15 มิลลิเมตร ข้อสังเกตอย่างหนึ่งของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการ Sintering คือ ผิวงานที่ได้ค่อนข้างหยาบ และ ความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้จะต่ำกว่าวิธี Stereolithography ซึ่งจะให้ผิวชิ้นงานที่เรียบและวัสดุเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า เทคนิคที่เป็นที่รู้จักสำหรับการขึ้นรูปแบบนี้ คือ Selective Laser Sintering (SLS) พัฒนาโดยบริษัท 3D Systems และ DTM

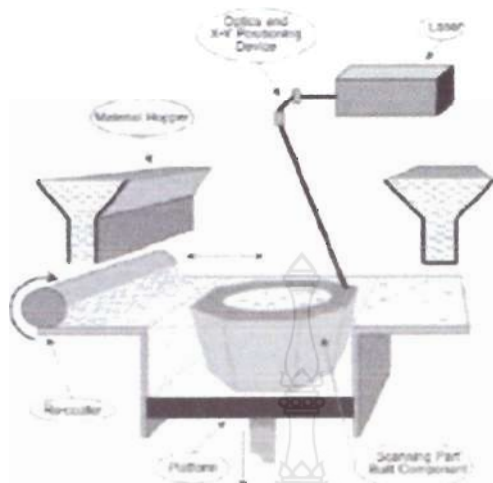
PolyJet พัฒนาคณะบริษัท Objet ที่อาศัยการฉีดเรซิน ลงบน Platform ด้วยแผงหัวฉีดขนาดเล็กมากกว่า 1,500 หัวไปพร้อม ๆ กับการใช้แสง UV ในการทำให้เรซิน แข็งตัวในทันที ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีถังขนาดใหญ่ในการบรรจุเรซิน และจุ่มชิ้นงานทั้งชิ้นลงไปอ่างเรซินในระหว่างการขึ้นรูปดังเช่นที่ใช้กับวิธีการแบบ SLA ทั่วไป



รูปที่ 2.2 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธี PolyJet

2.2.2 การใช้เลเซอร์หรือการเชื่อมติดผงวัสดุเข้าด้วยกัน(Sintering / Bonding)

การสร้างต้นแบบด้วยวิธีการนี้จะต่างกับวิธี Photopolymerization ตรงที่ว่าสถานะของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานจะอยู่ในรูปของผงวัสดุ โดยทั่วไปจะนิยมใช้ผงพลาสติก เนื่องจากมีจุดหลอมตัวต่ำ ทำให้ง่ายในการขึ้นรูป ขนาดของผงพลาสติกที่ใช้จะมีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน ซึ่งผงวัสดุเหล่านี้จะถูกให้ความร้อนด้วยเลเซอร์บนตำแหน่งที่เป็นหน้าตัดของชิ้นงาน ความร้อนที่ได้มากพอที่จะทำให้ผง พลาสติกแต่ละเม็ดในบริเวณที่ถูกฉายด้วยเลเซอร์สามารถยึดเกาะติดกันได้ และ ยังสามารถยึดเกาะกับชั้นที่ขึ้นรูปไปแล้วก่อนหน้านี้ได้อีกด้วยเพื่อให้เกิดเป็นโครงสร้างแข็ง 3 มิติ ตามแบบในคอมพิวเตอร์ โดยตัว Platform จะเลื่อนลงเล็กน้อย เพื่อให้ผงวัสดุชุดใหม่ถูกกวาดเข้ามาทับผิวที่ถูกให้ความร้อนในชั้นก่อนหน้านี้สำหรับการ Sintering ในชั้นถัดไป โดยกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานแบบนี้จะวนไปเรื่อย ๆ และเมื่อทำการขึ้นรูปจนครบทุกชั้นแล้ว วัสดุผงส่วนเกินที่ไม่ได้ถูกฉายด้วยเลเซอร์ก็จะถูกปัดหรือพ่นออกไปด้วยลม คงเหลือแต่ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ตามแบบที่ต้องการความเร็วโดยเฉลี่ยในการขึ้นรูปชิ้นงานจะอยู่ที่ประมาณ 10 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง หรือทุก ๆ 1 ชั่วโมงจะได้ชิ้นงานสูงขึ้น 10 มิลลิเมตร โดยความถูกต้องของชิ้นงานจะอยู่ที่ประมาณ ± 0.15 มิลลิเมตร ข้อสังเกตอย่างหนึ่งของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการ Sintering คือ ผิวงานที่ได้ค่อนข้างหยาบ และ ความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้จะต่ำกว่าวิธี Stereolithography ซึ่งจะให้ผิวชิ้นงานที่เรียบและวัสดุเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า เทคนิคที่เป็นที่รู้จักสำหรับการขึ้นรูปแบบนี้ คือ Selective Laser Sintering (SLS) พัฒนาโดยบริษัท 3D Systems และ DTM



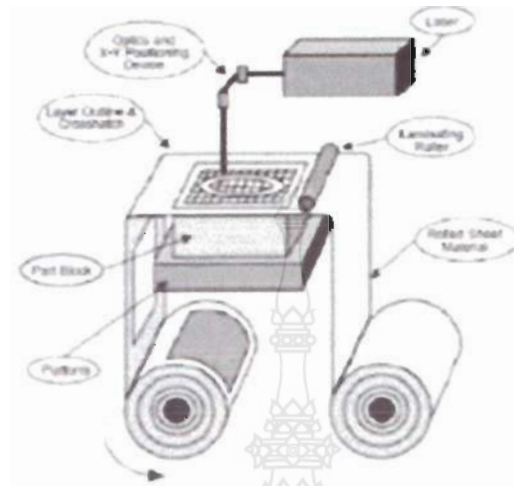
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการทำงานด้วยกระบวนการ Selective Laser Sintering (SLS)

นอกจากการใช้เลเซอร์ในการให้ความร้อน เพื่อให้วัสดุถูกเชื่อมติดกันแล้ว ยังมีเทคนิคที่ใช้วิธีการพ่นกาว เพื่อให้ผงวัสดุเกาะติดกันเป็นโครงสร้างที่ต้องการ วิธีที่ว่านี้ ถูกพัฒนาขึ้นโดยสถาบันเทคโนโลยี แมส-ซาชูเซตส์ ในชื่อ Three Dimensional Printing (3DP) ต่อมาได้รับการพัฒนาและทำตลาดโดยบริษัท Z Corporation หลักการของ 3D Printing นี้ จะคล้ายคลึงกับการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet ทั่วไป กล่าวคือ กาวประสานจะถูกพ่นออกจากหัวฉีดขนาดเล็กลงไปยัง Platform ที่มีผงแป้งเคลือบเตรียมเอาไว้ การขึ้นรูปก็จะทำไปทีละชั้น เช่นเดียวกับกระบวนการการ สร้างต้นแบบเร็วแบบอื่น ๆ แต่ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถที่จะให้สีกับชิ้นงานได้โดยการฉีดพ่น กาวที่ได้รับการผสมสีต่าง ๆ ลงไปดังเช่นการพิมพ์สีด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet ทำให้เราสามารถสร้าง ชิ้นงานที่เห็นรูปทรงและสีสันทันของตัวงานไปได้พร้อม ๆ กันอย่างไว้ก็ตาม ชิ้นงานที่ได้จาก กระบวนการนี้ค่อนข้างเปราะบางมากกว่าชิ้นงานที่ได้ จากวิธี Stereolithography ดังนั้นชิ้นงานที่ ได้จะเหมาะสำหรับการทำขึ้นมากเพื่อเป็น Concept Prototype มากกว่าจะเป็น Functional Prototype

2.2.3 การตัดและติดแผ่นวัสดุทีละชั้น (Layer Laminate Manufacturing)

การขึ้นรูปต้นแบบด้วยวิธีการนี้ ถือได้ว่ามีความง่ายมากที่สุดในแง่ของหลักการ นั่นคือ การตัดแผ่นวัสดุที่มีกาวจากกระดาษ โดยที่ด้านหนึ่งถูกเคลือบด้วยกาวที่จะติดเมื่อได้รับความร้อน จากการตัดแผ่น วัสดุจะถูกตัดด้วยเลเซอร์ให้ได้รูปร่างตรงตามพื้นที่หน้าตัดของตัวแบบ ในส่วนนั้น ๆ แผ่นวัสดุแต่ละแผ่นจะซ้อนติดกันเป็นชั้น ๆ จนได้ชิ้นงาน ตามต้องการ เทคนิคการขึ้นรูปเช่นนี้ รู้จักกันแพร่หลายในชื่อ Laminated Object Manufacturing (LOM) ซึ่งคิดค้นโดยบริษัท Cubic Technologies แผ่นวัสดุที่เตรียมไว้เป็นม้วนจะเคลื่อนที่ผ่าน Platform และถูกตัดตามแบบด้วย เลเซอร์ บริเวณที่ไม่ใช่ส่วนของชิ้นงานจะถูกตัดเป็นตารางเล็ก ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการแกะออกเมื่อทำ

การขึ้นรูปเสร็จสมบูรณ์

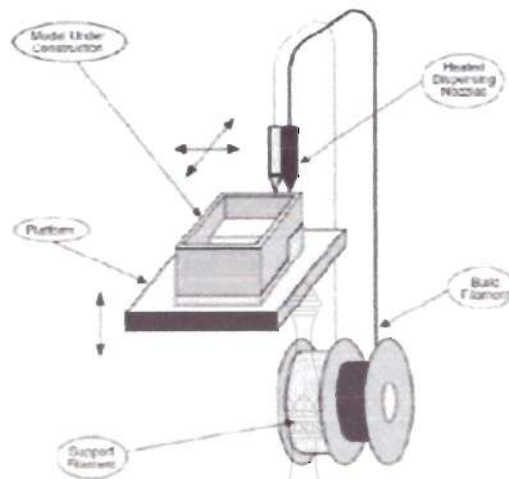


รูปที่ 2.4 ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Laminated Object Manufacturing (LOM)

จากแนวคิดการตัดแผ่นวัสดุแล้วซ้อนกันเป็นชั้น ๆ เพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานก็ยังคงถูกพัฒนาออกไปเป็นเทคนิคอื่นๆ เช่น การใช้แผ่นโลหะ หรือ พลาสติกแทนการใช้กระดาษ เพื่อสร้างเป็นชิ้นงานตั้งต้นสำหรับใช้ในกระบวนการตัดวัสดุทั่วไป อย่างเช่น กระบวนการ Layer Milling Process (LMP) ที่พัฒนาโดยบริษัท Zimmermann ซึ่ง การเตรียมวัสดุ ตั้งต้นในลักษณะนี้จะช่วยลดเวลาในกระบวนการกัด และลดปริมาณเศษตัดลงไปได้อย่างมาก เช่น การกัดชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นช่องกลวงหรือ ถึงขนาดใหญ่ ๆ

2.2.4 การใช้พลาสติกร้อนเรียงตัวขึ้นเป็นชิ้นงาน (Extrusion Processes)

การสร้างต้นแบบอีกวิธีการหนึ่ง คือ การใช้เส้นพลาสติกที่ถูกทำให้ร้อนนามาเรียงเป็นโครงสร้างขึ้นมาเป็นชั้น ๆ โดยส่วนที่เป็นชิ้นงานและส่วนรองรับจะใช้เส้นพลาสติกและรูปแบบการเรียงที่ต่างกัน โดยส่วนที่ทำหน้าที่รองรับนั้นจะช่วยเสริมความมั่นคงของชิ้นงานในระหว่างการขึ้นรูปและจะถูกเอาออกภายหลังจากที่ชิ้นงานได้รับการขึ้นรูปจนเสร็จสมบูรณ์แล้ว เทคนิคหนึ่งที่ยิยมใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแบบนี้ คือ Fused Deposition Modeling (FDM) พัฒนาโดยบริษัท Stratasys



รูปที่ 2.5 ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Fused Deposition Modeling (FDM)

อย่างไรก็ตาม ผิวชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จะค่อนข้างหยาบ เมื่อเทียบกับวิธี SLA เนื่องจากการขึ้นรูปที่เกิดจากการเรียงตัว และเชื่อมติดกันของเส้นพลาสติกขนาดเล็กเป็นชั้น ๆ สำหรับความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้ก็มีมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดพลาสติกที่นำมาใช้ โดยพลาสติกที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการนี้ เช่น พลาสติก ชนิด ABS หรือ Polycarbonate เป็นต้น ชิ้นงานที่ได้จึงมีความแข็งแรงพอสมควร และสามารถนำมาใช้ ทดสอบการใช้ งานในลักษณะ Functional Prototype ได้ใกล้เคียงชิ้นงานพลาสติกจริง

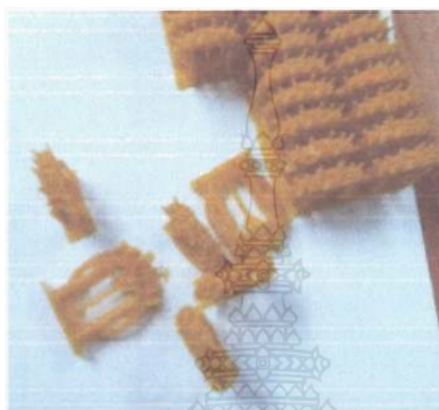
นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาการสร้างต้นแบบเร็วในลักษณะเดียวกันนี้โดยอาศัยเทคโนโลยี Inkjet เข้ามาร่วมด้วย นั่นคือ การหลอมพลาสติกและพ่นออกมาเป็นหยดพลาสติกหลอมเหลว ขนาดเล็ก ๆ ให้เกาะตัวกันทีละชั้นไปจนเกิดโครงสร้างที่ต้องการ เทคนิคนี้เรียกว่า Multijet Modeling (MJM) ค้นโดยบริษัท 3D Systems ซึ่งมีหลักการคล้ายกับวิธี PolyJet ของ Objet แต่ต่างกันที่ลักษณะการทำให้พลาสติกแข็งตัวเกิดเป็นโครงสร้างของชิ้นงาน

2.2.5 Rapid Prototy ในงานอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ

การสร้างต้นแบบด้วยกระบวนการนี้ยังสามารถใช้ขี้ผึ้ง หรือ Wax เป็นวัสดุในการขึ้นรูปได้อีกด้วย ซึ่งมีผลดีในแง่ของความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ และนอกจากการสร้างชิ้นงานขึ้นมาเพื่อใช้เป็นต้นแบบในลักษณะ Conceptual Prototype แล้ว ชิ้นงาน Wax ที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ในเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการหล่อโลหะ ที่ต้องการรายละเอียดของชิ้นงานมาก (PrecisionCasting) อย่างกระบวนการLost-Waxซึ่งนิยมมากในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ ซึ่งให้ความละเอียดของผิวชิ้นงานได้ค่อนข้างดีซึ่งปัจจุบันนิยมทำกันอย่างแพร่หลาย 2 แบบด้วยกัน

แบบที่ 1 ชิ้นงานที่สามารถนำไป Lost-Wax แล้วสามารถนำไปหล่อตัวเรือนได้เลย ต้นแบบตัวเรือนที่ได้จากเครื่อง RP ด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติสามารถ Lost-Wax ได้โดยตรงโดยกระบวนการอบเข้าปูน ขึ้นอยู่กับแต่ละบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรที่จะผลิตวัตถุดิบ

แบบที่ 2 ชิ้นงานที่ไม่สามารถนำไป Lost-Wax ได้ แต่นำไปทำแม่พิมพ์ยางได้ มีคุณสมบัติที่แข็ง



รูปที่ 2.6 ชิ้นงานจากเครื่อง RP ที่สามารถนำไป Lost-Wax ได้



รูปที่ 2.7 ชิ้นงานจากเครื่อง RP ที่ไม่สามารถนำไป Lost-Wax ได้ แต่นำไปทำแม่พิมพ์ยาง

2.3 ปูนสำหรับหล่อเครื่องประดับ

การหล่องานเครื่องประดับนิยมใช้วิธีการหล่อแบบอินเวสเมนต์ (Investment Casting) หรือเรียกอีกชื่อว่า การหล่อแบบประณีตงานหล่อ ประเภทนี้จะได้ผิวชิ้นงานที่มีความละเอียดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานหล่อประเภทอื่น. การศึกษาสมบัติของปูนจึงมีความสำคัญกับการหล่ออย่างยิ่ง คือปูนควรจะทนทานต่ออุณหภูมิของโลหะในระหว่างการหล่อ เนื้อปูนที่ละเอียดจะทำให้ผิวงานดีจากการหล่อ การควบคุมการเติบโตของผลึกในปูนเพื่อให้ได้ผิวเนื้อปูนที่ดีเหมาะสมสำหรับเป็น

แม่พิมพ์ปูนที่ สวยงามการควบคุมอุณหภูมิ ของปูนในระหว่างการหล่อเพื่อให้โลหะไหลเข้าแบบ ได้อย่างเหมาะสม และการเลือกชนิดปูนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะระหว่างการหล่อเป็นต้น ปูนที่ใช้ ในงานหล่อเครื่องประดับ แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ แยกตามประเภทวัสดุของปูนคือ ปูนยิปซัม บอนด์ (Gypsum bonded Investment) ปูนฟอสเฟตบอนด์ (Phosphate bonded Investment) และปูนแบบอลูมินา-แมกนีเซียม (Alumina-magnesia Investment)

1 ปูนยิปซัมบอนด์ (Gypsum Bonded Investment)

ปูนยิปซัมบอนด์เหมาะสำหรับงานหล่อโลหะ เงิน ทอง หรือทองเหลือง โดยส่วนใหญ่ งานหล่อเครื่องประดับจะนิยมใช้ปูนหล่อประเภทนี้ เนื่องจากมีราคาและคุณสมบัติเหมาะสำหรับการหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส ส่วนผสมของปูนยิปซัมบอนด์แบ่ง ออกเป็น 2 กลุ่มคือ วัสดุทนไฟซึ่งประกอบด้วยซิลิกา คริสโตบาลไลต์ (Cristoballite) เป็นต้น และ กลุ่มวัสดุที่มีสมบัติเป็นตัวยึด (binder) คือ ผงยิปซัม ที่มีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตเอมิไฮเดรต (Calcium sulfate hemihydrate) และส่วนผสมอื่น ๆ เพิ่มเติมตามแต่ละสูตรของการผลิต

2 ปูนฟอสเฟตบอนด์ (Phosphate bonded Investment)

ปูนฟอสเฟตบอนด์เหมาะสำหรับงานหล่อโลหะที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง เช่น แพลตินัม สแตนเลสสตีล และทนทานต่อการหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงกว่า 1200 องศาเซลเซียส ส่วนผสมของปูนฟอสเฟตบอนด์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือวัสดุทนไฟซึ่งประกอบด้วยซิลิกา และกลุ่ม วัสดุที่เป็นธาตุยึดคือเกลือออสเฟต หรือ ออกไซด์ ของกรดฟอสฟอริก โดยทั่วไป ใช้โมโนแอมโมเนียม ฟอสเฟต แมกนีเซียมออกไซด์ และส่วนผสมอื่น ๆ เพิ่มเติมตามแต่ละสูตรของการผลิตปูนฟอสเฟต

3 ปูนอะลูมินา-แมกนีเซียม (Alumina-magnesia Investment)

ปูนฟอสเฟตบอนด์จะทนต่ออุณหภูมิสูงเช่น งานหล่อไททาเนียม แต่ระหว่างการหล่อด้วย แม่พิมพ์ปูนฟอสเฟตบอนด์อาจมีก๊าซเกิดขึ้น ทำให้ปูนฟอสเฟตบอนด์จึงไม่เหมาะสมสำหรับงานไททา นเนียม เพราะโลหะไททาเนียมไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นออกไซด์ ด้วยเหตุนี้จึงมี การนำปูนอะลูมินา-แมกนีเซียมซึ่งเป็นปูนที่ค่อนข้างเสถียรจากพันธะของอะลูมินาและแมกนีเซียม มาใช้หล่อ ไททาเนียม นอกจากนี้ยัง สามารถนำไปหล่อ โลหะประเภทอื่น ๆ ได้ เช่นนิกเกิล โคบอลต์โครเมียม เป็นต้นส่วนผสมของปูนอะลูมินา-แมกนีเซียม ประกอบไปด้วยวัสดุทนไฟจาก ปูนของอะลูมินากับแมกนีเซียมซึ่งมีสารที่เป็นตัวยึดหลายชนิดสารหลักที่ผสมกันได้แก่ แมกนีเซียมอะซิเตต (Magnesium acetate) ปูนเซอร์โคเนีย (Zirconia cement) ปูนแมกนีเซียม (Magaesia cement) ซิลิกาเจลหรือวุ้นซิลิกา (Colloidal sillcate) เอธิลซิลิเกต (Ethyl sillcate)



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างปูนสำหรับหล่อตัวเรือนเครื่องประดับที่มีจำหน่ายภายในประเทศ

2.3.1 การทำแม่พิมพ์ปูนหล่อ

หลังจากการเตรียมต้นเทียนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำแม่พิมพ์ปูนหล่อ ซึ่งเป็นแม่พิมพ์สุดท้ายที่จะนำไปหล่อโลหะ และเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ หากเกิดเหตุผิดพลาดขึ้นจะไม่สามารถแก้ไขได้ และที่สำคัญผู้ปฏิบัติอาจไม่ทราบว่าอาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งเป็นการสูญเสียแรงงาน ค่าใช้จ่ายและเวลาในการผลิต ทั้งนี้เนื่องจากเทปูนหล่อแบบหุ้มต้นเทียนแล้ว ผู้ปฏิบัติไม่อาจทราบว่าแม่พิมพ์นั้นมีความเป็นอย่างไร เช่น ตัวแบบเทียนอาจหลุดออกจากต้นเทียน หรือตัวแบบเทียนอาจถูกปูนหล่อซึ่งมีน้ำหนักมากบีบให้เสียรูปทรง ดังนั้นการหล่อเครื่องประดับจึงต้องการความประณีต ความสวยงาม และลดรายละเอียดของพื้นผิว แม่พิมพ์ปูนหล่อจะต้องถ่ายทอดลักษณะพิเศษดังกล่าวจากต้นแบบ ไปสู่ชิ้นงานหล่อ ด้วยเหตุนี้การหล่อเครื่องประดับจึงมีผู้ผลิตวัสดุอุปกรณ์ และขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ปูนขึ้นมามีใช้เฉพาะสำหรับการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ

ปูนหล่อ เป็นปูนชนิดที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในการทำแม่พิมพ์โดยเฉพาะ มีลักษณะพิเศษ คือ ทนความร้อนสูง ผิวละเอียด มีความแข็งแรงมาก แต่สามารถทุบทำลายได้ง่าย ซึ่งเป็นลักษณะของแม่พิมพ์ที่ดี ในปัจจุบันมีผู้ผลิตจำนวนมากได้ผลิตปูนหล่อแบบออกจำหน่าย มีข้อดีข้อเสียในการใช้งานแตกต่างกันไป

สูตรการหาอัตราส่วนของปูนหล่อ

ปริมาตรของกระบอกหล่อ (V) $\times 1.2 + (20 \text{ เปอร์เซนต์ ของน้ำหนักปูนหล่อทั้งหมด})$

ปริมาตร (CC) = 1.2 CC / กรัม

20 เปอร์เซนต์ ของน้ำหนักปูนหล่อทั้งหมด = การเผื่อสำหรับความสูญเสียของส่วนผสมที่เกิดจากการดูดอากาศออกจากเนื้อปูนและส่วนที่ติดกับภาชนะ

สูตรการหาอัตราส่วนผสมของน้ำ

ปริมาณน้ำ = 37-40 เปอร์เซนต์ ของน้ำหนักปูนหล่อ

หมายเหตุ ปริมาณน้ำขึ้นอยู่กับประเภทของปูนหล่อ

ขั้นตอนการผสมปูนหล่อแบบ

- คำนวณน้ำหนักของปูนหล่อแบบตามสูตร และหาอัตราส่วนน้ำตาม
- เทน้ำสะอาดลงในชามอย่างง่ายสำหรับผสมค่อยๆ เทปูนลงในน้ำสะอาด และใช้พาย พลากติค คนผสมให้ทั่วกัน ข้อควรระวังคือ ห้ามเทน้ำลงในปูนขณะผสม เนื่องจากปูนหล้อมีลักษณะเป็นผงละเอียดแห้งสนิท เมื่อเทน้ำลงไปบริเวณหนึ่งของปูนหล่อแบบ ปูนจะซึมซับน้ำไว้อย่างรวดเร็วทำให้ส่วนอื่นๆ ของปูนที่ไม่ได้รับน้ำจะทำการผสมได้ยาก และส่วนผสมมักจะเสียหา เนื่องจากน้ำไม่สามารถกระจายไปผสมกับปูนทั้งหมด

- นำส่วนผสมเข้ากวนในเครื่องผสมปูนหล่อใช้เวลา 1-1.30 นาที

- นำส่วนผสมเข้าเครื่องดูดอากาศออกจากภายในเนื้อปูนหล่อ พร้อมทั้งมีการสั่นใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที

- นำส่วนผสมเทลงในกระบอกลที่มีต้นเทียนติดตั้งอยู่ภายใน และประกอบกับฐานยางเรียบร้อยแล้ว เทส่วนผสมของปูนลงในกระบอกลโดยเทลงทางด้านข้างของกระบอกล หากเทลงตรงกลางบนต้นเทียนโดยตรง ปูนหล่ออาจทำให้ต้นเทียนเสียหายได้

- กระบอกลที่เทปูนหล่อแล้วเข้าเครื่องดูดอากาศใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที

- เติมส่วนผสมของปูนหล่อให้เต็ม เนื่องจากดูดอากาศออกจากเนื้อปูนทำให้ส่วนผสมของปูนหล่อบางส่วนกระเด็นออกจากกระบอกลหล่อ จึงต้องเติมให้เต็ม

- เมื่อมีการเทปูนหล่อแบบลงในกระบอกลเรียบร้อยแล้วให้นำกระบอกลหล่อไปตั้งผึ่งไว้ในที่ร่ม เมื่อปูนหล่อเริ่มแห้งให้ตกแต่งปูนหล่อแบบให้เรียบร้อยเสมอขอบกระบอกลหล่อ ในการผสมปูนหล่อแบบตามขั้นตอนดังกล่าวมีความสำคัญมากต้องรีบดำเนินการให้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลาประมาณ 10-20 นาที เพราะปูนหล่อแบบจะแห้งและแข็งตัวเร็ว การดูดอากาศออกจากเนื้อปูนหล่อจะกระทำได้ยาก ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แสดงการผสมปูนหล่อ

ข้อควรระวังในการผสมปูนหล่อ

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมปูนหล่อ ควรเลือกอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุที่ไม่มีเศษหรือสิ่งปนที่จะหลุดเข้าไปผสมกับส่วนผสมของปูน
- การลัดหรือการข้ามชั้นตอน อาจทำให้เกิดความเสียหายต่องานหล่อได้ เช่น การดูดฟองอากาศน้อยเกินไป เป็นต้น
- ในขณะที่ดูดอากาศออกจะต้องมีการสั่นสะเทือนตลอดเวลา เพื่อให้อากาศที่แทรกตัวอยู่ลึกๆ ถูกกระตุ่นให้ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของส่วนผสมและถูกดูดออกไป

2.3.2 การอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ

การอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ เป็นขั้นตอนที่อาจเรียกว่าเป็นการเตรียมแม่พิมพ์สำหรับการหล่อโลหะเพื่อปรับอุณหภูมิของเนื้อปูนหล่อให้เหมาะสมกับน้ำโลหะ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ

ในการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้มีความเหมาะสมเพื่อรองรับการฉีดน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบ ความผิดพลาดในการควบคุมอุณหภูมิจะก่อให้เกิดรูพรุน ขึ้นบนชิ้นงานได้ง่าย หรือเกิดผลอื่นๆ ทำให้การหล่อไม่สำเร็จ เช่น ถ้าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำเกินไป น้ำโลหะที่ฉีดเข้าสู่โพรงแบบจะแข็งตัวก่อนที่จะแทรกไปตามรายละเอียดของแบบทำให้การหล่อไม่สมบูรณ์ หรือที่เรียกว่าหล่อไม่เต็ม ขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ น้ำโลหะที่ฉีดเข้าไปอยู่ในสภาพของเหลวมากกว่าปกติ จะส่งผลให้เกิดรูพรุนขึ้นบนผิวชิ้นงานได้

จุดประสงค์ในการอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ

- 1) เพื่อกำจัดตัวแบบเทียน และส่วนของเทียน ทั้งหมดออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อทำให้แม่พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงแบบขึ้นภายใน พร้อมทางเดินน้ำโลหะ

2) เพื่อเตรียมอุณหภูมิของกระบอกหล่อให้เหมาะสมกับอุณหภูมิในการหล่อโลหะทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในขณะที่ทำการหล่อโลหะ การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ เพื่อจัดกำลังเตาเผา นั้นมักจะใช้ระบบไอน้ำในการละลายเทียน ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 100 °C เทียนประมาณ 90 % ในกระบอกหล่อจะหลอมละลายและไหลออกจากปากแม่พิมพ์ปูนหล่อ ซึ่งเกิดจากส่วนโค้งฐานของฐานยาง เมื่อกำลังเทียนจำนวนมากออกแล้วจึงนำแม่พิมพ์เข้าอบในเตาอบต่อไป

แหล่งกำเนิดความร้อน ความร้อนที่ใช้ในการอบมาจากขดลวดไฟฟ้าภายในเครื่องความร้อนนี้ นำมาใช้ในการอบสูงสุดถึงประมาณ 1200 °C

2.3.3 ความสมดุลของอุณหภูมิ

1) ชิ้นงานบาง เป็นชิ้นงานที่มีโพรงแคบและเล็ก ช่องทางน้ำโลหะจะแทรกเข้าไปได้เต็มโพรงแบบ ดังนั้นน้ำโลหะจะต้องมีลักษณะไหลวน และต้องเย็นตัวช้าเพื่อให้มีเวลาเพียงพอที่น้ำโลหะจะแทรกตัวเข้าไปในที่แคบๆ ได้ทั่วถึง น้ำโลหะจึงต้องมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นแม่พิมพ์จึงต้องมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย

2) ชิ้นงานหนา เป็นชิ้นงานที่มีโพรงแบบใดก็ตาม น้ำโลหะจะแทรกตัวเข้าไปได้เร็ว อุณหภูมิของน้ำโลหะจึงมีอุณหภูมิต่ำได้ การเตรียมแม่พิมพ์จึงสามารถใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและบางกว่า

3) อุณหภูมิหล่อของโลหะแต่ละชนิดข้างต้น เป็นอุณหภูมิโดยประมาณเนื่องจากโลหะผสมแต่ละชนิด จะมีสัดส่วนการผสมที่แตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต

4) ในการอบเผาแม่พิมพ์ ควรคงที่อุณหภูมิหล่อไว้อย่างน้อย ½ ชั่วโมง ก่อนทำการหล่อ เพื่อให้สัดส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์มีความร้อนใกล้เคียงกันมากที่สุด

5) อุณหภูมิของแม่พิมพ์ จะขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์และรายละเอียดของแบบว่ามีขนาดและรายละเอียดซับซ้อนเพียงใด โดยชิ้นงานจะต้องการอุณหภูมิสูงกว่าชิ้นงานใหญ่

6) ในการหล่อโลหะ ถ้าพบว่าน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะในส่วนที่มีความละเอียดมาก ๆ ให้เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อน การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำโลหะต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง

7) ในการอบเผาแม่พิมพ์ ไม่มีเครื่องมืออุปกรณ์ควบคุมที่ดีพอ ให้สังเกตที่บริเวณปากทางเข้า-ออก ของน้ำโลหะแม่พิมพ์ ถ้าบริเวณนั้นมีจุดสีน้ำตาลเข้มและมีเปลวไฟพุ่งออกมาจากภายในโพรงแบบ แสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้ไม่หมด แต่ถ้าบริเวณปากทางเข้าและออกของน้ำโลหะของแม่พิมพ์มีสีขาวนวล แสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์

8) แก๊สหรือควันที่ระเหยออกมา ในขณะที่อบเผาแม่พิมพ์เป็นแก๊สพิษ ควรหาทางป้องกันและหลีกเลี่ยงการสูดดม

2.3.4 การใช้เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

1) การเปิด - ปิดเครื่อง เตาอบเผาแม่พิมพ์มี 2 ชนิด คือเตาไฟฟ้าและเตาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง ส่วนประกอบที่สำคัญคือห้องอบเผาซึ่งมีหลายขนาดตามความต้องการของผู้ใช้ ภายในห้องเผาจะมีปล่องสำหรับระบายควันออกจากห้อง ซึ่งมีการต่อปล่องนี้ออกจากห้องปฏิบัติงาน เพราะควันที่ออกจากเตาอบเผาจะเป็นควันพิษ นอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมอุณหภูมิของเตา ซึ่งมีทั้งชนิดที่ควบคุมด้วยมือ และ

ชนิดควบคุมอัตโนมัติ เตาอบเผาแม่พิมพ์นี้จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1200 °C ในการใช้งานจะต้องคำนึงถึงส่วนของอุณหภูมิและเวลาในการอบการควบคุมอุณหภูมิและเวลาจะต้องกระทำไปพร้อมกัน

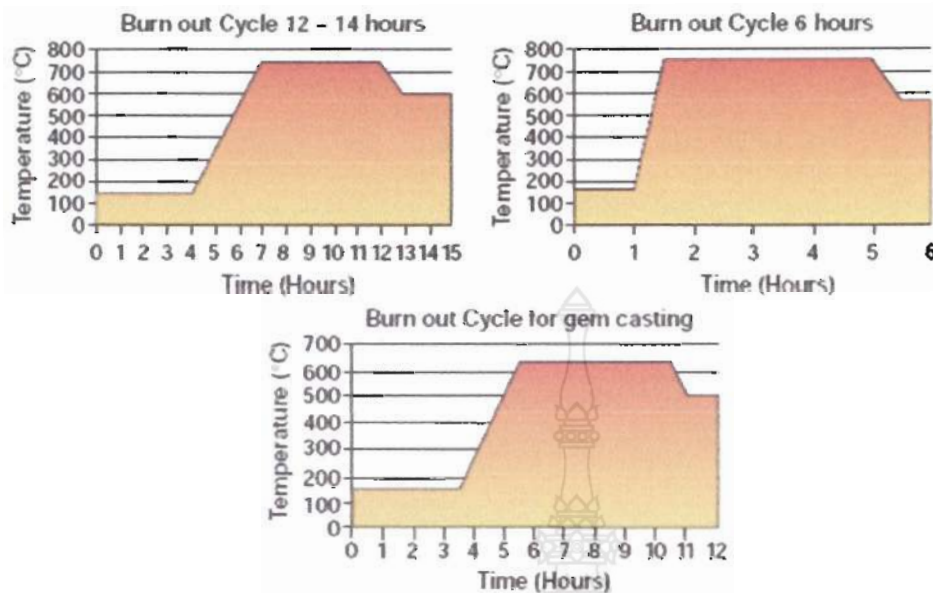
2) การตั้งอุณหภูมิในการอบ อุณหภูมิหล่อโลหะจะต้องมีความสอดคล้องกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ปูนหล่อ เนื่องจากในการหล่อโลหะแม่พิมพ์ซึ่งจะทำหน้าที่รองรับน้ำโลหะควรมีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากนัก มิฉะนั้นแม่พิมพ์จะแตกเสียหายได้ อนึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิหลอมละลายแตกต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิหล่อหรืออุณหภูมิของแม่พิมพ์ จึงต้องมีความแตกต่างกันตามชนิดของโลหะด้วย อาจสรุปได้ดังนี้คือ SILVER มีอุณหภูมิหล่อประมาณ 426 – 454 °C



รูปที่ 2.11 แสดงการจัดเรียงเข้าปูนหล่อเข้าสู่เตาอบ

3) การตั้งเวลาในการอบ ในการอบเผาแม่พิมพ์ มีสูตรการอบเผาหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคผู้ปฏิบัติสรุปหลักการอบเผอย่างกว้างๆ ได้ดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ
- ในบางอุณหภูมิที่สำคัญๆ หรือในกรณีที่มีกรอบเผาไม่เหมือนกันให้คงอุณหภูมินั้นไว้ เพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึง
- ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์ ปริมาณแม่พิมพ์และประสิทธิภาพของเตาอบเผาแม่พิมพ์



รูปที่ 2.12 แสดงอุณหภูมิที่ใช้การทำงานของเครื่องอบ

การอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ จากแผนภูมิที่ 2.12 ในการกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาแต่ละช่วง นั้นต้องตระหนักถึงอุณหภูมิหล่อและปฏิกิริยาต่างๆ สรุปได้ดังนี้

1) ทัศนวิสัยการอบแม่พิมพ์ ในการอบแม่พิมพ์ จะมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ในการอบเอาแม่พิมพ์ ควรเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ในระยะแรกจนถึงประมาณ 200 °C เนื่องจากในแม่พิมพ์ มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100 °C น้ำจะกลายเป็นไอน้ำ และแทรกตัวออกตามช่องว่างของเนื้อปูนหล่อ หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไอน้ำจะขยายตัว โดยมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่าปูนหล่อ การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้เอง ทำให้เกิดแรงดันภายในปูนหล่อ สดุดลายต่าง ๆ ของแม่พิมพ์จะเกิดความเสียหาย และร้ายแรงที่สุดถึงขั้นทำให้แม่พิมพ์แตกร้าวได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำในแม่พิมพ์ส่วนผสมของสารเคมีจากปูนหล่อ มีโซอยู่ในรูปของน้ำบริสุทธิ์ ดังนั้นจุดที่น้ำจะกลายเป็นไอ อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 200 °C ที่เดียว

- ในกรณีที่ไม่มีกรนึ่งเตียน ก่อน แต่นำแม่พิมพ์เข้าอบในเตาอบโดยตรงนั้น ไม่ควรนำแม่พิมพ์เข้าอบในขณะที่เตาอบเย็น แต่ควรนำเข้าไปในขณะที่ภายในเตาอบมีอุณหภูมิประมาณ 150 °C นั่นคือควรทำการอุ่นเตาอบก่อนนำแม่พิมพ์เข้าไปอบเผาเนื่องจากในขณะที่เตาเย็น เมื่อเริ่มต้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 80 °C เติียนจะเริ่มละลายกลายเป็นของเหลว ส่วนหนึ่งจะเริ่มไหลออกมาทางปากทางเข้า แต่ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่ยังคงอยู่ภายในโพรงแบบ ขณะเดียวกันปูนจะเริ่มขยายตัวทำให้รูปปูน

หรือช่องว่างของเนื้อปูนหล่อได้ขึ้น ปูนหล่อจะทำตัวเป็นฟองน้ำดูดซับเทียน ที่มีลักษณะเป็นของเหลวเข้าไปในเนื้อปูนหล่อ และกำจัดออกให้หมดได้ยากแต่นำแม่พิมพ์เข้าเตาอบในขณะที่เตามีอุณหภูมิประมาณ 150 °C เทียน จะละลายเป็นของเหลวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้น้ำจะกลายเป็นไอน้ำ และขยายตัวดันให้เทียน ไหลออกจากแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้นอีกด้วย

- ในการอบเผาแม่พิมพ์ หลังจากเทียนส่วนใหญ่ไหลออกจากทางเข้าและออกของน้ำโลหะ จะมีเทียนอีกส่วนหนึ่งที่ถูกเผาจนกลายเป็นขี้เถ้า ซึ่งสามารถกำจัดออกจนหมด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึงประมาณ 700 °C โดยในการเผาไหม้ขี้เถ้า ซึ่งมีสถานะเป็นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยาออกซิเจน (O) ในอากาศ ทำให้ได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สพิษ

- ในการอบเผา เตาจะมีอุณหภูมิเพิ่มเร็วกว่าอุณหภูมิของกระบอกหล่อ โดยเฉพาะภายในโพรงแบบ ซึ่งยังมีส่วนผสมของน้ำอยู่ในเนื้อปูนหล่อ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกระบอกหลอกับภายในโพรงแบบ อาจแตกต่างกันถึง 50 °C ดังนั้นก่อนการหล่อจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิหล่อน้อยกว่า 1/2 ชั่วโมง ก่อนหล่อโลหะ

- ถ้าแม่พิมพ์ถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 800 °C ยิบซัมซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของปูนหล่อจะแตกตัวออกเป็นซัลเฟตไดออกไซด์ และซัลเฟตไตรออกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดสีผิวโลหะที่หล่อ

2) วิธีการใช้อุณหภูมิในการอบแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของแม่พิมพ์

3) วิธีการคำนวณเชิงวิชาการ แนวทางการคำนวณคำนึงถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อจะต้องมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ออบเข้าปูนหล่อ

Suggested Burnout Cycles

5 Hour Cycle	8 Hour Cycle	12 Hour Cycle
		
2-1/2" x 2-1/2" (63 x 63 mm)	3-1/2" x 4" (89 x 100 mm)	4" x 8" (100 x 200 mm)
1 hour - 300°F/149°C 1 hour - 700°F/371°C 2 hour - 1350°F/732°C 1 hour - Casting Temp.	2 hour - 300°F/149°C 2 hour - 700°F/371°C 3 hour - 1350°F/732°C 1 hour - Casting Temp.	2 hour - 300°F/149°C 2 hour - 700°F/371°C 2 hour - 900°F/482°C 4 hour - 1350°F/732°C 2 hour - Casting Temp.

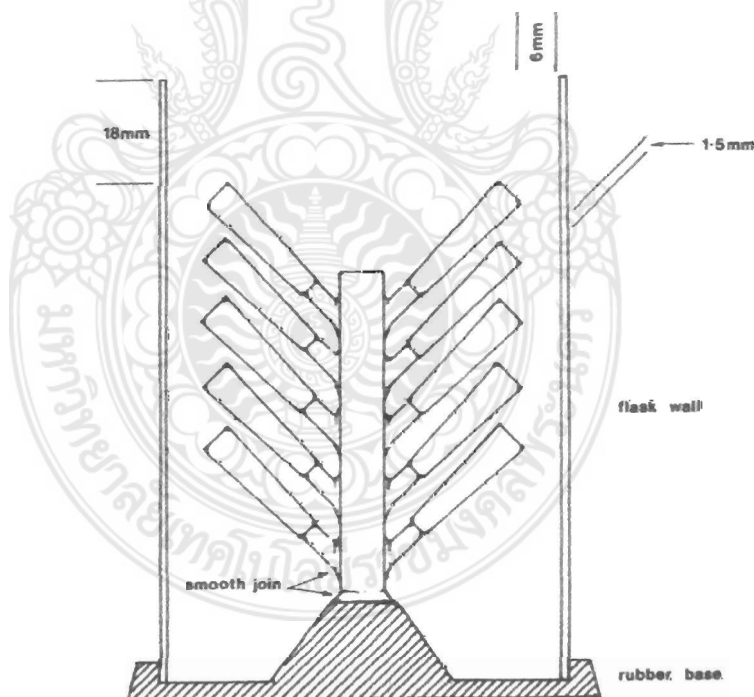
รูปที่ 2.13 แสดงอุณหภูมิมาตรฐานกระบอกหล่อ

ข้อควรระวังในการใช้เตาอบแม่พิมพ์อีกประการหนึ่ง คือ ควรเพิ่มอุณหภูมิของเตาอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์เกิดความเครียดและแตกร้าวได้ง่าย การใช้เครื่องกำจัดเทียน จะเป็นการยืดอายุการใช้งานของเตาอีกวิธีหนึ่ง เพราะจะไม่มีคราบเทียนไปเกาะติดอยู่ตามส่วนต่างๆ ของเตามากเกินไป การใช้เตาอบเผาเข้าในเวลาที่กำลังอบแม่พิมพ์ ไม่ควรเปิดประตูเตาโดยไม่จำเป็น เพราะอาจเกิดอันตรายจากคลื่นความร้อนจำนวนมากจะพุ่งออกมาจากเตา และทำให้เตาต้องใช้พลังงานอีกมากในการปรับอุณหภูมิให้เท่ากับตอนก่อนที่จะเปิดเตา แต่หากมีความจำเป็นที่ต้องเปิดเตา ผู้ปฏิบัติควรหลบอยู่ด้านข้างประตูเตา นอกจากนี้เตาทั่วไปจะมีช่องสำหรับมองเข้าไปภายในเตาอยู่แล้ว โดยไม่ต้องเปิดเตาโดยตรง

2.4 ทางเดินน้ำโลหะ

การจำแนกการติดตั้งทางเดินน้ำโลหะ ทางเดินน้ำโลหะในงานเครื่องประดับแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ดังนี้

1) ลักษณะทางเดินน้ำโลหะแบบกลม เหมาะสำหรับใช้เป็นทางเดินน้ำโลหะกับงานที่มีขนาดเล็ก เรียบไม่ซับซ้อน เนื่องจากรูปร่างเป็นทรงกลมทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ช้ากว่า รูปแบบเหลี่ยมแบน ทำให้น้ำโลหะไหลเข้าชิ้นงานก่อนการแข็งตัวของก้นโลหะ ใช้กับชิ้นงานทั่วไป ตัวอย่าง โลหะตระกูล Yellow Gold, White Gold, Nickel, Silver



รูปที่ 2.14 แสดงการติดตั้งแว็กซ์

2) ลักษณะทางเดินน้ำโลหะแบบช่วงปลายบานออก เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีรูปแบบใหญ่ และ หน้ากว้าง ซึ่งช่วงปลายบานออก จะส่งผลให้น้ำโลหะไหลได้เร็วขึ้น ทำให้ส่วนหน้ากว้างหรือใหญ่แบบ สมบูรณ์ ตัวอย่างโลหะตระกูล Platinum, White Nickel, White Gold, Palladium ไม่เป็นผลดีกับโลหะ ตระกูล Yellow Gold, Silver

3) ลักษณะทางเดินน้ำโลหะแบบ 3 ทาง เหมาะสำหรับงานที่มีสวดวยและลักษณะซับซ้อน และงานที่มีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดอย่างฉับพลัน เนื่องจากบริเวณของชิ้นงานที่มีขนาดไม่เท่ากัน ทำให้ การเย็นตัวของน้ำโลหะไม่พร้อมกัน ถ้าน้ำโลหะไหลผ่านบริเวณที่มีขนาดเล็กน้ำโลหะจะเกิดการแข็งตัวได้ รวดเร็ว ทำให้น้ำโลหะไม่สามารถไหลไปยังส่วนอื่นๆ ได้ ทำให้งานไม่เต็ม ตัวอย่างโลหะตระกูล Yellow Gold, White Gold ส่วนตระกูลอื่นไม่นิยม

4) ลักษณะก้านทางเดินน้ำโลหะแบบบอล ก้านชนิดนี้ทำขึ้นเพื่อใช้งานในงานโลหะประเภท Silver 95% เท่านั้น ด้วยสาเหตุเปอร์เซ็นต์สูงของเนื้อ Silver ทำให้ช่วยลดการหดตัวได้ดี ทำให้งานที่ใช้ โลหะ Silver 95% ไม่พบปัญหาด่างแดง ไม่ด่างหมองคล้ำ ทำหน้าที่สะสมน้ำโลหะเพื่อส่งเข้าชิ้นงานก่อน งานเย็น ลดปัญหาผื่นแดง

2.4.1 การติดต้นเทียน

การติดต้นเทียน คือ การนำตัวแบบเทียน มารวมกันให้เป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบโดยนำไป ติดกับที่ต้นเทียน เพื่อสามารถหล่อชิ้นงานได้ครั้งละจำนวนมาก เป็นการหล่อระบบอุตสาหกรรมลักษณะ การติดต้นเทียนแบ่งออกเป็นหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของงานที่จะนำมาติด ถ้างานมีชิ้นใหญ่ก็จะ ติดแบบสลับฟันปลา หรือ เรียงกันเป็นแถวในแนวดิ่ง ถ้างานชิ้นเล็กก็จะติดเป็นเกรียว หรือเป็นชั้นๆใน แนวอนทั้งนี้การติดต้นเทียนไม่ว่าจะเป็นแบบใดทางเดินน้ำโลหะจะต้องทำมุม 30-60 องศาเซลเซียส กับต้นเทียน เพื่อให้ น้ำโลหะจากการหล่อสามารถเข้าไปในส่วนที่อยู่ลึกที่สุดของต้นเทียนได้สะดวก เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต้นเทียนประกอบ ด้วยฐานยางติดต้นเทียน ที่จับฐานยางติดต้นเทียน ที่สามารถเอียงและหมุนไปเป็นมุมต่างๆ ได้เพื่อความสะดวกสบายในการติดต้นเทียน

1) ฐานยาง เป็นฐานสำหรับใช้ติดหรือประกอบด้วยตัวแบบเทียน การเลือกใช้ฐานยางควรเลือก ให้ฐานยางที่มีขนาดสวมเข้ากับกระบอกล่อได้อย่างพอดี

2) กระบอกล่อ จะเป็นกรอบในการกำหนดความกว้างและความสูงของกลุ่มเทียน โดยให้ ส่วนสูงที่สุดของกลุ่มเทียนจะต้องมีระยะห่างจากขอบด้านบนของกระบอกล่อไม่น้อยกว่า 1/2 นิ้ว และ ตัวแบบเทียนต้องห่างจากผนังกระบอกล่อไม่น้อยกว่า 1/4 นิ้ว เพื่อป้องกันไม่ให้ผนังของแม่พิมพ์ปูนหล่อบาง เกินไป

3) หัวแรงไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับละลายเทียนให้ร้อน และติดตัวแบบเทียน

2.4.2 การคำนวณหน้าพื้นที่ของโลหะ

1) ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ ความถ่วงจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุต่อ น้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน ความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วย แต่เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนัก จากกฎ

ของอาร์คิมิดีสที่ว่า “วัตถุใด ๆ เมื่ออยู่ในน้ำ วัตถุนั้นจะสูญเสียน้ำหนักไปเท่ากับน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่วัตถุนั้นเข้าไปแทนที่”

$$\text{การหาน้ำหนักโลหะ} = \frac{(\text{น้ำหนักต้นเตียน} \times \text{ถ.พ.}) + ((\text{น้ำหนักของเตียน} \times \text{ถ.พ.}) \times 20)}{100}$$

2) การคำนวณหาปริมาณน้ำโลหะ ในทางปฏิบัติสามารถคำนวณน้ำหนักโลหะที่ต้องการใช้ โดยไม่ยุ่งยากมากนัก เนื่องจากได้มีการคำนวณ ค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะชนิดต่าง ๆ ไว้แล้วจึงเพียงแต่นำน้ำหนักของต้นเตียน มาคูณและบวกด้วยส่วนเพิ่มเติมปัจจัยอื่นนี้ จะต้องบวกเพิ่มเข้าไปในน้ำหนักของโลหะที่คำนวณได้ส่วนเพิ่มเหล่านี้คือ ส่วนเพิ่มบริเวณปากทางเข้าของโลหะ ในการหล่อปูนทำแม่พิมพ์ปูนหล่อเมื่อปูนเริ่มจับตัวแข็งดีแล้ว จะนำเอาฐานยาง ออกจากแม่พิมพ์ปูน ซึ่งจะเห็นปากทางเข้าของน้ำโลหะ ที่มีลักษณะเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ มีรูปร่างตามแบบฐานยางที่นำออกไป ส่วนของกลุ่มนี้จะไม่มีส่วนในการคำนวณข้างต้น สำหรับการเพิ่มน้ำหนัก โลหะส่วนนี้จะบวกเพิ่มจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่คำนวณได้

ขั้นตอนการปฏิบัติ

- 1) ก่อนทำการติดต้นเตียนให้ชั่งน้ำหนักของฐานยาง และเขียนน้ำหนักของฐานยางไว้ให้ชัดเจน
- 2) ติดต้นเตียนตามหลักการ
- 3) ชั่งน้ำหนักต้นเตียนที่ติดตั้งบนฐานยาง นำน้ำหนักของฐานยางที่บันทึกไว้มาหักลบออกบันทึกไว้
- 4) คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะที่จะใช้หรือ เปิดตารางตารางสำเร็จ
- 5) คำนวณโลหะที่ต้องการใช้ = ถ.พ. ของโลหะ X น้ำหนักของต้นเตียน
- 6) เมื่อน้ำหนักโลหะ 20% = (ถ.พ. ของโลหะ X น้ำหนักของต้นเตียน) X 20/100
- 7) น้ำหนักโลหะทั้งสิ้น = (ถ.พ. ของโลหะ X น้ำหนักของต้นเตียน) + (ถ.พ. ของโลหะ X น้ำหนักของต้นเตียน) X 20/100)

ข้อแนะนำในการติดต้นเตียน

- ตัวแบบเตียนจะต้องติดแน่นไม่หลุดง่าย ทั้งการติดต้นเตียนแบบแนวเดียวกัน และการติดต้นเตียนแบบสลับกัน หากติดตัวแบบไม่แน่นเมื่อนำไปเทปูนหล่อแบบและดูตฟองอากาศออกจากเนื้อปูนตัวแบบเตียนอาจหลุดออกจากฐานที่ติดได้
- การติดต้นเตียนที่ถี่เกินไปอาจทำให้ผนังปูนแตกร้าวถ้าผนังบางเกินไปโดยเฉพาะความหนาของปูนที่ยอดต้นเตียนควรให้หนามากกว่า 1/2 นิ้ว เพราะแรงดันของน้ำโลหะที่วิ่งไปตามลำต้นเตียนจะชนผนังส่วนนี้ให้แตกร้าวได้
- ก่อนทำการติดต้นเตียน ให้ตกแต่งตัวแบบเตียนให้เรียบร้อยก่อนโดยยึดหลักว่าการตกแต่งเตียนกระทำได้ง่ายกว่าการตกแต่งชิ้นงานโลหะ

- ตัวแบบแว็กซ์ทุกตัวที่ติดกันเตียนจะต้องไม่สัมผัสกัน แต่ต้องอยู่ใกล้เคียงกันที่สุดเพื่อให้มีจำนวนการติดตัวแบบเตียนได้มากที่สุด

2.5 โลหะที่นำมาทำตัวเรือนเครื่องประดับ

คุณสมบัติของโลหะสำหรับการหล่อเครื่องประดับ ในการหล่อเครื่องประดับมักใช้วัสดุจำพวกโลหะ ซึ่งมีทั้งโลหะที่มีค่าและไม่ค่า เช่น ทองแดง ทองเหลือง และโลหะมีค่า เช่น ทองคำ เงิน การจะเลือกโลหะใดมาทำเครื่องประดับจะต้องพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1) ความยาว โลหะที่นำมาใช้ในการทำตัวเรือนเครื่องประดับจะต้องมีความยาวสูง เมื่อผ่านการขัดแล้วทั้งนี้ความยาวหมายถึง การที่ผิวโลหะสามารถสะท้อนแสงได้มากจนมีลักษณะเหมือนกระจกถือว่า โลหะนั้นยาวมาก โลหะเงินเป็นโลหะที่มีความยาวสูง เมื่อผ่านการขัด โดยต้องขัดอย่างถูกวิธี เนื่องจากโลหะเงินมีความแข็งต่ำและเกิดรอยขีดข่วนได้ง่าย เช่นเดียวกับทองคำ ส่วนแพลทินัมต้องใช้เวลานานในการขัด จึงจะมีความยาวเท่ากับโลหะเงิน เนื่องจากมีเนื้อโลหะที่หนาแน่นและแข็งแรง ทองแดงและทองเหลืองเป็นโลหะที่หมองได้เร็ว เพราะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ ดังนั้น เมื่อทำการขัดจนยาวแล้วต้องเคลือบด้วยแล็คเกอร์ เพื่อปกป้องผิวโลหะ

2) ความสามารถดัดโค้งและแผ่ให้เป็นแผ่นบาง ความสามารถดัดโค้งและแผ่ให้เป็นแผ่นบาง คือ การที่โลหะยอมให้มีการดัดโค้งไปมา บิด ริดจนเป็นแผ่นบาง ๆ บิดเป็นเกลียว ดึงเป็นเส้นลวด ตลอดจนถึงรูปใดก็ได้โดยไม่มีการแตกหักหรือร้าวในเนื้อของโลหะ ทองคำเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติข้อนี้มากที่สุด เพราะทองคำบริสุทธิ์ 1 ออนซ์ สามารถดึงเป็นเส้นลวดได้ยาวถึง 35 ไมล์ โลหะเงินบริสุทธิ์มีคุณสมบัตินี้เช่นเดียวกัน แต่น้อยกว่าทองคำ เพราะมีเนื้ออ่อนไม่สามารถทนต่อการสึกหรอ เงินสเตอร์ลิง (Sterling Silver) คือเงินผสมโลหะอื่น ๆ ด้วยจะมีคุณสมบัติในการดัดโค้งและแผ่เป็นแผ่นบางได้น้อยกว่าโลหะเงินบริสุทธิ์ แต่แข็งแรงกว่าจึงมีผู้นำไปทำเครื่องประดับและภาชนะเครื่องเงินต่าง ๆ ส่วนทองแดงบริสุทธิ์มีคุณสมบัติในการดัดโค้ง บิดงอ และตีแผ่เป็นแผ่นได้ดีเช่นกัน แต่ทองแดงมีความแข็งมากกว่าโลหะเงิน เพื่อป้องกันการแตกร้าวของโลหะในระหว่างการผลิต เช่น ทองเหลือง ก่อนนำมาทำเครื่องประดับควรตรวจสอบว่าต้องการ การ anneal มากน้อยเพียงใด เพราะทองเหลืองเป็นโลหะผสมที่มีโลหะอื่นปนอยู่เป็นจำนวนมาก

3) ปฏิกิริยาทางเคมี โลหะโดยทั่วไปเป็นส่วนประกอบทางเคมีของธาตุต่าง ๆ และเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะทำให้หมองหรือเกิดสนิม (Oxides) ซึ่งสามารถทำความสะอาดหรือจัดสนิมในโลหะนั้น ๆ ได้ โดยการล้างในสารละลายกรดบรียาภาค โลหะบางชนิดจะไม่ทำปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศปกติ เช่น ทองคำ จะไม่หมองและไม่เป็นสนิมในบรรยากาศปกติไม่ละลายในกรดต่าง ๆ ยกเว้นกรดกัตทอง (aquaregia) ซึ่งประกอบด้วย กรดไนตริก (Nitric Acid) 1 ส่วนผสมกับกรดเมอเรียติก (Muratic Acid) 3 ส่วน โลหะเงินและทองแดงจะเปลี่ยนเป็นสีดำ เมื่ออยู่ร่วมกับกำมะถันหรือสารประกอบของมัน และจะเกิดสนิม (Oxide) อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน แต่สามารถทำความสะอาดได้ โดยใช้กรดกำมะถันเจือจาง แพลทินัมเป็นโลหะที่ไม่มีสนิม ทองคำผสมก็เกิดสนิมยาก แต่เมื่อใช้งานไปเป็นเวลานาน ๆ จะหมองและดำ สามารถทำความสะอาดได้โดยสารละลายของโพแทสเซียมซัลไฟด์ที่ร้อนพอประมาณ

4) การนำไฟฟ้า โลหะเกือบทุกชนิดจะเป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสื่อไฟฟ้าได้ เงินเป็นโลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด และในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับนำหลักการนี้ไปใช้ในการเคลือบผิวเครื่องประดับด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ทำการเคลือบผิวเครื่องประดับที่ทำจากโลหะไม่มีค่าให้มีผิวเป็นโลหะมีค่า เช่น เคลือบทองเหลือง ดีบุก นิกเกิล ด้วยเงินหรือทองคำ

2.5.1 โลหะเงิน

เงิน (Silver) เงินเป็นโลหะสีขาว มีสมบัติการนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีในธรรมชาติอาจรวมอยู่ในแร่อื่นๆหรืออยู่อิสระ เงินใช้ประโยชน์ในการทำเหรียญ เครื่องประดับ ภาชนะบนโต๊ะอาหาร และอุตสาหกรรมการถ่ายรูป โลหะเงินจัดเป็นโลหะที่มีค่าและมีความขาวมากที่สุดเนื่องจากเนื้อเงินแท้ 100% จะมีความอ่อนนุ่มมาก และง่ายต่อการโดนทำลาย ดังนั้นในการทำเครื่องประดับ จึงจำเป็นต้องมีการผสมด้วยวัสดุอย่างอื่น เพื่อให้สามารถขึ้นรูป และมีความแข็งแรงขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถนำมาทำเป็นเครื่องประดับได้ โดยส่วนใหญ่อีก 7.5% ที่เหลือมักจะใช้ทองแดงมาผสม แต่อาจจะมีบางแห่งที่ใช้วัสดุอย่างอื่นมาผสมแทน แต่ที่ใช้กันมานานจะเป็นทองแดง เนื่องจากราคาไม่แพง และหาได้ง่าย มีอยู่มากมาย ดังนั้นนักออกแบบส่วนมากจะเลือกใช้ทองแดงมาผสมกับเงิน 100 % ที่เรียกกันว่า เงินสเตอร์ลิง (Sterling Silver)

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property)

ลักษณะโดยทั่วไปของโลหะเงิน เป็น โลหะสีขาวมันวาว อ่อนนุ่ม ก้อนโลหะเงินสามารถตีแผ่หรือรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้บางถึง 0.00025 มม

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะเงิน, ทองแดง, อินเดียม, ฟอสฟอรัส คุณสมบัติต่าง ๆ

	เงิน(Ag)	ทองแดง(Cu)	อินเดียม(In)	ฟอสฟอรัส(P)
เลขอะตอม	47	29	49	15
การจัดเรียง อิเล็กตรอน	2,8,18,1	2,8,18,1	2,8,18,18,3	2,8,5
น้ำหนักอะตอม	107.868	63.546	114.82	30.974
จุดหลอมเหลว (°C)	260.8	1083	156.81	44.3
จุดเดือด (°C)	2210	2535	2080	280.7
ความหนาแน่น (g/cm ³)	10.5	8.92	7.31	1.82
รัศมีอะตอม (nm)	0.144	0.128	0.167	0.110
โครงสร้างผลึก	fcc	fcc	hexagonal	trigonal
ความจุความร้อนจำเพาะ (cal/g.°C)	0.0559	0.092	0.0548	0.1835
ความร้อนในการหลอมละลาย (cal/g)	25	30.6	-	-
การนำความร้อน (cal/cm ² /cm ² /s/°C)	1	0.951	-	-
ความแข็ง (HB)	30	37	-	-

คุณสมบัติของโลหะสำหรับการหล่อเครื่องประดับ ในการหล่อเครื่องประดับมักใช้วัสดุจำพวกโลหะซึ่งมีทั้งโลหะที่มีค่าและไม่ค่า เช่น ทองแดง ทองเหลือง และโลหะมีค่า เช่น ทองคำ เงิน การจะเลือกโลหะใดมาทำเครื่องประดับจะต้องพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1) ความขาว โลหะที่นำมาใช้ในการทำตัวเรือนเครื่องประดับจะต้องมีความขาวสูง เมื่อผ่านการขัดแล้วทั้งนี้ความขาวหมายถึง การที่ผิวโลหะสามารถสะท้อนแสงได้มากจนมีลักษณะเหมือนกระจกถือว่า

โลหะนั้นวาวมาก โลหะเงินเป็นโลหะที่มีความวาวสูง เมื่อผ่านการขัด โดยต้องขัดอย่างถูกวิธี เนื่องจากโลหะเงินมีความแข็งต่ำและเกิดรอยขีดข่วนได้ง่าย เช่นเดียวกับทองคำ ส่วนแพลทินัมต้องใช้เวลาในการขัด จึงจะมีความวาวเท่ากับโลหะเงิน เนื่องจากมีเนื้อโลหะที่หนาแน่นและแข็งแรง ทองแดงและทองเหลืองเป็นโลหะที่หมองได้เร็ว เพราะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ ดังนั้น เมื่อทำการขัดจนวาวแล้วต้องเคลือบด้วยแล็คเกอร์ เพื่อปกป้องผิวโลหะ

2) ความสามารถดัดโค้งและแผ่ให้เป็นแผ่นบาง ความสามารถดัดโค้งและแผ่ให้เป็นแผ่นบาง คือการที่โลหะยอมให้มีการดัดโค้งไปมา บีบ รีดจนเป็นแผ่นบาง ๆ บิดเป็นเกลียว ดึงเป็นเส้นลวด ตลอดจนขึ้นรูปได้โดยไม่มีการแตกหักหรือร้าวในเนื้อของโลหะ ทองคำเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติข้อนี้มากที่สุด เพราะทองคำบริสุทธิ์ 1 ออนซ์ สามารถดึงเป็นเส้นลวดได้ยาวถึง 35 ไมล์ โลหะเงินบริสุทธิ์มีคุณสมบัตินี้เช่นเดียวกัน แต่น้อยกว่าทองคำ เพราะมีเนื้ออ่อนไม่สามารถทนต่อการสึกหรอ เงินสเตอร์ลิง (Sterling Silver) คือเงินผสมโลหะอื่น ๆ ด้วยจะมีคุณสมบัติในการดัดโค้งและแผ่เป็นแผ่นบางได้น้อยกว่าโลหะเงินบริสุทธิ์ แต่แข็งแรงกว่าจึงมีผู้นำไปทำเครื่องประดับและภาชนะเครื่องเงินต่าง ๆ ส่วนทองแดงบริสุทธิ์มีคุณสมบัติในการดัดโค้ง บิดงอ และตีแผ่เป็นแผ่นได้ดีเช่นกัน แต่ทองแดงมีความแข็งมากกว่าโลหะเงิน เพื่อป้องกันการแตกร้าวของโลหะในระหว่างการผลิต เช่น ทองเหลือง ก่อนนำมาทำเครื่องประดับควรตรวจสอบว่าต้องการ การ anneal มากน้อยเพียงใด เพราะทองเหลืองเป็นโลหะผสมที่มีโลหะอื่นปนอยู่เป็นจำนวนมาก

3) ปฏิกิริยาทางเคมี โลหะโดยทั่วไปเป็นส่วนประกอบทางเคมีของธาตุต่าง ๆ และเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะทำให้หมองหรือเกิดสนิม (Oxides) ซึ่งสามารถทำความสะอาดหรือขจัดสนิมในโลหะนั้น ๆ ได้ โดยการล้างในสารละลายกรดบรรยากาศ โลหะบางชนิดจะไม่ทำปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศปกติ เช่น ทองคำ จะไม่หมองและไม่เป็นสนิมในบรรยากาศปกติไม่ละลายในกรดต่าง ๆ ยกเว้นกรดกัดทอง (aquaregia) ซึ่งประกอบด้วย กรดไนตริก (Nitric Acid) 1 ส่วนผสมกับกรดเมอเรียติก (Muriatic Acid) 3 ส่วน โลหะเงินและทองแดงจะเปลี่ยนเป็นสีดำ เมื่ออยู่ร่วมกับกำมะถันหรือสารประกอบของมัน และจะเกิดสนิม (Oxide) อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน แต่สามารถทำความสะอาดได้ โดยใช้กรดกำมะถันเจือจาง แพลทินัมเป็นโลหะที่ไม่มีสนิม ทองคำผสมก็เกิดสนิมยาก แต่เมื่อใช้งานไปเป็นเวลานาน ๆ จะหมองและดำ สามารถทำความสะอาดได้โดยสารละลายของโพแทสเซียมซัลไฟด์ที่ร้อนพอประมาณ

4) การนำไฟฟ้า โลหะเกือบทุกชนิดจะเป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสื่อไฟฟ้าได้ เงินเป็นโลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด และในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับนำหลักการนี้ไปใช้ในการเคลือบผิวเครื่องประดับด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ทำการเคลือบผิวเครื่องประดับที่ทำจากโลหะไม่มีค่าให้มีผิวเป็นโลหะมีค่า เช่น เคลือบทองเหลือง ดีบุก นิกเกิล ด้วยเงินหรือทองคำ

ความหนาแน่น (Density)

โลหะเงินบริสุทธิ์มีความหนาแน่นเท่ากับ 10.49 g/cc ที่ อุณหภูมิ 20°C ค่าความหนาแน่นของโลหะเงินยังขึ้นอยู่กับการผลิต การขึ้นรูปและการขึ้น รูปในลักษณะต่าง ๆ อาทิเช่น การหล่อขึ้นรูป การรีด การดัดและการกดลากขึ้นรูป นอกจากนี้ค่าความ หนาแน่นยังขึ้นอยู่กับกรรมวิธีทางความร้อนต่างๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น การอบเป็น เนื้อเดียว

การอบอ่อน และการอบเพิ่มความแข็ง ค่าความหนาแน่นของโลหะเงินที่เปลี่ยนแปลงตาม อุณหภูมิ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความหนาแน่นของโลหะเงินหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
960	9.30
976	9.285
1000	9.259
1043	9.210
1070	9.188
1092	9.200
1094	9.170
1145	9.150
1195	9.100
1250	9.050
1302	9.000

2.6 การหลอมโลหะ

คือการทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวแล้วเทลงในแม่พิมพ์ บ่อยครั้งที่โลหะเย็นตัวและคืนสภาพเป็นของแข็งอีกครั้ง สำหรับการหลอมโลหะให้กลายเป็นของเหลวนั้นจะให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานต่าง ๆ พอสรุปได้ดังนี้

1) การหลอมโลหะโดยใช้เปลวเพลิงโดยตรง เป็นวิธีดั้งเดิมที่ยังใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพราะมีค่าใช้จ่ายน้อย เป็นการใช้เปลวไฟที่ได้จากแก๊สเชื้อเพลิงหลอมโลหะให้ละลายโดยตรง แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ได้แก่แก๊สอะเซทิลีน แก๊สโพรเพน เป็นต้น โดยใช้ร่วมกับแก๊สออกซิเจน เพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ โดยมีหัวผ่านแก๊สเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการปรับหรือบังคับเปลวไฟให้มีปริมาณความร้อนตามต้องการ การหลอมด้วยวิธีนี้ผู้หลอมจะต้องมีความชำนาญในการดูสีหน้าของโลหะว่าใช้ได้หรือไม่ เพราะไม่มีเครื่องมือวัดหรือควบคุมอุณหภูมิในการหลอม ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิในการหลอมละลายของโลหะจะมีหลายระดับ คือ อุณหภูมิหลอมละลาย (Melting Point) เป็นอุณหภูมิที่น้ำโลหะจะไหลได้ดี อุณหภูมิเดือด (Boiling Point) เป็นอุณหภูมิที่น้ำโลหะเริ่มตึงอากาศรอบ ๆ เข้ามารวมตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation น้ำโลหะจะเดือด ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดรูพรุนในชิ้นงานหลอม ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้หลอมโลหะต้อง

หลอมให้ถึงจุดไหลของโลหะ แล้วจึงเริ่มเทลงบนแบบพิมพ์ตามกรรมวิธีการหล่อ ในทางปฏิบัติจะดูผิวหน้าของโลหะที่หลอมละลายให้ในเหมือนผิวหน้าของกระจกเงา จึงจะถือว่าเป็นอุณหภูมิที่ใช้ได้

ข้อควรจำแนกประการหนึ่งในการหลอมโลหะต้องเผาทหรือให้ความร้อนแก่เบ้าหลอมให้เพียงพอก่อนที่จะทำการหลอมโลหะเพื่อให้เบ้าหลอมมีการขยายตัวให้เพียงพอเพราะ อุณหภูมิในการหลอมโลหะจะสูงมาก ตัวเบ้าหลอมขยายตัวไม่ทันจะเกิดการแตกร้าวจะทำให้สูญเสียเบ้าหลอมและโลหะมีค่าที่หลอมด้วย

การหลอมโลหะจากเปลวไฟโดยตรงในเครื่องหล่อตัวเรือนด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และชุดเชื้อเพลิงสำหรับหลอมโลหะ การหลอมโลหะโดยใช้เตาหลอมเป็นกรรมวิธีการหลอมโลหะ โดยใช้เตาหลอมใช้เตาหลอมโลหะที่อาจใช้พลังงานจากไฟฟ้า หรือแก๊ส เป็นการให้ความร้อนหรือเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาหลอม ความร้อนจะค่อย ๆ แพร่เข้าไปถึงโลหะที่อยู่ในเบ้าหลอมหรือ Crucible จนโลหะนั้นละลายเนื่องจากการหลอมลักษณะนี้ไม่ใช่เป็นการให้ความร้อนกับโลหะโดยตรง จึงต้องใช้เวลาลอมโลหะมากกว่าวิธีอื่น ๆ วิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมใช้

2) การหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำ เป็นการหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำจากแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีนี้โลหะจะถูกให้อยู่ในเบ้าหลอมซึ่งถูกล้อมไว้ด้วยขดลวดตัวนำไฟฟ้าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดตัวนำ จะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนสูงมากสามารถละลายหรือหลอมโลหะได้ภายในระยะเวลาสั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำระบบแก๊สเฉื่อยมาใช้ในการหลอมโลหะลักษณะนี้ เพื่อใช้คลุมผิวหน้าของโลหะขณะหลอมละลายเพื่อป้องกันการเกิด Oxidation ของน้ำโลหะอีกด้วยการหลอมโลหะแบบนี้ได้รับความนิยมจากผู้ผลิตเครื่องประดับที่มีคุณภาพสูงอย่างมากในปัจจุบัน

3) จุดหลอมละลายของโลหะ หมายถึง ระดับอุณหภูมิที่ทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะจากของ แข็ง เป็นของเหลว โดยทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มักอยู่ในรูปของโลหะผสม คือ มีโลหะอื่นปะปนอยู่ในส่วนสัดส่วนที่ต่างกันไป เพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการใช้งาน ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับก็เช่นเดียวกัน โลหะที่นำมาใช้มักมีการผสมโลหะอื่น ๆ ลงไปด้วย เพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ทองคำและเงิน โดยโลหะที่นำไปผสมมักมีอุณหภูมิหลอมละลายต่ำกว่าโลหะตั้งต้น โลหะผสมที่ได้จึงนำวิธีการบัดกรีมาใช้ เพื่อให้มีการหลอมละลายเฉพาะบางจุดเท่านั้น (ไม่หลอมละลายทั้งชิ้นงาน)

4) การนำความร้อน คือความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ จากจุดใดจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่งได้รวดเร็วเพียงใด เช่น โลหะเงินมีการนำความร้อนได้ดี นั่นคือเมื่อให้ความร้อนแก่โลหะเงินที่จุดหนึ่ง โลหะเงินสามารถนำความร้อนนั้นไปถึงอีกจุดหนึ่งบนชิ้นงานเดียวกันได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่เดียวกันไม่จะนำความร้อนได้ช้ามาก เมื่อเทียบกับโลหะเงิน ทองแดง ซึ่งเป็นโลหะที่มีการนำความร้อนที่ดี ในการบัดกรีและอบอ่อนจะต้องให้ความร้อนที่เพียงพอและสม่ำเสมอ ทั้งชิ้นงานจึงจะได้ผลที่ดีในชิ้นงานขนาดใหญ่ การบัดกรีเป็นจุดมักทำได้ไม่ดีนักเพราะความร้อนจะถูกกระจายไปในส่วนอื่น ๆ ของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับแพลทินัม เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนไม่ดีนัก จึงบัดกรีเป็นจุดได้ดี โดยไม่ต้องแกะพลอยออกจากตัวเรือน ในกรณีที่เป็นตัวเรือนที่สำเร็จแล้ว เพราะเพชรพลอยเหล่านั้นจะไม่ได้รับความร้อนจากการบัดกรี การศึกษาคุณสมบัติในการหลอมละลายของโลหะจึงมีประโยชน์อย่างมากในงานหล่อ

โลหะทองคำ เงิน และแพลทินัม เป็นโลหะซึ่งใช้ในการหล่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ทองแดงไม่สามารถนำมากหล่อได้ เนื่องจากมีผิวหน้าที่แข็งเกินไป

2.7 การหล่อระบบสุญญากาศ

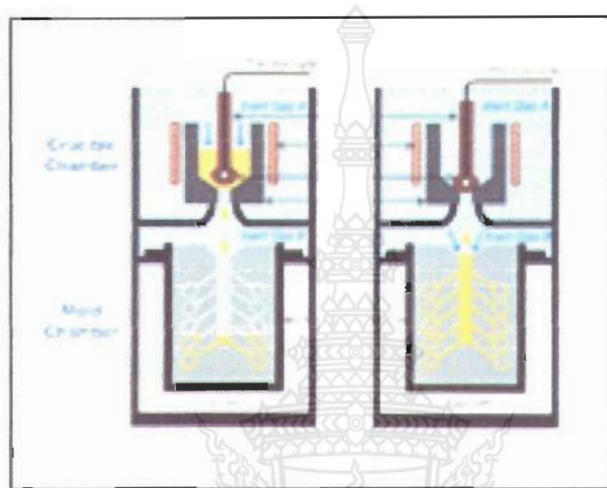
1) ความสำคัญของระบบสุญญากาศ การหล่อเครื่องประดับโดยใช้ระบบสุญญากาศ การนำระบบสุญญากาศมาใช้ในการหล่อโลหะนี้ เป็นวิธีที่พัฒนามาจากการใช้แรงโน้มถ่วงของโลหะช่วยในการหล่อโลหะซึ่งเป็นกรรมวิธีเก่าแก่ โดยการเทน้ำโลหะลงในโพรงแบบโดยตรง แรงดึงดูดของโลกจะดึงให้น้ำโลหะไหลลงไปในโพรงแบบ ซึ่งเหมาะสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่ไม่มีลวดลายซับซ้อนมากนัก แต่ไม่เหมาะสำหรับชิ้นงานเครื่องประดับที่มีขนาดเล็ก และมีลวดลายละเอียดซับซ้อนเพราะน้ำโลหะที่ไหลลงสู่โพรงแบบด้วยแรงดึงดูดของโลกจะไม่สามารถไหลแทรกไปตามลวดลายที่ละเอียดเล็ก ๆ ได้ดี การหล่อโลหะลักษณะนี้จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่ติดมกวิธีหนึ่ง

2) การเกิดความร้อน การเกิดความร้อนโดยใช้การเหนี่ยวนำ เป็นการหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำจากแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีนี้โลหะจะถูกใส่อยู่ในเบ้าหลอมซึ่งถูกล้อมไว้ด้วยขดลวดตัวนำไฟฟ้าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดตัวนำ จะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นสูงมาก สามารถละลายหรือหลอมโลหะได้ภายในระยะเวลาสั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำระบบแก๊สเฉื่อยมาใช้ในการหลอมโลหะลักษณะนี้ เพื่อใช้คุณสมบัติของโลหะขณะหลอมละลายเพื่อป้องกันการเกิด Oxidation ของน้ำโลหะอีกด้วย การหลอมโลหะแบบนี้ได้รับความนิยมจากผู้ผลิตเครื่องประดับที่มีคุณภาพสูงอย่างมากในปัจจุบัน

3) อิทธิพลของสุญญากาศ ระบบสุญญากาศเป็นการประยุกต์นำระบบสุญญากาศเข้ามาช่วยในการหล่อลักษณะนี้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยการดูดอากาศที่อยู่ภายในโพรงแบบออกจนภายในมีสภาพเกือบเป็นสุญญากาศ หรือมีแรงดันอากาศโพรงแบบเกือบเป็นศูนย์ ในขณะที่บรรยากาศภายนอกโพรงแบบยังมีแรงดันเป็นปกติคือ 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว ดังนั้นเมื่อน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบ น้ำโลหะจะไหลไปตามรายละเอียดเล็ก ๆ ได้ดี เนื่องจากภายในโพรงแบบไม่มีแรงดันอากาศต้านการไหลของน้ำโลหะ ทำให้น้ำโลหะไหลลงไปในโพรงแบบด้วยแรงดึงดูดของโลกและแรงดันจากบรรยากาศภายนอก ที่มีมากกว่าภายในโพรงแบบอิทธิพลจากสิ่งเหล่านี้มีผลต่อขั้นตอนการหล่อเช่นเดียวกัน

4) ลักษณะการทำงานของเครื่องหล่อระบบสุญญากาศ ส่วนประกอบที่สำคัญเครื่องหล่อโลหะชนิดนี้มี 2 ลักษณะ คือเครื่องหล่อโลหะด้วยสุญญากาศแบบง่าย ๆ กับเครื่องที่มีการประยุกต์ นำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการหล่อมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น สำหรับเครื่องที่ผลิตขึ้นแบบง่าย ๆ จะประกอบด้วยถังสุญญากาศที่มีช่องสำหรับวางแม่พิมพ์และมีช่องดูดอากาศซึ่งจะต่อกับเครื่องปั๊มอากาศออกจากเครื่อง อุปกรณ์พิเศษอีกชนิดหนึ่งของการหล่อแบบนี้คือกระบอบหล่อ มีลักษณะเป็นกระบอบกลมตรง มีปีกที่บริเวณปากกระบอบ ตัวกระบอบจะถูกเจาะให้เป็นรูไว้ตลอดลำตัวของกระบอบ การทำงานของเครื่องจะเริ่มด้วยการนำแม่พิมพ์วางลงช่องว่างแม่พิมพ์จากนั้นจะทำการดูดอากาศออกจากห้องจนเป็นสุญญากาศ อากาศภายในห้องรวมทั้งอากาศภายในโพรงแบบจะถูกดูดออกเกือบหมด อากาศภายในโพรงแบบจะถูกดูดออกผ่านผนังของแม่พิมพ์ซึ่งเป็นปูนหล่อ ขณะเดียวกันจะทำการหลอมโลหะให้ละลายเป็นของเหลว แล้วนำมากเทลงในแม่พิมพ์น้ำโลหะจะไหลลงในแม่พิมพ์ด้วยแรงดึงดูดของโลหะน้ำหนักของโลหะ และแรงดันบรรยากาศจากภายนอกทำให้น้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบโดยสมบูรณ์ การหล่อวิธีนี้ค่อนข้าง

สะอาดไม่มีเศษวัสดุตกค้างมากนัก แต่มีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องคือ ทางเดินน้ำโลหะต้องมีขนาดใหญ่กว่า การหล่อแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และเครื่องดูดหรือปั๊มอากาศต้องมีกำลังแรงมาก จึงจะสามารถดูดอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังเหมาะกับชิ้นงานที่ไม่บางมาก เช่น ชิ้นงานที่มีหนามเตยมาก ๆ หรือที่มีชิ้นส่วนความบางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร เนื่องจากแรงผลักรน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะทำได้ดีกว่า



รูปที่ 2.15 แสดงหลักการทำงานของเครื่องหล่อระบบสุญญากาศ

ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการหล่อแบบเปิด

การเกิดรูพรุนในงานหล่อ เกิดจากการที่แก๊สหรือเศษวัสดุขนาดเล็กเข้าไปรวมตัวกับโลหะ ทำให้เกิดรูพรุนหรือเศษวัสดุปรากฏที่ผิวของชิ้นงาน ซึ่งมีทั้งผิวด้านบนที่สามารถมองเห็นได้โดยตรง และส่วนที่ลึกลงไปจากผิวหน้าของชิ้นงาน ซึ่งจะมองเห็นได้ เมื่อทำการขัดชิ้นงานแล้ว สาเหตุการเกิดรูพรุนนี้ พอสรุปได้ดังนี้

- 1) ความสมบูรณ์ของทางเดินน้ำโลหะ เช่น การไม่มีขอบเหลี่ยม มุมที่จะถูกกระแทกจากน้ำโลหะแล้วทำให้แตกเป็นเศษวัสดุเล็ก ๆ หรือเกิดการหมุนวน จนเกิดแก๊สปุ้งเข้าไปในโพรงแบบซึ่งจะไปรวมตัวกับน้ำโลหะได้
- 2) การอบเผาแบบแม่พิมพ์ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจเกิดจากอุณหภูมิไม่สูงพอที่จะกำจัดเทียนได้ทั้งหมด อันเนื่องมาจากประสิทธิภาพของเตาอบเผาแบบแม่พิมพ์ไม่ดีพอ หรือการกำหนดเวลาในการเผาไม่ถูกต้อง
- 3) การให้ความร้อนแม่พิมพ์เร็วเกินไป อาจทำให้อิฐที่ก่อกั้นในโพรงแบบขยายตัวไปทำลายลวด ลายที่ละเอียดในโพรงแบบจนแตกออกเป็นเศษวัสดุเล็กๆ และถูกหล่อรวมเข้ากับเนื้อโลหะ
- 4) การใช้กรดบอริกมากเกินไปในการหลอมโลหะก่อนที่จะทำการหล่อ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับโลหะ ทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลขึ้นที่ผิวงานหล่อ แต่สามารถทำความสะอาดได้ด้วยแรงดันไอน้ำ

5) การหลอมโลหะจนมีอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศที่เรียกว่า เกิด Oxidation และโลหะน้ำ จะทำการปฏิกิริยากับอากาศจนเกิดฟอง เมื่อฉีดเข้าไปในโพรงแบบแก๊สต่าง ๆ ที่เข้าไปข้างจะทำให้ผิวของงานเป็นรูพรุน

6) การไม่ใช้กรดบอริกเลย จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation ได้เร็วและง่ายขึ้น เพราะกรดบอริก จะช่วยป้องกันการเกิด Oxidation ได้ดี ขณะที่อุณหภูมิของน้ำโลหะไม่สูงเกินไป

7) ถ้าส่วนผสมของโลหะที่ใช้หล่อไม่ถูกต้อง หรือนำโลหะที่ไม่รู้ส่วนผสมที่แท้จริงมาใช้ จะทำให้การกำหนดอุณหภูมิหล่อหรือปัจจัยต่าง ๆ ในการหล่อไม่ถูกต้อง นอกจากนี้การใช้โลหะเก่ามาผสมไม่ควรใช้มากกว่า 50% โลหะเก่า หมายถึง โลหะที่เคยทำการหล่อหรือเคยหลอมมาแล้ว โลหะเหล่านี้นจะมีส่วนผสมไม่แน่นอน เนื่องจากการหล่อหรือหลอมแต่ละครั้งจะมีโลหะบางส่วนสูญเสียไปในกระบวนการ นอกจากนี้ในขณะที่หลอมโลหะ การใช้วัสดุต่าง ๆ เป็นตัวกวนน้ำโลหะ จะทำให้เศษวัสดุเหล่านี้นปะปนลงไปในเนื้อโลหะที่หลอมควรใช้แท่งคาร์บอนเป็นตัวกวนน้ำโลหะ เพราะจะไม่มีผลกับน้ำโลหะ

แนวทางสำหรับป้องกันและแก้ไขการเกิดพรุน

1) เลือกใช้อุณหภูมิในการหล่อที่ต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาที่เกิดจากการ Oxidation

2) ในกรณีที่หล่อแล้ว น้ำโลหะที่เข้าไปไม่เต็มโพรงแบบ เนื่องจากอุณหภูมิไม่เพียงพอ ให้เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อน การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำโลหะเป็นสิ่งที่ไม่ควรกระทำ เพราะจะมีผลกระทบอื่น ๆ ตามมาอีกมาก

3) การเพิ่มความเร็วยของเครื่องหล่อโลหะ โดยอาศัยแรงเหวี่ยงจะช่วยให้การเข้าสู่โพรงแบบของโลหะน้ำเป็นไปได้ดีขึ้น

4) อย่าหล่อด้วยความรีบร้อน หรือลัดขั้นตอน

5) ตรวจจราณีให้เกิดฟองอากาศ ในตัวแบบเทียน ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่งานหล่อได้

2.8 ทฤษฎีการทำความสะอาดหลังการหล่อ

การทำความสะอาดชิ้นงานหล่อ หลังจากทำการหล่อชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ผู้ปฏิบัติจะนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องหล่อและตั้งรอให้โลหะแข็งตัวและเย็นตัวลง โดยมีข้อแนะนำว่าถ้าเป็นการหล่อทองคำสีหรือทองคำขาว ควรตั้งแม่พิมพ์ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที และถ้าเป็นทองคำสีเหลือง หรือโลหะเงินควรตั้งทิ้งไว้จนโลหะที่มีสีแดงจากการหลอมกลายเป็นสีดำ จากนั้นจึงนำแม่พิมพ์ไปฉีดด้วยน้ำเพื่อทำลายปูนหล่อแบบออกจากกระบอกลหล่อ ปูนหล่อแบบจะแตกออกในทันทีที่ฉีดน้ำ เนื่องจากความร้อนและคุณสมบัติของปูนหล่อแบบ ในปัจจุบันผู้ผลิตมักใช้น้ำที่มีความดันสูงในการฉีดทำลายปูนหล่อ ซึ่งสามารถกำจัดปูนหล่อที่ติดอยู่ในชิ้นงานได้ไม่ยากนัก ข้อควรระวังประการหนึ่งคือ ควรมีสถานที่สำหรับฉีดน้ำทำลายปูนหล่อโดยเฉพาะ โดยมีตะแกรงสำหรับเก็บกักเศษปูนไว้มิให้ไหลไปอุดทางเดินของการระบายน้ำหลังจากการฉีดน้ำทำลายปูนหล่อแล้วจะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะเหมือนต้นเทียน แต่เป็นต้นขี้ผึ้งที่ทำลายโลหะที่หล่อเข้าไปในแม่พิมพ์ ชิ้นงานที่ได้จะมีสีน้ำตาลดำเนื่องจากความร้อนในการหล่อโลหะ ผู้ผลิตจะนำชิ้นงานนี้ไปแช่ใน

สารละลายจำพวกกรด เพื่อทำความสะอาดผิวของชิ้นงาน กรดและเครื่องมือที่ใช้ในการทำ ความสะอาดชิ้นงานมีดังนี้

1) การใช้กรดกัดแก้ว (ไฮโดรฟลูออริกแอซิด) การใช้กรดชนิดนี้มีอันตรายอย่างยิ่ง ผู้ใช้ต้อง ระมัดระวังอย่างมากในการใช้ เนื่องจากเป็นกรดที่มีปฏิกิริยารุนแรงในการกัดผิวโลหะ ส่วนมากมัก ใช้กับงานทองคำและทองคำขาว ในการใช้งานงานกรดกัดแก้วทั่วไปแล้วช่างที่ชำนาญงานหล่อจะ นิยมใช้ในการกัดล้างเนื้อของปูนที่ติดกับต้นชิ้นงานที่ฉีดล้างออกไหม้หมด เนื้อปูนที่ค้างอยู่จะถูกกัด กร่อนหลุดล่อนมาเอง สำหรับเวลาที่ใช้ในการจุ่มล้างปูนจะขึ้นอยู่กับช่วงตั้งแต่ 20 - 30 นาที เท่านั้นถ้ามากกว่านี้ชิ้นงานอาจเกิดรอยดำได้อุณหภูมิของน้ำจมน้ำร้อนอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากชิ้นงาน ที่ผ่านการหล่อและฉีดล้างปูนยังคงมีความร้อนแฝงอยู่การควบคุมอุณหภูมิควรไม่ให้เกิน 50 องศาเซลเซียส พื้นที่ของภาชนะที่จะนำมาใช้กับกรดกัดแก้วต้องเป็นภาชนะที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี และไม่ควรรีใช้ภาชนะที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับกรดเป็นอันตรายในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากจะใช้ พลาสติกขนาดใหญ่ที่มีฝาปิดมิดชิดทั้งนี้เพื่อป้องกันการระเหยและกลิ่นของกรดกัดแก้ว

2) การใช้กรดกำมะถันเจือจาง คือใช้กรดกรดกำมะถัน 2 ส่วน ผสมกับน้ำ 10 ส่วน โดยอาจ ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปเล็กน้อย การจุ่มชิ้นงานในกรดที่ร้อนจะให้ผลดีกว่าจุ่มลงในอุณหภูมิ ปกติ และเมื่อชิ้นงานผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดแล้วจะต้องจุ่มล้างในน้ำสะอาดทันที ในการใช้ งานกรดกำมะถัน ทั่วไปแล้วช่างที่ชำนาญงานหล่อจะนิยมใช้ในการกัดล้างผิวเนื้อที่ติดอยู่กับต้น ชิ้นงานที่ สำหรับเวลาที่ใช้ในการจุ่มล้างปูนจะขึ้นอยู่กับช่วง 2 นาที เท่านั้นถ้ามากกว่านี้ชิ้นงาน อาจเกิดรอยดำได้อุณหภูมิของน้ำจมน้ำร้อนอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากชิ้นงานที่ผ่านการหล่อและฉีดล้าง ปูนยังคงมีความร้อนแฝงอยู่การควบคุมอุณหภูมิควรไม่ให้เกิน 50 องศาเซลเซียส พื้นที่ของ ภาชนะที่จะนำมาใช้กับกรดกำมะถัน ต้องเป็นภาชนะที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีและไม่ควรรีใช้ ภาชนะที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับกรดเป็นอันตราย ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากจะใช้พลาสติก ขนาดใหญ่ที่มีฝาปิดมิดชิดทั้งนี้เพื่อป้องกันการระเหยและกลิ่นของกรดกำมะถัน

การผสมกรดกำมะถัน โดยทั่วไปต้องระมัดระวังเป็นอย่างมากในการผสมต้องตวง อัตราส่วนให้อุณหภูมิของผสมจะต้องใส่น้ำลงภาชนะเป็นอันดับแรกแล้วตามด้วยกรดกำมะถัน ใช้ ไม้หรือพลาสติกคนให้เข้ากัน การใช้งานจนน้ำยาหมดอายุให้ดูที่สีของกรดกำมะถัน สังเกตว่าสีดำ ขึ้นแล้วจึงเปลี่ยนน้ำยาใหม่ได้

นอกจากนี้การกัดผิวชิ้นงานยังสามารถใช้ การใช้กรด Muriatic Acid หรือ กรดเกลือ (กรดไฮโดรคลอริก, HCL) เป็นกรดที่มีปฏิกิริยารุนแรงกว่าชนิดแรก มีอัตราส่วนผสมของกรด 50 ส่วนต่อน้ำสะอาด 50 ส่วน และสามารถใช้งานได้ดีในสภาพที่ให้ความร้อนเช่นเดียวกับชนิดแรก และมีข้อควรระวังเช่นเดียวกับการทำผิวสำเร็จก่อนผึงการขัดเป็นการปรับผิวชิ้นงานให้เรียบร้อย และเกิดความสวยงามการขัดเป็นกรรมวิธีเกือบจะเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการผลิตเป็นการ ตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อยก่อนจะนำไปชุบหรือทำขั้นตอนอื่นๆ ต่อไป

ขั้นตอนในการขัดผิวชิ้นงาน

1) ทำความสะอาดชิ้นงานให้สะอาดก่อนจะนำมาทำการขัดเพราะในการจัดทำต้นแบบ เครื่องประดับที่มีคราบเขม่าหรือคราบสกปรกอื่น ๆ ที่อาจจะทำให้การขัดไม่ได้ประสิทธิภาพ

เท่าที่ควร ซึ่งการทำความสะอาดเบื้องต้นก่อนที่จะทำการขัดทำได้ดังนี้ ใช้ผงซักฟอก และแปรงขัดชิ้นงานให้สะอาด หรือจะทำความสะอาดด้วยการต้มโดยใส่สารทำความสะอาดชิ้นงานเป็นต้น

2) ทำการขัดเบื้องต้นโดยใช้ตะไบหรือกระดาษทรายในการขัด เพื่อปรับผิวชิ้นงานให้เรียบร้อย และสวยงามมากยิ่งขึ้นซึ่งในการขัดในขั้นตอนนี้จะยังมีร่องรอยอยู่เล็กน้อยต้องใช้เครื่องจักรช่วยในการขัดในขั้นต่อไป

3) การขัดให้ชิ้นงานเป็นเงา ซึ่งเป็นการขัดชิ้นงานในขั้นตอนสุดท้ายโดยทั่วไปแล้วจะขัดโดยใช้เครื่องขัดเงาล้อผ้าขัด โดยมียาขัดจนชิ้นงานเป็นเงา ซึ่งในการเลือกเครื่องที่ใช้ในการขัดก็ควรดูลักษณะและประเภทของชิ้นงานตามความเหมาะสมด้วย

ประโยชน์ในการขัดผิวชิ้นงาน

- 1) ทำให้ชิ้นงานมีความสวยงามและเงามากที่สุด
- 2) ชิ้นงานมีคุณค่ามากขึ้น
- 3) เป็นการปรับผิวก่อนที่จะนำไปชุบ
- 4) ทำให้ผิวงานเรียบไม่ขรุขระ
- 5) สามารถที่จะตกแต่งส่วนที่ไม่สวยงามหรือให้ได้ขนาดตามต้องการให้ดีขึ้นในขั้นตอนการขัดได้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมนึก วัฒนศรีกุลและคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางกล, กรรมวิธีทางความร้อน, ความต้านทานการหมองและการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับด้วยวิธีการหล่อโลหะ เงิน + ทองแดง + สังกะสี + ซิลิกอน ด้วยเทคนิคการหล่อในเตาหล่อเหวี่ยงแบบสูญญากาศ โดยกำหนดส่วนผสมของโลหะเงินเจือดังนี้ คือ $93.5\%Ag + 4.5\%Cu + 1.6\%Zn + 0.1\%Si$ ซึ่งมีการแปรผัน มุมทางเดินน้ำโลหะ, ความเร่ง (ความเร็วรอบในการหมุนเหวี่ยง) และอุณหภูมิเทหล่อ พบว่าค่าที่มีแนวโน้มให้สิ่งบกพร่องภายในชิ้นงานน้อยที่สุด คือ มุมรูปเท 65° ความเร่ง 10G และอุณหภูมิเทหล่อ $1050^\circ C$ จากผลการวิจัยที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยมีข้อสังเกตว่าในโครงการดังกล่าวไม่สามารถทำการศึกษาปริมาณของธาตุเจือรอง (Zn, Si) ที่มีผลต่อคุณภาพงานหล่อ ซึ่งตรงกับข้อสงสัยของผู้ประกอบการ SMEs ที่ทำการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงที่ให้ความร้อนด้วยหัวเผา ที่ต้องมีการเติมสังกะสี หรือทองเหลืองเข้าไปในโลหะเงินเพื่อทำหน้าที่เป็นธาตุ Deoxidized หรือไล่แก๊สในน้ำโลหะ

เพ็ญศรี ได้วิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการหล่อในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ปัญหาการผลิตส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นหลัก ปัญหาบุคลากร ปัญหาเครื่องจักร/อุปกรณ์ และปัญหาวัตถุดิบ เป็นปัญหาอันดับรองลงมาตามลำดับ โดยปัญหากระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาหลัก คือการทำแม่พิมพ์หล่อและการหล่อโลหะ กรณีการฉีดเทียนและติดต้น การทำต้นแบบและแม่พิมพ์ยังเป็นปัญหาลำดับรองลงมาตามลำดับ สำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตที่พบมากเป็นข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานหล่อ มีถึง 12 ลักษณะ ข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานเทียน 6 ลักษณะ และข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง 2 ลักษณะ โดยข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละลักษณะ อาจเกิดจากสาเหตุหลากหลายกรณี รวมทั้งได้จัดทำตัวอย่างกรณีศึกษาสำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตลักษณะต่าง ๆ รวม 25 กรณีศึกษา

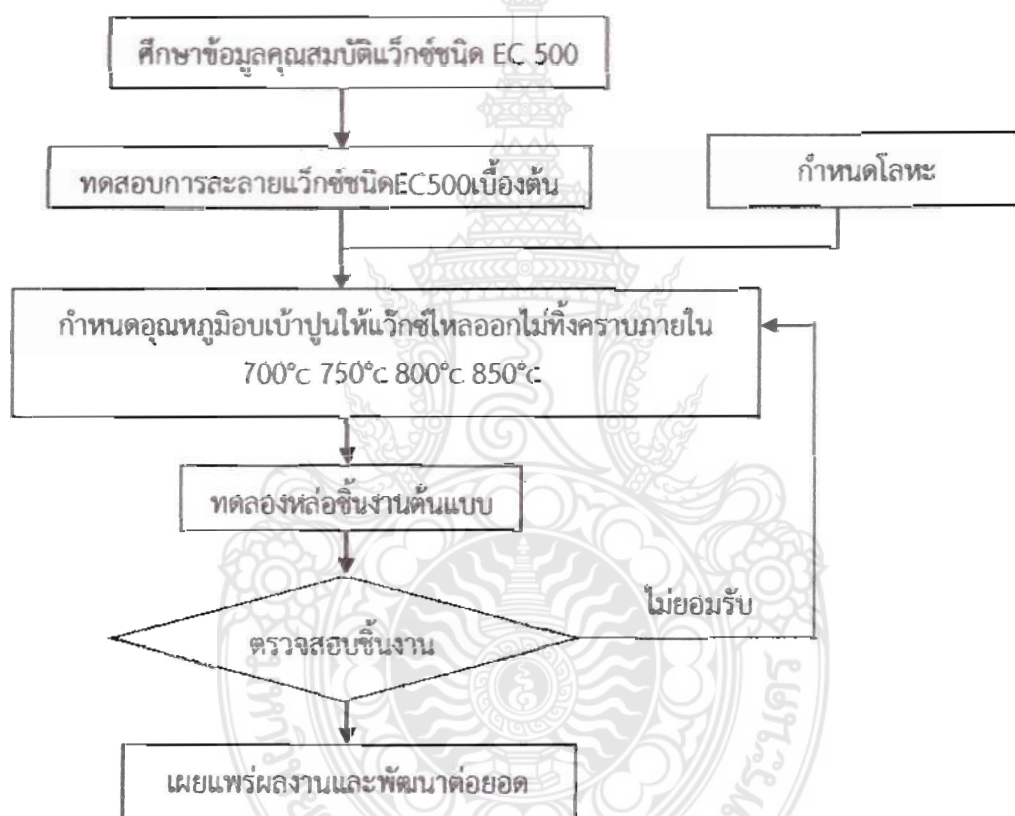
ปริศนา บุญศักดิ์และนายวิเชียร มหาวัน(2558) ได้ทำการศึกษาผลจากการศึกษาการอบเข้าปูนที่ใช้ดินแบบตัวเรือนวัสดุ wic100a เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟการอบเข้าปูนที่มีดินแบบตัวเรือนเป็นแก้วซีเขียวทั่วไป จากการศึกษาพบว่าวัสดุแก้วซีเขียวเมื่อได้รับความร้อนจะรี มหลอมละลายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนหลอมละลายจากก้อนเป็นของเหลวทั้งหมดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถใช้อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้จากมาตรฐานทั่วไปมาใช้ในการอบเข้าปูนเพื่อการจัดแก้วซีได้ โดยใช้อุณหภูมิสูงสุดเพื่อเผาไล่เศษซีเก่าแก้วซีที่ 750 องศาเซลเซียส แต่แก้วซี wic100a ไม่หลอมละลายในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 270 องศาเซลเซียส แต่จะเกิดการเผาไหม้แทนโดยใช้อุณหภูมิเผาให้ตั้งแต่ 270-450 องศาเซลเซียส ในสภาวะปกติ 350-500 องศาเซลเซียสในเมื่ออยู่ในเข้าปูน และต้องใช้อุณหภูมิในการเผาไล่ซีเก่าแก้วซีถึง 850 องศาเซลเซียส เพื่อเผาไล่เศษซีเก่าแก้วซี จึงจะสามารถทำให้โพรงแบบสะอาด เมื่อนำเข้าปูนไปหล่อด้วยโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 แล้วได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ดี



บทที่ 3 วิธีการดำเนิน

3.1 แผนการดำเนินงาน

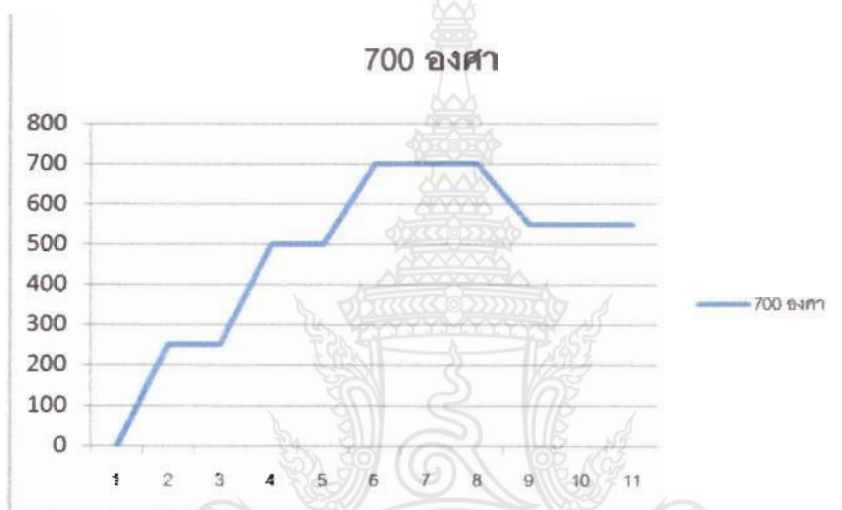
การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการศึกษาอุณหภูมิการหล่อตันแบบแว็กซ์ชนิด EC 500 เพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตเครื่องประดับเงินความสมบูรณ์ของชิ้นงานตัวเรือนโลหะ ส่วนหนึ่งมาจากกระบวนการอบเข้าปูนเพื่อให้แว็กซ์ไหลออกจากเข้าปูน ไม่ให้ทั้งคราบแว็กซ์ตกค้างในเข้าปูนหล่อรองรับน้ำโลหะและทนต่อแรงกระแทกของน้ำโลหะ การอบเข้าปูนจะทำให้เข้าปูนสุกสมบูรณ์เหมาะสมกับแว็กซ์ชนิด EC 500



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

3.2 ออกแบบการทดลอง

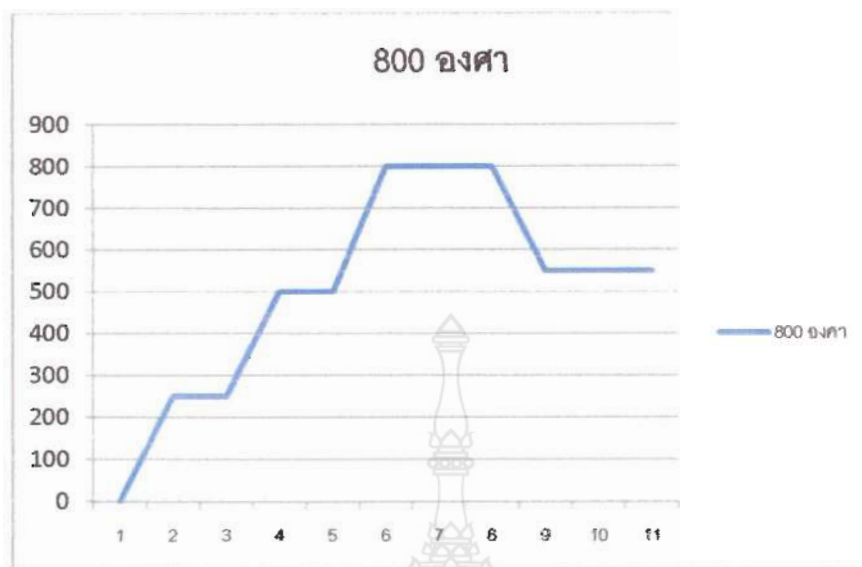
ในการออกแบบการทดลองหาอุณหภูมิอบเข้าปูนเพื่อหล่อเงิน 925 โดยใช้แว็กซ์ EC 500 เป็นต้นแบบในการหล่อชิ้นงาน เนื่องจากปกติใช้อุณหภูมิอบเข้าตั้งแต่เริ่มจนถึงก่อนหล่อใช้เวลา 10-12 ชั่วโมง ในกระบวนการอบเข้าปูนโดยใช้ต้นแบบแว็กซ์ EC 500 นั้นมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าแว็กซ์ปกติ กำหนดจำนวนการทดลองในการออกแบบการทดลองอุณหภูมิการอบเข้าปูนแบ่งเป็น 4 ระดับ ที่ 700°C 750°C 800°C และ 850°C ซึ่งในแต่ละช่วงอุณหภูมิ จะทดลองทั้งหมด 100 ตัวอย่าง ครั้งละ 5 เข้าจำนวน 5 ตัวอย่างต่อเข้า รวมจะได้ 25 ชิ้นต่อช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลองใช้อุณหภูมิหล่อเงินสเตอร์ริง 550°C ดังรูปที่ 3.2-3.5



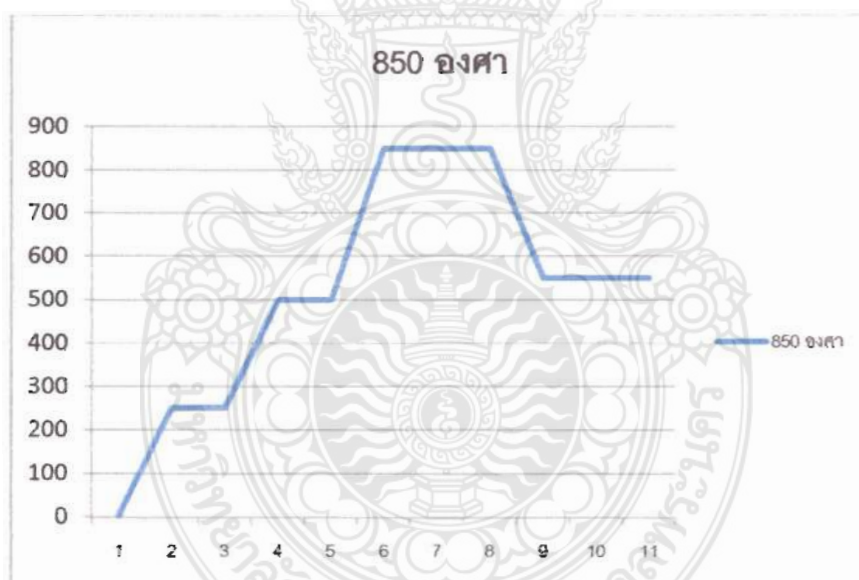
รูปที่ 3.2 การออกแบบการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 700 องศา



รูปที่ 3.3 การออกแบบการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 750 องศา



รูปที่ 3.4 การออกแบบการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 800 องศา



รูปที่ 3.5 การออกแบบการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 850 องศา

3.3 ดำเนินการทดลอง

1. จัดทำชิ้นงานต้นแบบเพื่อทำการทดลอง



รูปที่ 3.6 ต้นแบบแว็กซ์ EC500 ที่ได้จากเครื่อง RP

2. ปูนหล่อแบบ (KerrCats) เป็นปูนประเภทปูนยิปซัมบอนด์เหมาะสำหรับงานหล่อโลหะเงิน หรือทองเหลือง มีส่วนผสมคือวัสดุทนไฟซึ่งประกอบด้วยซิลิกา คริสโตบาลไลต์ (Cristoballite) วัสดุที่มีสมบัติเป็นตัวยึด (binder) คือ ผงยิปซัม ที่มีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (Calcium sulfate hemihydrate) และมีแร่ควอตซ์ (Quartz 14808-60-7 0) เป็นส่วนประกอบเพิ่มเติม



รูปที่ 3.7 ปูนหล่อแบบ

3. นำชิ้นงานที่แว็กซ์ติดเข้ากับทางเดินน้ำโลหะและต้นเทียนประกอบรวมกับฐานยาง



รูปที่ 3.8 ชิ้นงานที่ติดทางเดินน้ำโลหะและต้นเทียน

4. นำต้นแบบที่ได้ทำการประกอบรวมกับฐานยางแล้วนั้น ใส่กระบอกลีกลึกเพื่อทำการเทปูน พร้อมทั้งทำการดูอากาศออกจากปูนโดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ



รูปที่ 3.9 เทปูนลงในเบ้ากระบอกลี

5. นำเบ้าปูนเข้าเตาอบเบ้าต้องอุณหภูมิตามสมมุติฐาน
6. ทำการหล่อเครื่องประดับด้วยเครื่องหล่อดูดสุญญากาศ

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตามช่วงเวลาที่กำหนดและเกณฑ์การประเมินชิ้นงาน

ตรวจชิ้นงานโดยพิจารณาจาก รูปทรงโดยรวมของชิ้นงานมีชิ้นส่วนสมบูรณ์ตามต้นแบบหรือไม่ ผิวของชิ้นงานที่หล่อมาแล้วนั้นสามารถที่จะนำเข้ากระบวนการต่อไปได้หรือไม่ โดยแบ่งเกณฑ์การตัดสินออกเป็นชิ้นงานดี และชิ้นงานเสียโดยชิ้นงานเสียมีเกณฑ์ดังนี้คือ ชิ้นงานไม่เต็ม, ชิ้นงานมีตามดและชิ้นงานมีครีบลอย นอกเหนือจากเกณฑ์ให้ถือเป็นงานดี

เกณฑ์การประเมิน

1. ชิ้นงานไม่เต็ม
2. ชิ้นงานมีตามด
3. ชิ้นงานมีครีบลอย

ตารางที่ 3.1 การเตรียมชิ้นงาน โลหะ น้ำหนักปูนและน้ำ ในการอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 700°C

ชิ้นงาน		จำนวน ชิ้นงาน	น้ำ หนักแวกซ์	น้ำหนัก โลหะ+20%	น้ำหนัก ปูน	น้ำหนัก น้ำ
แหวน	เบ้าที่1 	5ชิ้น	4.1 g	44.62 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่2 	5ชิ้น	3.8 g	38.76 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่3 	5ชิ้น	4.1 g	41.82 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่4 	5ชิ้น	4.2 g	42.84 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่5 	5ชิ้น	4.1 g	41.82 g	500 g	200 cc

ตารางที่ 3.2 การเตรียมชิ้นงาน โลหะ น้ำหนักปูนและน้ำ ในการอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 750°C

ชิ้นงาน		จำนวน ชิ้นงาน	น้ำ หนักแวกซ์	น้ำหนัก โลหะ+20%	น้ำหนัก ปูน	น้ำหนัก น้ำ
แหวน	เบ้าที่1 	5ชิ้น	3.9 g	41.43 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่2 	5ชิ้น	3.8 g	38.76 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่3 	5ชิ้น	3.9 g	41.43 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่4 	5ชิ้น	3.8 g	38.76 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่5 	5ชิ้น	4.1 g	44.62 g	500 g	200 cc

ตารางที่ 3.3 การเตรียมชิ้นงาน โลหะ น้ำหนักปูนและน้ำ ในการอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 800°C

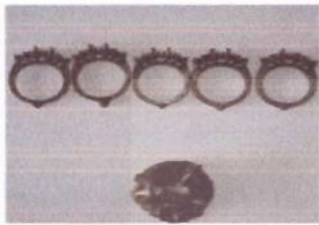
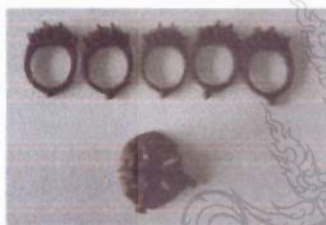
ชิ้นงาน		จำนวน ชิ้นงาน	น้ำ หนักแวกซ์	น้ำหนัก โลหะ+20%	น้ำหนัก ปูน	น้ำหนัก น้ำ
แหวน	เบ้าที่1 	5ชิ้น	3.9 g	41.43 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่2 	5ชิ้น	3.8 g	40.37 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่3 	5ชิ้น	3.7 g	39.31 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่4 	5ชิ้น	3.8 g	38.76 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่5 	5ชิ้น	3.7 g	39.31 g	500 g	200 cc

ตารางที่ 3.4 การเตรียมชิ้นงาน โลหะ น้ำหนักปูนและน้ำ ในการอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 850°C

ชิ้นงาน		จำนวน ชิ้นงาน	น้ำ หนักแวกซ์	น้ำหนัก โลหะ+20%	น้ำหนัก ปูน	น้ำหนัก น้ำ
แหวน	เบ้าที่1 	5ชิ้น	3.7 g	39.31 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่2 	5ชิ้น	3.8 g	38.76 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่3 	5ชิ้น	3.7 g	39.31 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่4 	5ชิ้น	4.1 g	44.62 g	500 g	200 cc
	เบ้าที่5 	5ชิ้น	3.8 g	38.76 g	500 g	200 cc

3.3.2 การบันทึกผลการตรวจสอบชิ้นงานหลังการทดลอง

ตาราง 3.5 บันทึกการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 700°C

เข้าชั้น	จำนวน ชิ้นงาน	ชิ้นงานไม่ เต็ม	มีตามค	มีครีบ โลหะ
	5	1	2	0
	5	0	2	0
	5	2	1	0
	5	2	0	0
	5	2	2	0

ตาราง 3.6 บันทึกการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 750°C

แก้ว	จำนวน ชิ้นงาน	ชิ้นงานไม่ เต็ม	มีตามค	มีคريب โลหะ
	5	1	2	0
	5	2	1	0
	5	3	0	0
	5	0	3	0
	5	0	3	0

ตาราง 3.7 บันทึกการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 800°C

เบ้า	จำนวน ชิ้นงาน	ชิ้นงานไม่ เต็ม	มีตามค	มีริบ โลหะ
	5	0	2	0
	5	0	1	0
	5	0	2	0
	5	1	1	0
	5	1	1	0

ตาราง 3.8 บันทึกการทดลองอบเข้าปูนที่อุณหภูมิ 850°C

เบ้า	จำนวน ชิ้นงาน	ชิ้นงานไม่ เต็ม	มีตามค	มีครีบล โลหะ
	5	0	0	0
	5	0	0	0
	5	0	0	0
	5	0	0	0
	5	1	0	0

3.4 สรุป

เนื้อหาในบทนี้จะเน้นเรื่องของวิธีการทดลองและผลการดำเนินการทดลอง โดยทำการทดลองการใช้แก้ว EC 500 เป็นต้นแบบในการหล่อเพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเข้าปูนและหล่อโลหะเงินโดยแบ่งช่วงอุณหภูมิในการทดลองออกเป็น 4 ช่วง โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองในช่วงอุณหภูมิอบเข้าปูนที่ 700°C และ 750°C พบว่าชิ้นงานมีจุดของเสียมากที่สุดโดยชิ้นงานส่วนใหญ่จะมีตามด และชิ้นงานไม่สมบูรณ์ ในช่วงอุณหภูมิที่ 800°C และ 850°C พบว่าชิ้นงานมีความสมบูรณ์มากที่สุดโดยมีปัญหาที่ชิ้นงานของเสียเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะที่ค่อนข้างเล็กและมีหนามเตยเยอะ จึงทำให้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นมีช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากอุณหภูมิอบเข้าหล่อแก้วปกติ

เมื่อได้ทำการทดลองตามประเด็นการทดลองทั้ง 4 ช่วงอุณหภูมิ จึงได้ข้อมูลของการทดลองตามตารางที่แสดงไว้ทั้ง 4 การทดลอง



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ผลการดำเนินงาน

ผู้วิจัย ได้มุ่งทำการศึกษาทดลองหาอุณหภูมิอบเข้าปูนการหลอมละลายของวัสดุแก้ว EC 500 ในเข้าปูนให้ไหลออกจากเข้าปูนจนหมดโดยไม่ทิ้งคราบแก้วที่อุณหภูมิไม่เกิน 850°C เพื่อศึกษาวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงการอบเข้าปูนเพื่อหล่อต้นแบบตัวเรือนโลหะเงิน 925 ผลของช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้

4.1.1 ผลการทดลองช่วงอุณหภูมิอบเข้าปูนที่ 700°C

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานจากอุณหภูมิเข้าปูนที่ 700°C

อุณหภูมิ	เข้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
700°	เข้าที่ 1	5	2	3
	เข้าที่ 2	5	3	2
	เข้าที่ 3	5	2	3
	เข้าที่ 4	5	3	2
	เข้าที่ 5	5	1	4

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างงานเสียที่อุณหภูมิ 700°C

	- สาเหตุงานชิ้นนี้เกิดจากตามดที่ผิวงานมากมี รุพรุ่นที่บริเวณผิวงาน สาเหตุเกิดจากความร้อนของน้ำโลหะขณะเทลงแบบสัมผัสกับความชื้นของแบบหล่อทำให้เกิดก๊าซขึ้น อุณหภูมิของน้ำโลหะสูงเกินไป หรือกักก๊าซในน้ำโลหะไม่หมด รุบายไม่เหมาะสม
---	--



4.1.2 ผลการทดลองช่วงอุณหภูมิอบเบ้าปูนที่ 750°C

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเบ้าปูนที่ 750°C

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
750°	เบ้าที่ 1	5	2	3
	เบ้าที่ 2	5	2	3
	เบ้าที่ 3	5	2	3
	เบ้าที่ 4	5	2	3
	เบ้าที่ 5	5	2	3

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างงานเสียที่อุณหภูมิ 750°C





4.1.3 ผลการทดลองช่วงอุณหภูมิอบเข้าปูนที่ 800°C

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเข้าปูนที่ 800°C

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
800°	เบ้าที่ 1	5	3	2
	เบ้าที่ 2	5	4	1
	เบ้าที่ 3	5	3	2
	เบ้าที่ 4	5	3	2
	เบ้าที่ 5	5	3	2

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างงานเสียที่อุณหภูมิ 800°C





4.1.4 ผลการทดลองช่วงอุณหภูมิอบเบ้าปูนที่ 850°C

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ผลจากชิ้นงานที่หล่อจากอุณหภูมิเบ้าปูนที่ 850°C

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
850°	เบ้าที่ 1	5	5	0
	เบ้าที่ 2	5	5	0
	เบ้าที่ 3	5	5	0
	เบ้าที่ 4	5	5	0
	เบ้าที่ 5	5	4	1

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างงานเสียที่อุณหภูมิ 850°C



4.2 ผลการทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยจากชิ้นงานที่ทำการทดสอบ

อุณหภูมิที่ใช้ออบเข้าปูนที่มีจากแวกซ์ EC 500 เป็นต้นแบบนั้นมีผลทำให้ชิ้นงานที่ออกมาจากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ออบเข้าปูนที่มีจากแวกซ์ EC 500 เป็นต้นแบบนั้นมีผลทำให้ชิ้นงานที่ออกมามีความสมบูรณ์มากหรือน้อยโดยใช้เกณฑ์การประเมินลักษณะของชิ้นงานทั้งหมด 100 ตัวอย่างดังรูปที่ 4.1

เข้าหล่อ อุณหภูมิ	เข้าที่1		เข้าที่2		เข้าที่3		เข้าที่4		เข้าที่5	
	ดี	เสีย	ดี	เสีย	ดี	เสีย	ดี	เสีย	ดี	เสีย
อุณหภูมิ 700°C	2	3	3	2	2	3	3	2	1	4
อุณหภูมิ 750°C	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
อุณหภูมิ 800°C	3	2	4	1	3	2	3	2	3	2
อุณหภูมิ 850°C	5	-	5	-	5	-	5	-	4	1

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบงานดี งานเสีย

4.3 การวิเคราะห์ผลของช่วงอุณหภูมิ

วิเคราะห์อุณหภูมิในการอบเข้าปูนวัสดุต้นแบบเป็น EC500			
อุณหภูมิ 700°C	จำนวนชิ้นงาน 25 ชิ้น	ชิ้นงานดี 40%	ชิ้นงานเสีย 60%
อุณหภูมิ 750°C	จำนวนชิ้นงาน 25 ชิ้น	ชิ้นงานดี 44%	ชิ้นงานเสีย 56%
อุณหภูมิ 800°C	จำนวนชิ้นงาน 25 ชิ้น	ชิ้นงานดี 68%	ชิ้นงานเสีย 32%
อุณหภูมิ 850°C	จำนวนชิ้นงาน 25 ชิ้น	ชิ้นงานดี 99%	ชิ้นงานเสีย 1%

รูปที่ 4.2 วิเคราะห์อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบเข้าปูนด้วยแวกซ์ EC500

ผลของการทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยจากการตรวจสอบคุณภาพผิวและผลเชิงคุณภาพเพื่อหาค่าของเสียจากการตรวจสอบคุณภาพผิว ให้ผลจากการทดลองมีความสัมพันธ์กันเข้าปูนไม่มีเนื้อแวกซ์ตกค้างหลงเหลืออยู่คือ จากการทดลองการอบเข้าปูนหล่อที่อุณหภูมิไม่เกิน 850°C พบว่ามีชิ้นงานดี 99 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 99% ชิ้นงานเสีย 1 ตัวอย่าง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 1%

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลองหาอุณหภูมิการอบเข้าปูนเพื่อหล่อต้นแบบแวกซ์ชนิด EC500 โดยใช้ โลหะเงินสเตอร์ลิง 925 ในการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ ผู้วิจัยได้ทดลองและวิเคราะห์ผลเป็นไปตามวัตถุประสงค์

5.1 สรุปผล

1. แวกซ์ EC500 สามารถอบให้ไหลออกจากเข้าปูนหล่อแบบที่อุณหภูมิ ไม่เกิน 850 องศาเซลเซียส
2. แวกซ์ EC500 สามารถใช้วัสดุเงินสเตอร์ลิง 925 หล่อตัวเรือนได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

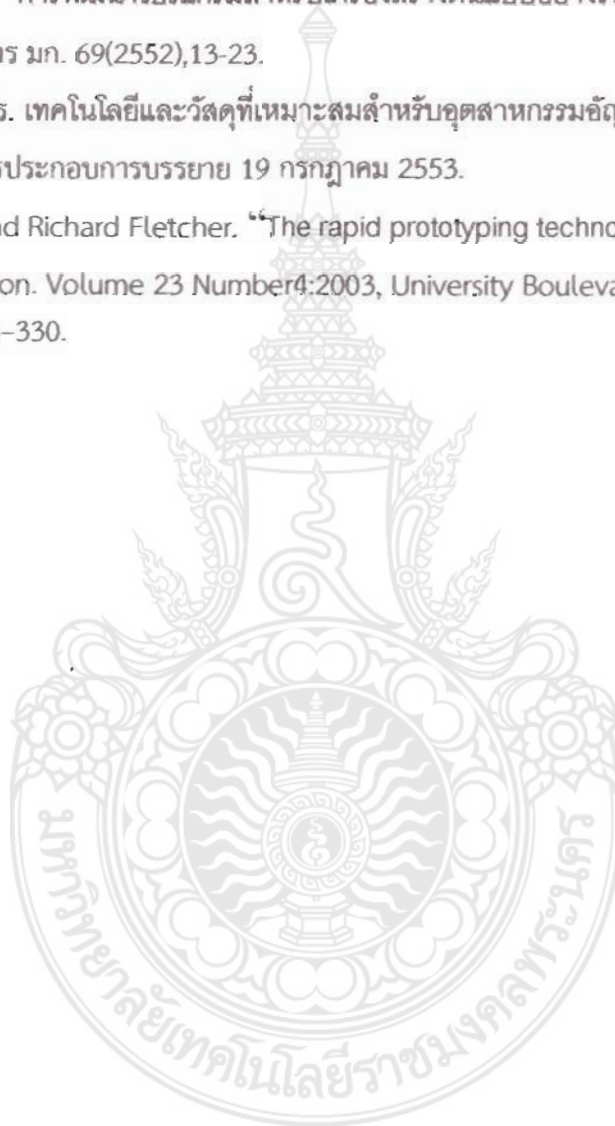
1. ในกระบวนการทำแม่พิมพ์ปูนหล่อต้นแบบจากวัสดุแวกซ์ EC500 ต้องใช้ปูนหล่อแบบชนิดที่ทนความร้อนสูงในการหล่อเช่น ปูนหล่อแบบโลหะแพลเลเดียมหรือแพลตินัมแทน
2. รูปแบบของชิ้นงานต้นแบบควรไม่ควรมีความซับซ้อนมากนัก เช่น หนามเตยที่มากกว่าปกติ
3. ปรับขนาดทางเดินน้ำโลหะให้ใหญ่ขึ้นกว่าต้นแบบซึ่งมีผลต่อการไหลออกของแวกซ์
4. ช่วงเวลาการเพิ่มอุณหภูมิต้องมีความสัมพันธ์กัน เพื่อป้องกันการแตกของปูน
5. ควรเห็นความสำคัญของการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยทุกครั้ง
6. ควรใช้เครื่องหล่อที่มีระบบปิดในการแก้ปัญหาข้อผิดพลาดต่าง ๆ

5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. ชิ้นงานไม่เต็มเนื่องจากลักษณะชิ้นงานและอุณหภูมิหล่อไม่สัมพันธ์กันจึงต้องเพิ่มอุณหภูมิสังเกตจากในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้นชิ้นงานมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น
2. รูพรุนในเนื้อโลหะและผิวงานเกิดจากก๊าซออกซิเจนภายในเนื้อโลหะถูกปล่อยออกมาในขณะที่เย็นตัว ดังนั้นควรกำจัดก๊าซออกซิเจน

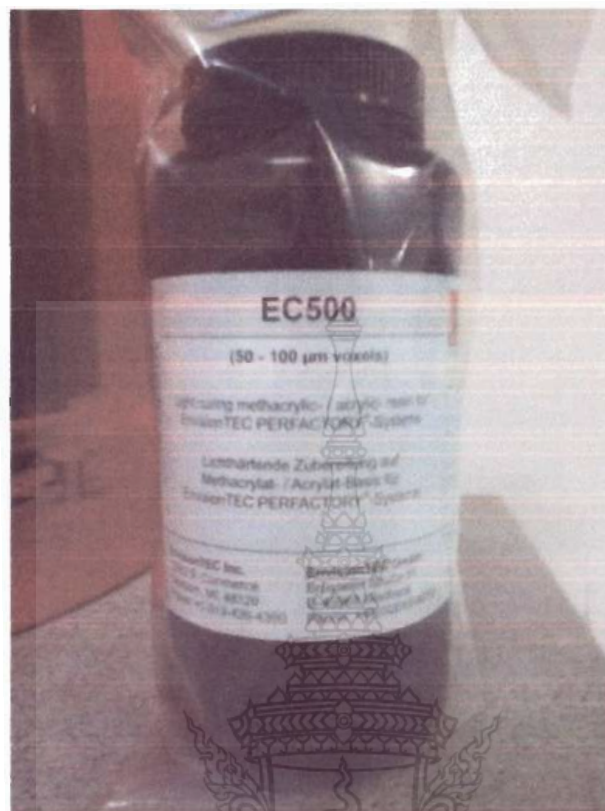
บรรณานุกรม

- 1.กิตตินาถ วรณิสสร, และคุณยุต เอี่ยมสะอาด. การสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบรวดเร็วด้วยเทคโนโลยีการขึ้นรูปทีละชั้น. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ประจำปี 2552.
- 2.คุณยุต เอี่ยมสะอาด. “การพัฒนาโปรแกรมสำหรับเครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว ภาคคำนวณ”วิศวกรรมสาร มก. 69(2552),13-23.
- 3.เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร. เทคโนโลยีและวัสดุที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมอัดฉีดและเครื่องประดับ.เอกสารประกอบการบรรยาย 19 กรกฎาคม 2553.
- 4.Steve Upcraft, and Richard Fletcher. “The rapid prototyping technologies” AssemblyAutomation. Volume 23 Number4:2003, University Boulevard, Nottingham.pp.318–330.



ภาคผนวก





แว็กซ์ EC500 ชนิดเหลว



หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแจ้ง
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.วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
คอ.บ. อุตสาหการ-เครื่องมือกล
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างวุฒิการศึกษา)
- งานหล่อเครื่องประดับ
- งานหล่อเครื่องประดับขั้นสูง
- งานแม่พิมพ์ยาง
- งานทำต้นแบบแว็กซ์
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิชาการในประเทศ โดยระบุสถานะในการทำวิจัย
 1. ผู้อำนวยการวิจัย : ไม่มี
 2. หัวหน้าโครงการวิจัย : ไม่มี
 3. งานวิจัยที่ทำแล้วเสร็จ :
 1. การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง งานหล่อเครื่องประดับ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2550
 2. การวิจัยและพัฒนาการหล่อลุ่มเหนียวเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง
สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย 2557.
 3. การวิจัยและพัฒนาโลหะเงินเจือสีชมพูเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง
สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย 2558.

