



รายงานผลการวิจัย

การศึกษาปัญหาในงานหล่อ

เพื่อการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่
Study of casting problems for solution on the development
Of modern jewelry casting

ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์
นายวิเชียร มหาวัน

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ปี พ.ศ. 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โครงการวิจัย : การวิจัยปัญหาในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อ
เครื่องประดับสมัยใหม่

ผู้วิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริศนา บุญศักดิ์และนายวิเชียร มหาวัน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาในงานหล่อและพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่ ที่มีการสร้างต้นแบบตัวเรือนเครื่องประดับจากกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีการขึ้นรูปด้วยเครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototype Machine) ด้วยวัสดุแก้ว wic100a โดยทำการศึกษาอุณหภูมิการอบเข้าปูน เพื่อกำจัดแก้วออกจากเข้าปูนให้สมบูรณ์ แล้วทดลองนำไปหล่อเป็นตัวเรือนโลหะ

ผลจากการศึกษาการอบเข้าปูนที่ใช้ต้นแบบตัวเรือนวัสดุ wic100a เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟการอบเข้าปูนที่มีต้นแบบตัวเรือนเป็นแก้วเสียทั่วไป จากการศึกษาพบว่าวัสดุแก้วเขียวเมื่อได้รับความร้อนจะเริ่มหลอมละลายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนหลอมละลายจากก้อนเป็นของเหลวทั้งหมดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถใช้อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้จากมาตรฐานทั่วไปนำมาใช้ในการอบเข้าปูนเพื่อกำจัดแก้วได้ โดยใช้อุณหภูมิสูงสุดเพื่อเผาไล่เศษซีเมนต์แก้วที่ 750 องศาเซลเซียส แต่แก้ว wic100a ไม่หลอมละลายในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 270 องศาเซลเซียส แต่จะเกิดการเผาไหม้แทนโดยใช้อุณหภูมิเผาให้ตั้งแต่ 270-450 องศาเซลเซียส ในสภาวะปกติ 350-500 องศาเซลเซียสในเมื่ออยู่ในเข้าปูน และต้องใช้อุณหภูมิในการเผาไล่ซีเมนต์แก้วถึง 850 องศาเซลเซียส เพื่อเผาไล่เศษซีเมนต์แก้ว จึงจะสามารถทำให้โพรงแบบสะอาด เมื่อนำเข้าปูนไปหล่อด้วยโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 แล้วได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ดี

คำสำคัญ : Rapid prototype Wic100a

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร รวมถึงอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์ เครื่องประดับ ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัย ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ได้ให้ทุนสนับสนุน จนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
2.2 เครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว Rapid Prototype	3
2.3 Rapid Prototype ในงานอุตสาหกรรมเครื่องประดับ	9
2.4 ปูนสำหรับหล่อเครื่องประดับ	10
2.5 การเทเข้าปูน	11
2.6 เตาอบเข้าปูน	13
2.7 ระบบการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	16
2.8 โลหะเงินสเตอร์ลิง 925	17
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานการวิจัย	
3.1 แผนการดำเนินงาน	21
3.2 การดำเนินการทดลองศึกษาพฤติกรรมการหลอมละลายของแว็กซ์ wic100a ในสภาวะปกติ	22
3.3 การดำเนินการทดลองศึกษาพฤติกรรมการหลอมละลายของแว็กซ์ wic100a ในสภาวะในเข้าปูน	25
3.4 สรุป	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์	
4.1 ผลการวิเคราะห์ทดลองหาอุณหภูมิการหลอมละลายของวัสดุแก้ว wic100a ในสถานะปกติ	32
4.2 ผลการวิเคราะห์ทดลองหาอุณหภูมิการหลอมละลายของวัสดุแก้ว wic100a ในสถานะในแก้วปูนโดยการอบแก้ว	33
4.3 ทดสอบกราฟอุณหภูมิและเวลาที่ได้จากการวิเคราะห์	35
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุป	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก	38



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงคุณสมบัติของเงินเจือประเภทต่างๆ	18
3.1	การเปลี่ยนแปลงสภาพของเร็กซ์เขียวทั่วไปกับเร็กซ์ wic100a	24
3.2	ผลการทดลองช่วงดีเร็กซ์ของ wic100a หลังช่วงอบไล่ความชื้นที่ 250 °C	28
3.3	ผลการทดลองช่วงเผาไล่เศษเร็กซ์ (Burn) ที่ 450 °C	30

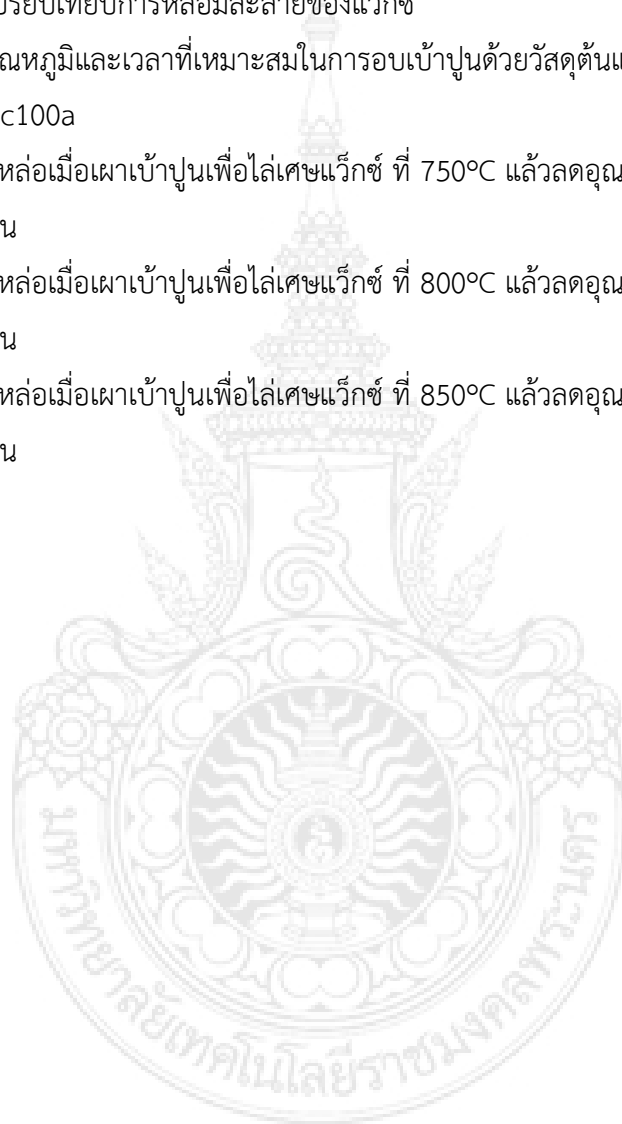


สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Stereolithography Apparatus (SLA)	4
2.2 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธี PolyJet	5
2.3 ชิ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Selective Laser Sintering (SLS)	6
2.4 ชิ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Laminated Object Manufacturing (LOM)	7
2.5 ชิ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Fused Deposition Modeling (FDM)	8
2.6 ชิ้นงานจากเครื่อง RP ที่สามารถนำไป Lost-Wax ได้	9
2.7 ชิ้นงานจากเครื่อง RP ที่ไม่สามารถนำไป Lost-Wax ได้แต่นำไปทำแม่พิมพ์ยาง	9
2.8 ตัวอย่างปูนสำหรับหล่อตัวเรือนเครื่องประดับที่มีจำหน่ายภายในประเทศ	11
2.9 เบ้าสำหรับเทปูน	12
2.10 การติดทางเดินน้ำโลหะและการใช้เบ้าเหล็กครอบต้นเทียน	12
2.11 แสดงการเทปูนลงในเบ้าปูน	12
2.12 เบ้าปูนที่เทปูนแล้ว	13
2.13 เตาอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ	13
2.14 ตัวอย่างอุณหภูมิการทำงานของเตาอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ	14
2.15 การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ	15
2.16 เครื่องหล่อเหียงหนีศูนย์กลาง	16
3.1 แผนการดำเนินงาน	21
3.2 แร็กซ์เขียวทั่วไปที่นิยมนำมาทำต้นแบบตัวเรือน	22
3.3 แร็กซ์เหลว WIC 100A ที่ผ่านกระบวนการ จนเป็นต้นแบบตัวเรือน	22
3.4 เตาอบเบ้าปูนขนาดเล็ก	23
3.5 ปืนวัดอุณหภูมิ	23
3.6 แสดงตัวอย่างแร็กซ์ที่แข็งตัวแล้วของ wic100a และ แร็กซ์เขียวทั่วไป	23
3.7 แสดงการนำตัวอย่างเข้าเตาอบขนาดเล็ก แล้วให้ความร้อน	23
3.8 แสดงปฏิกิริยาของแร็กซ์เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น	24
3.9 แสดงการเผาไหม้เศษตัวอย่างแร็กซ์จนหมด	24
3.10 ออกแบบชิ้นงานทดสอบ พร้อมการวางตำแหน่งในการเทเบ้าปูน	25
3.11 สร้างต้นแบบตัวเรือนจากวัสดุแร็กซ์ WIC 100A	25
3.12 ติดต้นติดต้นเทียน โดยกำหนดให้ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งสะดวกในการผ่าเบ้า	26
3.13 ทำการผสมปูนและเทปูนหล่อ	26
3.14 นำเบ้าปูนที่เซ็ตตัวแล้วเข้าตู้อบเบ้าปูน	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.15	แสดงการผ่าเข้าปูน	27
3.16	อุณหภูมิการตีแวกซ์	27
3.17	ช่วงอุณหภูมิการเผาไล่เศษแวกซ์ (Burn)	29
4.1	กราฟเปรียบเทียบการหลอมละลายของแวกซ์	33
4.2	กราฟอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบเข้าปูนด้วยวัสดุต้นแบบตัวเรือนเป็น wic100a	34
4.3	ชิ้นงานหล่อเมื่อเผาเข้าปูนเพื่อไล่เศษแวกซ์ ที่ 750°C แล้วลดอุณหภูมิเพื่อเทโลหะเงิน	35
4.4	ชิ้นงานหล่อเมื่อเผาเข้าปูนเพื่อไล่เศษแวกซ์ ที่ 800°C แล้วลดอุณหภูมิเพื่อเทโลหะเงิน	35
4.5	ชิ้นงานหล่อเมื่อเผาเข้าปูนเพื่อไล่เศษแวกซ์ ที่ 850°C แล้วลดอุณหภูมิเพื่อเทโลหะเงิน	35



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่พัฒนาทุกวงการอุตสาหกรรม วงการอุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะ และเครื่องประดับก็ได้รับประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อช่วยในการผลิต เพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพิ่มขึ้น แต่ก็ต้องใช้ต้นทุนที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน การนำเข้าเทคโนโลยีและเครื่องจักรจึงกลายเป็นต้นทุนที่เพิ่มขึ้นของผู้ประกอบการ แต่เพื่อให้สามารถแข่งขันหรือสร้างโอกาสทางการค้า ผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมอัจฉริยะต่างยินยอมที่จะลงทุนในการพัฒนาทั้งทางด้านเครื่องจักร กระบวนการผลิต และบุคลากร เพื่อให้การประกอบกิจการเกิดผลกำไรสูงสุด เป็นทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการที่มีกำลังซื้อหรือขีดความสามารถในด้านการลงทุน

ปัจจุบันได้มีวิธีการสร้างต้นแบบตัวเรือนเครื่องประดับด้วยเทคโนโลยี เครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototype Machine) ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการผลิตต้นแบบตัวเรือนแว็กซ์ สามารถสร้างต้นแบบที่มีรูปร่างซับซ้อนได้เป็นอย่างดี โดยใช้วัสดุเป็นแว็กซ์เหลว เมื่อผ่านกระบวนการจากเครื่องจักร ชนิดลำแสงยูวี ทำให้แว็กซ์เหลวแข็งตัวกลายเป็นของแข็งรูปร่างชิ้นงานตามต้องการ สามารถออกแบบและผลิตต้นแบบตัวเรือนแว็กซ์เครื่องประดับสมัยใหม่ได้เป็นอย่างดี

กระบวนการผลิตตัวเรือนโลหะเครื่องประดับเมื่อได้ต้นแบบแว็กซ์ ก็จะเป็นกระบวนการเทปูนเพื่อหุ้มต้นแบบแว็กซ์ไว้ภายในเข้าปูนและนำเข้าปูนไปอบให้ความร้อนเพื่อกำจัดแว็กซ์ที่เป็นต้นแบบออกจากเข้าปูนแล้วทำการเทน้ำโลหะเข้าแทนที่แว็กซ์ที่ถูกกำจัดออกไป ก็จะได้ตัวเรือนโลหะรูปทรงเหมือนต้นแบบแว็กซ์

ต้นแบบตัวเรือนแว็กซ์ที่ได้จากการบวนการสร้างด้วยเครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว วัสดุเป็นแว็กซ์ wic100a เมื่อผ่านกระบวนการหล่อตัวเรือนด้วยวิธีการปกติเหมือนกับที่ใช้ต้นแบบตัวเรือนเป็นแว็กซ์ทั่วไปตามท้องตลาด มักจะเกิดคราบดำบนชิ้นงาน เกิดตามมด เกิดรูพรุน การหล่อขึ้นที่ไม่สมบูรณ์ด้วยเป็นเพราะวัสดุผลิตตัวเรือนต้นแบบมีคุณสมบัติแตกต่างจากต้นแบบตัวเรือนแว็กซ์ที่ใช้กันปกติทั่วไป ซึ่งยังไม่มีการพัฒนาหาแนวในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการหล่อตัวเรือนโลหะที่ใช้ต้นแบบจากวัสดุแว็กซ์ wic100a ทำให้เกิดการสูญเสียทางด้านเวลาที่ต้องแก้ไขชิ้นงาน เกิดการเสียโอกาสทางธุรกิจ อุตสาหกรรมเครื่องประดับด้านการแข่งขันทางด้านเวลาการผลิต จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานหล่อจากต้นแบบตัวเรือนที่ได้จากแว็กซ์ wic100a

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัญหาการหล่อไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้น ในตัวเรือนโลหะจากต้นแบบ
แว็กซ์ที่ได้จากวัสดุแว็กซ์ wic100a

1.2.2 เพื่อศึกษาช่วงอุณหภูมิการหลอมละลายของต้นแบบแว็กซ์ในขั้นตอนการอบเข้าปูน

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบความสมบูรณ์ของชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาพัฒนากระบวนการอบเข้าปูนโดยใช้ต้นแบบตัวเรือนแว็กซ์จากวัสดุ wic100a

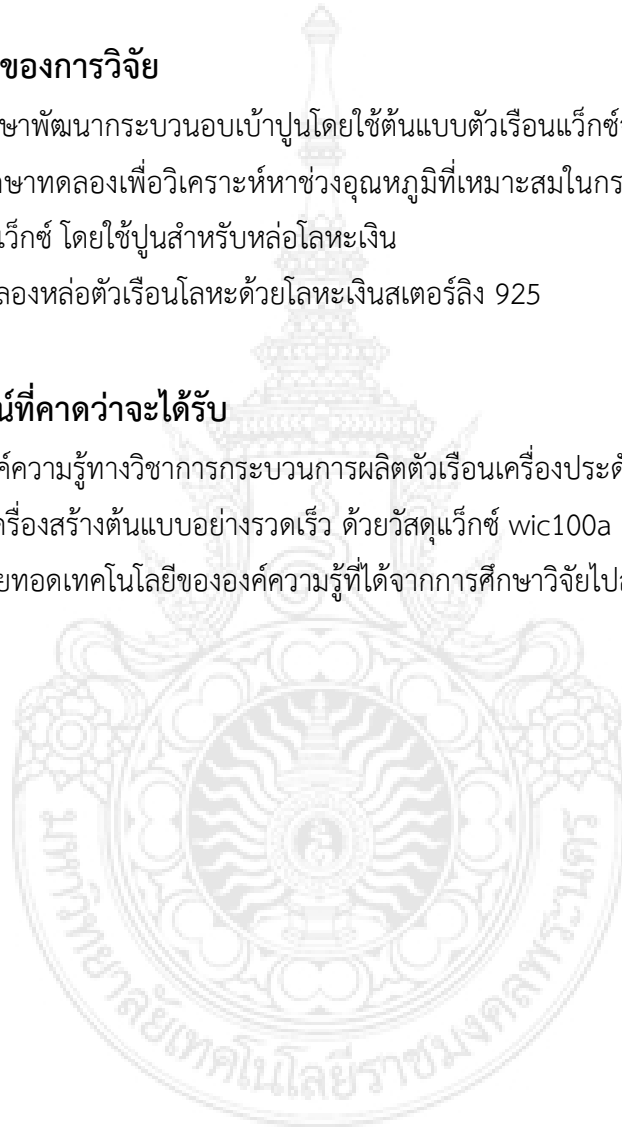
1.3.2 ศึกษาทดลองเพื่อวิเคราะห์หาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการอบเข้าเพื่อกำจัด
ต้นแบบตัวเรือนแว็กซ์ โดยใช้ปูนสำหรับหล่อโลหะเงิน

1.3.3 ทดลองหล่อตัวเรือนโลหะด้วยโลหะเงินสเตอร์ลิง 925

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 องค์ความรู้ทางวิชาการกระบวนการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ จากการผลิตต้นแบบตัว
เรือนแว็กซ์ด้วยเครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว ด้วยวัสดุแว็กซ์ wic100a

1.4.2 ถ่ายทอดเทคโนโลยีขององค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยไปสู่ภาคอุตสาหกรรมการผลิต



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. WIC 100A หมายถึง น้ำยาแว็กซ์เหลวที่ใช้กับ Rapid Prototype Machine มีลักษณะเป็นน้ำสีเขียวขุ่นเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของเนื้อแว็กซ์

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 เพื่อทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นมาทีละชั้น

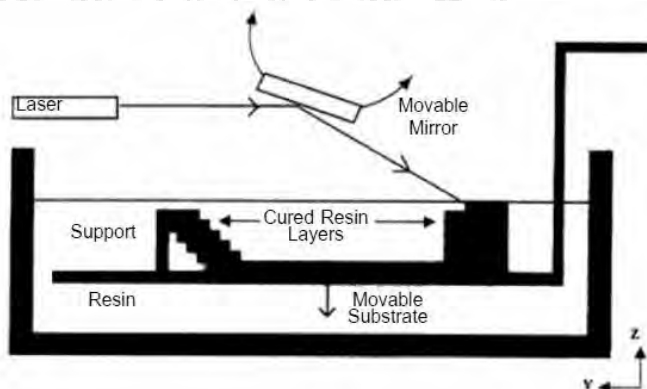
หลักการทั่วไปของ Rapid Prototyping คล้ายกับการพิมพ์รูปภาพจากคอมพิวเตอร์ออกทางเครื่องพิมพ์ หากแต่สิ่งที่พิมพ์ออกมานี้เป็นชิ้นงาน 3 มิติ ที่มีขนาด รูปทรง เป็นไปตาม CAD Model ในคอมพิวเตอร์ โดยจุดประสงค์หลักของการสร้างต้นแบบด้วย กระบวนการ Rapid Prototyping จะเน้นไปที่การสร้างต้นแบบที่ให้สาระข้อมูลในแง่ของรูปทรงของชิ้นงานทางกายภาพ คือ สามารถจับต้องได้ และในบางกรณีอาจนำมาใช้งานจริงได้ หากความแข็งแรงของตัวแบบมีมากเพียงพอ โดยวัสดุของต้นแบบที่ได้จากกระบวนการ RP ทั่วไปมักทำขึ้นมาจากวัสดุที่ง่ายต่อการขึ้นรูป เช่น พลาสติก เป็นต้น

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

(Sintering / Bonding) การตัดและติดแผ่นวัสดุทีละชั้น (Layer Laminate Manufacturing) และ การใช้พลาสติกร้อนเรียงตัวขึ้นเป็นชิ้นงาน (Extrusion Processes)

1. การใช้พอลิเมอร์ชนิดไวแสงในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Photopolymerization)

วิธีการนี้ถือเป็นวิธีการสร้างต้นแบบที่นิยมใช้มากเป็นอันดับต้น ๆ และมีเทคนิคที่ได้รับการพัฒนาแตกขยายออกไปเป็นจำนวนมาก และมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละบริษัทผู้คิดค้น เพื่อให้มีความเหมาะสมกับงานในแต่ละประเภท โดยขนาดของชิ้นงานและโครงสร้างของตัวแบบสามารถทำได้ ในระดับไม่กี่ไมครอนไปจนถึงหลายเซนติเมตร ขึ้นอยู่กับขนาด และคุณสมบัติของเครื่อง RP ที่ใช้ เทคนิคที่ถือเป็นพื้นฐานดั้งเดิม ในการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ Photopolymerization นี้คือ Stereolithography Apparatus (SLA) คิดค้นโดยบริษัท 3D Systems ซึ่งถือว่าเป็นบริษัทแรกที่ นำเสนอวิธีการสร้างต้นแบบด้วยการใช้พอลิเมอร์ชนิดไวแสง โดย Chuck Hull ผู้ก่อตั้งบริษัท และ เจ้าของสิทธิบัตรวิธีการ 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 อาจต้องอาศัยการสร้าง ส่วนรองรับที่เรียกว่า Support ขึ้นมาไปพร้อม ๆ กับการขึ้นรูปตัวชิ้นงานด้วย โดย Support นี้สามารถตัดเอาออกภายหลังได้ ชิ้นงานที่ได้หลังจากทำการฉายแสง UV ซ้ำ ภายหลังจากที่ขึ้นรูป ชิ้นงานเสร็จแล้วจะมีความแข็งแรงในระดับหนึ่งดังเช่นพลาสติกทั่วไป ซึ่งนอกจากจะสามารถให้ รูปทรงทางกายภาพตรงตามแบบในคอมพิวเตอร์ซึ่งถือเป็นจุดประสงค์หลักของการสร้างต้นแบบแล้ว ยังจะสามารถใช้ในการทดสอบกลไกการเคลื่อนที่บางอย่างที่ไม่ต้องรับแรงทางกลมาก ๆ ได้ เช่น ส่วนที่เป็นบานพับ จุดหมุน เป็นต้น หรืออาจนำไปใช้งานดังเช่นชิ้นงานพลาสติกจริงได้เลย



รูปที่ 2.1 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Stereolithography Apparatus (SLA)

นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่น ๆ ที่ได้รับการพัฒนาต่อมาจากแนวคิดของ SLA ให้มีความแตกต่างและเหมาะสมกับรูปแบบการขึ้นรูปที่ต่างกันไป เช่น Micro-stereolithography โดยบริษัท MicroTEC เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการสร้างต้นแบบที่มีขนาดเล็กมาก ๆ หรือ วิธีการขึ้นรูปแบบ PolyJet พัฒนาโดยบริษัท Objet ที่อาศัยการฉีดเรซิน ลงบน Platform ด้วยแผงหัวฉีดขนาดเล็กมากกว่า 1,500 หัวไปพร้อม ๆ กับการใช้แสง UV ในการทำให้เรซิน แข็งตัวในทันที ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีถังขนาดใหญ่ในการบรรจุเรซิน และจุ่มชิ้นงานทั้งชิ้นลงไปในอ่างเรซินในระหว่างการขึ้นรูปดังเช่นที่ใช้กับวิธีการแบบ SLA ทั่วไป



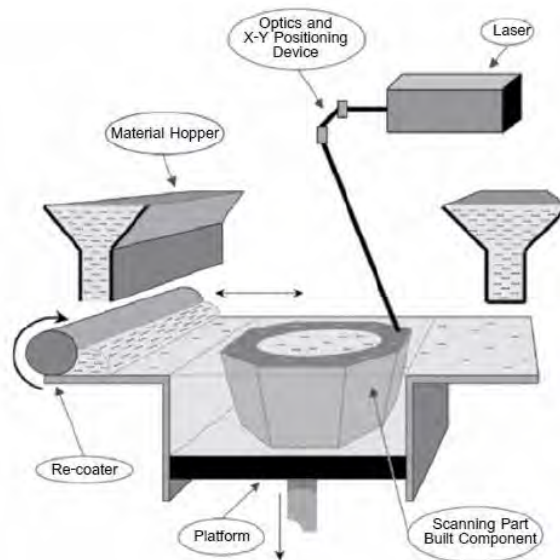
รูปที่ 2.2 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธี PolyJet

2. การใช้เลเซอร์หรือการเชื่อมติดผงวัสดุเข้าด้วยกัน(Sintering / Bonding)

การสร้างต้นแบบด้วยวิธีการนี้จะต่างกับวิธี Photopolymerization ตรงที่ว่าสถานะของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานจะอยู่ในรูปของวัสดุผง โดยทั่วไปจะนิยมใช้ผงพลาสติก เนื่องจากมีจุดหลอมตัวต่ำ ทำให้ง่ายในการขึ้นรูป ขนาดของผงพลาสติกที่ใช้จะมีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน ซึ่งผงวัสดุเหล่านี้จะถูกให้ความร้อนด้วยเลเซอร์บนตำแหน่งที่เป็นหน้าตัดของชิ้นงาน ความร้อนที่ได้มากพอที่จะทำให้ผง พลาสติกแต่ละเม็ดในบริเวณที่ถูกฉายด้วยเลเซอร์สามารถยึดเกาะติดกันได้ และยังสามารถยึดเกาะกับชั้นที่ขึ้นรูปไปแล้วก่อนหน้านี้ได้อีกด้วยเพื่อให้เกิดเป็นโครงสร้างแข็ง 3 มิติ ตามแบบในคอมพิวเตอร์ โดยตัว Platform จะเลื่อนลงเล็กน้อย เพื่อให้ผงวัสดุชุดใหม่ถูกกวาดเข้ามาทับผิวที่ถูกให้ความร้อนในชั้นก่อนหน้าสำหรับการ Sintering ในชั้นถัดไป โดยกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานแบบนี้จะวนไปเรื่อย ๆ และเมื่อทำการขึ้นรูปจนครบทุกชั้นแล้ว วัสดุผงส่วนเกินที่ไม่ได้ถูกฉายด้วยเลเซอร์ก็จะถูกปัดหรือพ่นออกไปด้วยลม คงเหลือแต่ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ตามแบบที่ต้องการ

ความเร็วโดยเฉลี่ยในการขึ้นรูปชิ้นงานจะอยู่ที่ประมาณ 10 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง หรือทุก ๆ 1 ชั่วโมงจะได้ชิ้นงานสูงขึ้น 10 มิลลิเมตร โดยความถูกต้องของชิ้นงานจะอยู่ที่ประมาณ ± 0.15

มิลลิเมตร ข้อสังเกตอย่างหนึ่งของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการ Sintering คือ ผิวงานที่ได้ค่อนข้างหยาบ และ ความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้จะต่ำกว่าวิธี Stereolithography ซึ่งจะให้ผิวชิ้นงานที่เรียบ และวัสดุเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า เทคนิคที่เป็นที่รู้จักสำหรับการขึ้นรูปแบบนี้ คือ Selective Laser Sintering (SLS) พัฒนาโดยบริษัท 3D Systems และ DTM



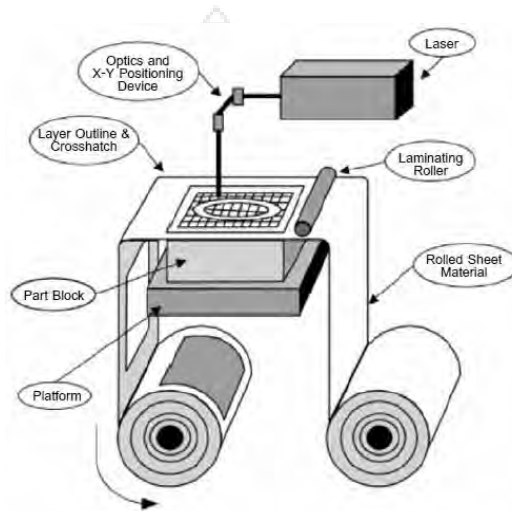
รูปที่ 2.3 ชิ้นรูปขึ้นงานด้วยกระบวนการ Selective Laser Sintering (SLS)

นอกจากการใช้เลเซอร์ในการให้ความร้อน เพื่อให้วัสดุถูกเชื่อมติดกันแล้ว ยังมีเทคนิคที่ใช้วิธีการพ่นกาว เพื่อให้ผงวัสดุเกาะติดกันเป็นโครงสร้างที่ต้องการ วิธีที่ว่านี้ ถูกพัฒนาขึ้นโดยสถาบันเทคโนโลยี แมส-ชาชูเซตส์ ในชื่อ Three Dimensional Printing (3DP) ต่อมาได้รับการพัฒนา และทำตลาดโดยบริษัท Z Corporation หลักการของ 3D Printing นี้ จะคล้ายคลึงกับการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet ทั่วไป กล่าวคือ กาวประสานจะถูกพ่นออกจากหัวฉีดขนาดเล็กลงไปยัง Platform ที่มีผงแป้งเคลือบเตรียมเอาไว้ การขึ้นรูปก็จะทำไปทีละชั้น เช่นเดียวกับกระบวนการการสร้างต้นแบบเร็วแบบอื่น ๆ แต่ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถที่จะให้สีกับชิ้นงานได้โดยการฉีดพ่นกาวที่ได้รับการผสมสีต่าง ๆ ลงไปดังเช่นการพิมพ์สีด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet ทำให้เราสามารถสร้างชิ้นงานที่เห็นรูปทรงและสีสันทันของตัวงานไปได้พร้อม ๆ กัน อย่างไรก็ตาม ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการนี้ค่อนข้างเปราะบางมากกว่าชิ้นงานที่ได้ จากวิธี Stereolithography ดังนั้นชิ้นงานที่ได้จะเหมาะสำหรับการทำขึ้นมาเพื่อเป็น Concept Prototype มากกว่าจะเป็น Functional Prototype

3. การตัดและติดแผ่นวัสดุทีละชั้น (Layer Laminate Manufacturing)

การขึ้นรูปต้นแบบด้วยวิธีการนี้ ถือได้ว่ามีความง่ายมากที่สุดในแง่ของหลักการ นั่นคือ การตัดแผ่นวัสดุที่มักทำจากกระดาษ โดยที่ด้านหนึ่งถูกเคลือบด้วยกาวที่จะติดเมื่อได้รับความร้อนจากการตัด

แผ่น วัสดุจะถูกตัดด้วยเลเซอร์ให้ได้รูปร่างตรงตามพื้นที่หน้าตัดของตัวแบบ ในส่วนนั้น ๆ แผ่นวัสดุแต่ละแผ่นจะซ้อนติดกันเป็นชั้น ๆ จนได้ชิ้นงาน ตามต้องการ เทคนิคการขึ้นรูปเช่นนี้รู้จักกันแพร่หลายในชื่อ Laminated Object Manufacturing (LOM) ซึ่งคิดค้นโดยบริษัท Cubic Technologies แผ่นวัสดุที่เตรียมไว้เป็นม้วนจะเคลื่อนที่ผ่าน Platform และถูกตัดตามแบบด้วยเลเซอร์ บริเวณที่ไม่ใช้ส่วนของชิ้นงานจะถูกตัดเป็นตารางเล็ก ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการแกะออกเมื่อทำการขึ้นรูปเสร็จสมบูรณ์

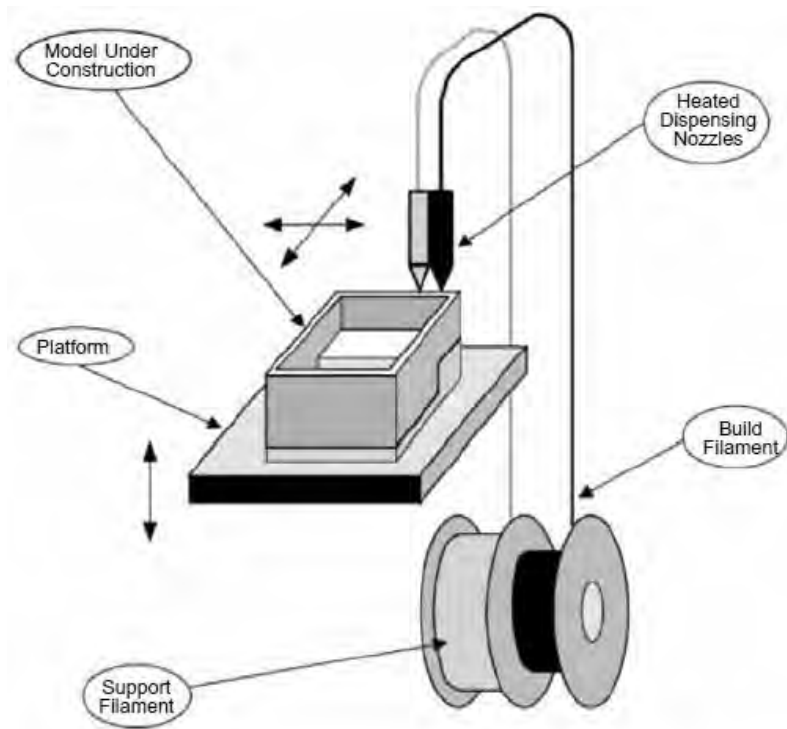


รูปที่ 2.4 ชิ้นรูปขึ้นงานด้วยกระบวนการ Laminated Object Manufacturing (LOM)

จากแนวคิดการตัดแผ่นวัสดุแล้วซ้อนกันเป็นชั้น ๆ เพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานก็ยังคงพัฒนาออกไปเป็นเทคนิคอื่นๆ เช่น การใช้แผ่นโลหะ หรือ พลาสติกแทนการใช้กระดาษ เพื่อสร้างเป็นชิ้นงานตั้งต้นสำหรับใช้ในกระบวนการตัดวัสดุทั่วไป อย่างเช่น กระบวนการ Layer Milling Process (LMP) ที่พัฒนาโดยบริษัท Zimmermann ซึ่งการเตรียมวัสดุ ตั้งต้นในลักษณะนี้จะช่วยลดเวลาในกระบวนการกัด และลดปริมาณเศษตัดลงไปได้อย่างมาก เช่น การกัดชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นช่องกลวงหรือ ถังขนาดใหญ่ ๆ

4. การใช้พลาสติกร้อนเรียงตัวขึ้นเป็นชิ้นงาน (Extrusion Processes)

การสร้างต้นแบบอีกวิธีการหนึ่ง คือ การใช้เส้นพลาสติกที่ถูกทำให้ร้อนนำมาเรียงเป็นโครงสร้างขึ้นมาเป็นชั้น ๆ โดยส่วนที่เป็นชิ้นงานและส่วนรองรับจะใช้เส้นพลาสติกและรูปแบบการเรียงที่ต่างกัน โดยส่วนที่ทำหน้าที่รองรับนั้นจะช่วยเสริมความมั่นคงของชิ้นงานในระหว่างการขึ้นรูป และจะถูกเอาออกภายหลังจากที่ชิ้นงานได้รับการขึ้นรูปจนเสร็จสมบูรณ์แล้ว เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจในกระบวนการขึ้นรูปแบบนี้ คือ Fused Deposition Modeling (FDM) พัฒนาโดยบริษัท Stratasys



รูปที่ 2.5 ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ Fused Deposition Modeling (FDM)

อย่างไรก็ตาม ผิวชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จะค่อนข้างหยาบ เมื่อเทียบกับวิธี SLA เนื่องจากการขึ้นรูปที่เกิดจากการเรียงตัว และเชื่อมติดกันของเส้นพลาสติกขนาดเล็กเป็นชั้น ๆ สำหรับความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้ก็ยังมีมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดพลาสติกที่นำมาใช้ โดยพลาสติกที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการนี้ เช่น พลาสติก ชนิด ABS หรือ Polycarbonate เป็นต้น ชิ้นงานที่ได้จึงมีความแข็งแรงพอสมควร และสามารถนำมาใช้ทดสอบการใช้งานในลักษณะ Functional Prototype ได้ใกล้เคียงชิ้นงานพลาสติกจริง

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

2.3 Rapid Prototy ในงานอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ

การสร้างต้นแบบด้วยกระบวนการนี้ยังสามารถใช้ขี้ผึ้ง หรือ Wax เป็นวัสดุในการขึ้นรูปได้อีกด้วย ซึ่งมีผลดีในแง่ของความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ และนอกจากการสร้างชิ้นงานขึ้นมาเพื่อใช้เป็นต้นแบบในลักษณะ Conceptual Prototype แล้ว ชิ้นงาน Wax ที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ในเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการหล่อโลหะ ที่ต้องการรายละเอียดของชิ้นงานมาก (Precision Casting) อย่างกระบวนการ Lost-Wax Casting ซึ่งนิยมมากในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ ซึ่งให้ความละเอียดของผิวชิ้นงานได้ค่อนข้างดี ซึ่งปัจจุบันนิยมทำกันอย่างแพร่หลาย 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

2.4. ปูนสำหรับหล่อเครื่องประดับ

การหล่องานเครื่องประดับนิยมใช้วิธีการหล่อแบบอินเวสเมนต์ (Investment Casting) หรือเรียกอีกชื่อว่า การหล่อแบบประณีต งานหล่อประเภทนี้จะได้ผิวชิ้นงานที่มีความละเอียดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานหล่อประเภทอื่น การศึกษาสมบัติของปูนจึงมีความสำคัญกับการหล่ออย่างยิ่ง คือปูนควรจะทนทานต่ออุณหภูมิของโลหะในระหว่างการหล่อ เนื้อปูนที่ละเอียดจะทำให้ผิวงานดีจากการหล่อ การควบคุมการเติบโตของผลึกในปูนเพื่อให้ได้ผิวเนื้อปูนที่ดีเหมาะสมสำหรับเป็นแม่พิมพ์ปูนที่สวยงาม การควบคุมอุณหภูมิของปูนในระหว่างการหล่อเพื่อให้ น้ำโลหะไหลเข้าแบบได้อย่างเหมาะสม และการเลือกชนิดปูนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะระหว่างการหล่อเป็นต้น ปูนที่ใช้ในงานหล่อเครื่องประดับ แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ แยกตามประเภทวัสดุของปูนคือ ปูนยิปซัมบอนด์ (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

ส่วนผสมของปูนยิปซัมบอนด์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ วัสดุทนไฟซึ่งประกอบด้วยซิลิกา คริสโตบอลไลท์ (Cristoballite) เป็นต้น และกลุ่มวัสดุที่มีสมบัติเป็นตัวยึด (binder) คือ ผงยิปซัม ที่มีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (Calcium sulfate hemihydrate) และส่วนผสมอื่น ๆ เพิ่มเติมตามแต่ละสูตรของการผลิต

2. ปูนฟอสเฟตบอนด์ (Phosphate bonded Investment)

ปูนฟอสเฟตบอนด์เหมาะสำหรับงานหล่อโลหะที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง เช่น แพลตินัม สแตนเลสสตีล และทนทานต่อการหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงกว่า 1200 องศาเซลเซียส

ส่วนผสมของปูนฟอสเฟตบอนด์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือวัสดุทนไฟซึ่งประกอบด้วยซิลิกา และกลุ่มวัสดุที่เป็นธาตุยึด คือ เกลือฟอสเฟต หรือ ออกไซด์ของกรดฟอสฟอริก โดยทั่วไป ใช้โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต แมกนีเซียมออกไซด์ และส่วนผสมอื่น ๆ เพิ่มเติมตามแต่ละสูตรของการผลิตปูนฟอสเฟต

3. ปูนอะลูมินา-แมกนีเซียม (Alumina-magnesia Investment)

ถึงแม้ว่าปูนฟอสเฟตบอนด์จะทนต่ออุณหภูมิสูงเช่น งานหล่อไททาเนียม แต่ระหว่างการหล่อด้วยพิมพ์ปูนฟอสเฟตบอนด์อาจมีก๊าซเกิดขึ้น ทำให้ปูนฟอสเฟตบอนด์จึงไม่เหมาะสมสำหรับงานไททาเนียม เพราะโลหะไททาเนียมไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นออกไซด์ ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำปูนอะลูมินา-แมกนีเซียมซึ่งเป็นปูนที่ค่อนข้างเสถียรจากพันธะของอะลูมินาและแมกนีเซียม มาใช้

หล่อไททาเนียม นอกจากนี้ยังสามารถนำไปหล่อโลหะประเภทอื่น ๆ ได้ เช่น นิกเกิล โคบอลต์ โครเมียม เป็นต้น

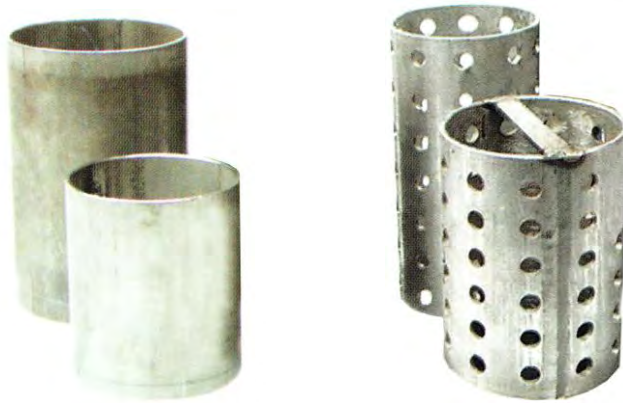
ส่วนผสมของปูนอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม ประกอบไปด้วยวัสดุทนไฟจากปูนของอะลูมินากับแมกนีเซียม ซึ่งมีสารที่เป็นตัวยึดหลายชนิด สารหลักที่ผสมกันได้แก่ แมกนีเซียมอะซิเตต (Magnesium acetate) ปูนเซอร์โคเนีย (Zirconia cement) ปูนแมกนีเซียม (Magnesia cement) ซิลิกาเจลหรือซิลิกา (Colloidal silica) เอธิลซิลิเกต (Ethyl silica)



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างปูนสำหรับหล่อตัวเรือนเครื่องประดับที่มีจำหน่ายภายในประเทศ

2.5 การเทเข้าปูน

ปูนหล่อแบบที่จำหน่ายอยู่ทั่วไปจะอยู่ในรูปของผงละเอียดแห้งสนิท เมื่อใช้งานจะผสมกับน้ำสะอาด ซึ่งถ้าผสมตามสัดส่วนที่ถูกต้องแล้วจะมีสภาพเป็นโคลนชั้น เรียกว่า Slurry ในการผสมถ้าใช้สัดส่วนไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดความเสียหายขณะหล่อได้ เช่น ถ้าใช้น้ำมากเกินไปจะทำให้ปูนหล่อแบบไม่แข็งแรงไม่สามารถทนแรงอัดจากน้ำโลหะได้หรือถ้าใช้น้ำน้อยเกินไปจะทำให้ส่วนผสมมีความเข้มข้นสูง ซึ่งจะมีความแข็งแรงมาก แต่อาจทำให้ต้นแบบ Wax เสียหายได้ เป็นต้น ดังนั้นการใช้ปูนหล่อแบบของบริษัทใด ควรศึกษาคู่มือหรือคำแนะนำของบริษัทนั้น



รูปที่ 2.9 เบ้าสำหรับเทปูน

การเทปูนลงในเบ้าปูนต้องมีการเตรียมชิ้นงานต้นแบบที่ทำการติดทางเดินน้ำโลหะหรือเรียกว่าการติดต้นเทียน การติดต้นเทียนต้องคำนึงทิศทางการไหลของน้ำโลหะเมื่อไหลเข้าสู่โพรงแบบด้วยเป็นสำคัญ



รูปที่ 2.10 การติดทางเดินน้ำโลหะและการใช้เบ้าเหล็กครอบต้นเทียน



รูปที่ 2.11 แสดงการเทปูนลงในเบ้าปูน

เมื่อมีการเทปูนหล่อแบบลงในกระบอกรีบร้อยแล้วให้นำกระบอกล่อไปตั้งผึ่งไว้ในที่ร่ม เมื่อปูนหล่อเริ่มแห้งให้ตกแต่งปูนหล่อแบบให้เรียบร้อยเสมอขอบกระบอกล่อ ในการผสมปูนหล่อแบบตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นนั้นมีความสำคัญมาก ต้องรีบดำเนินการให้เสร็จสิ้นเรียบร้อยภายในระยะเวลา 10 - 20 นาที เพราะปูนหล่อจะแห้งและแข็งตัว โดยเฉพาะถ้าเป็นการผสมแบบเข้มข้น จะต้องมีการปฏิบัติงานที่เร็วขึ้น เพราะปูนหล่อจะแข็งตัวเร็วมาก และการดูอากาศออกจากเนื้อปูนหล่อก็จะกระทำได้อย่างยากขึ้น



รูปที่ 2.12 เ้าปูนที่เทปูนแล้ว

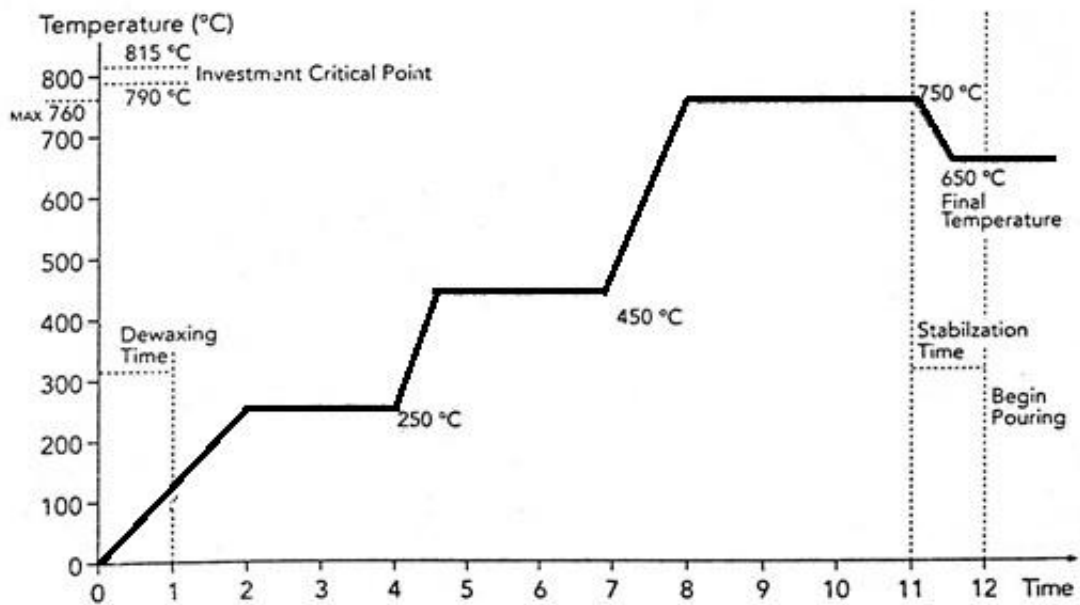
2.6 เตาอบเข้าปูน

การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดต้นแบบแว็กซ์ และ ส่วนของแว็กซ์ ออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อ เพื่อให้เกิดเป็นโพรงแบบภายใน อีกทั้งเพื่อเตรียมอุณหภูมิของกระบอกล่อ ให้เหมาะสมกับอุณหภูมิในการหล่อโลหะ เพื่อลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในขณะหล่อโลหะ



รูปที่ 2.13 เตาอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

เตาอบเผาแม่พิมพ์ มี 2 ชนิดคือ เตาไฟฟ้า และเตาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงส่วนประกอบที่สำคัญคือห้องอบเผาซึ่งมีหลายขนาดตามความต้องการของผู้ใช้ ภายในห้องเผาจะมีปล่องสำหรับระบายควันออกจากห้อง ซึ่งมีการต่อปล่องนี้ออกจากห้องปฏิบัติงาน เพราะควันที่ออกจากเตาอบเผาจะเป็นควันพิษ นอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมอุณหภูมิของเตา ซึ่งมีทั้งชนิดที่ควบคุมด้วยมือ และชนิดควบคุมอัตโนมัติ เตาอบเผาแม่พิมพ์นี้จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1200 °C ในการใช้งานจะต้องคำนึงถึงส่วนของอุณหภูมิและเวลาในการอบการควบคุมอุณหภูมิและเวลาจะต้องกระทำไปพร้อมกัน การตั้งอุณหภูมิในการอบ อุณหภูมิหล่อโลหะจะต้องมีความสมดุลกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ปูนหล่อ เนื่องจากในการหล่อโลหะ แม่พิมพ์ซึ่งจะทำหน้าที่รองรับน้ำโลหะควรมีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากนัก มิฉะนั้นแม่พิมพ์จะแตกเสียหายได้ อนึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิหลอมละลายแตกต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิหล่อหรืออุณหภูมิของแม่พิมพ์ จึงต้องมีความแตกต่างกันตามชนิดของโลหะด้วย



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างอุณหภูมิการทำงานของเตาอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

การอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ จากรูปที่ 2.14 ในการกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาแต่ละช่วงนั้นต้องตระหนักถึงอุณหภูมิหล่อและปฏิกิริยาต่าง ๆ สรุปได้ดังนี้

1. การอบเผาแม่พิมพ์ ในการอบเผาแม่พิมพ์ จะมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น ควรเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ในระยะแรกจนถึงประมาณ 200°C เนื่องจากในแม่พิมพ์ มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100°C น้ำจะกลายสภาพเป็นไอน้ำ และแทรกตัวออกตามช่องว่างของเนื้อปูนหล่อ หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไอน้ำจะขยายตัว โดยมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่าปูนหล่อ การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้เอง ทำให้เกิดแรงดันภายในปูนหล่อ ลวดลายต่าง ๆ ของแม่พิมพ์จะเกิดความเสียหาย และร้ายแรงที่สุดถึงขั้นทำให้

แม่พิมพ์แตกง่ายได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำในแม่พิมพ์ส่วนผสมของสารเคมีจากปูนหล่อ มีโซอยู่ในรูปของน้ำบริสุทธิ์ ดังนั้นจุดที่น้ำจะกลายเป็นไอ อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 200°C ที่เดียว

2. ในกรณีที่ไม่มีกริ่งเทียน ก่อน แต่นำแม่พิมพ์เข้าอบเผาในเตาอบโดยตรงนั้น ไม่ควรนำแม่พิมพ์เข้าอบในขณะที่เตาอบเย็น แต่ควรนำเข้าไปในขณะที่ภายในเตามีอุณหภูมิประมาณ 150°C นั่นคือควรทำการอุ่นเตาอบก่อนนำแม่พิมพ์เข้าไปอบเผาเนื่องจากในขณะที่เตาเย็น เมื่อเริ่มต้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 80°C เทียนจะเริ่มละลายกลายเป็นของเหลว ส่วนหนึ่งจะเริ่มไหลออกมาทางปากทางเข้า แต่ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่ยังคงอยู่ภายในโพรงแบบ ขณะเดียวกันปูนจะเริ่มขยายตัวทำให้รูพรุนหรือช่องว่างของเนื้อปูนหล่อโตขึ้น ปูนหล่อจะทำตัวเป็นฟองน้ำดูดซับเทียน ที่มีลักษณะเป็นของเหลวเข้าไปในเนื้อปูนหล่อ และกำจัดออกให้หมดได้ยากแต่ถ้าแม่พิมพ์เข้าเตาอบในขณะที่เตามีอุณหภูมิประมาณ 150°C เทียน จะละลายเป็นของเหลวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ น้ำจะกลายเป็นไอน้ำ และขยายตัวดันให้เทียน ไหลออกจากแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้นอีกด้วย

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

4. ในการอบเผา เตาจะมีอุณหภูมิเพิ่มเร็วกว่าอุณหภูมิของกระบอกหล่อ โดยเฉพาะภายในโพรงแบบ ซึ่งยังมีส่วนผสมของน้ำอยู่ในเนื้อปูนหล่อ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกระบอกหล่อกับภายในโพรงแบบ อาจแตกต่างกันถึง 50°C ดังนั้นก่อนการหล่อจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิหล่อน้อยครั้งชั่วโมง ก่อนหล่อโลหะ

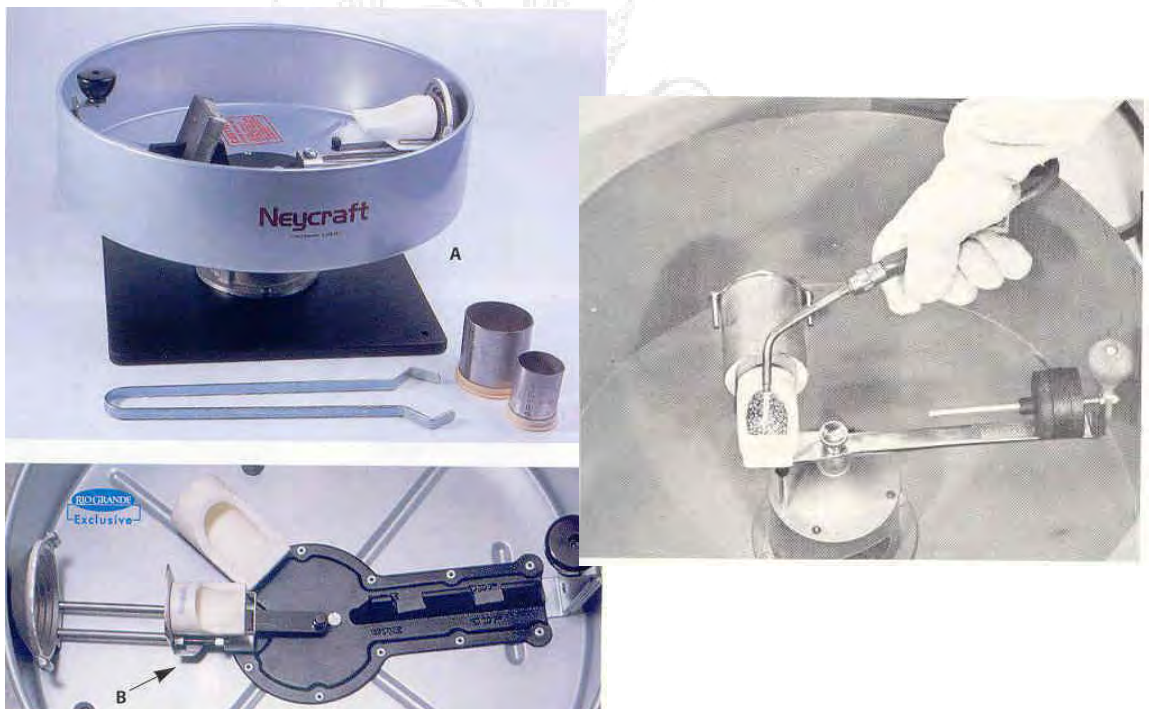
5. ถ้าแม่พิมพ์ถูกเผาใหม่ที่อุณหภูมิ 800°C ยิบซัมซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของปูนหล่อ จะแตกตัวออกเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดสีผิวโลหะที่หล่อ



รูปที่ 2.15 การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

2.7 ระบบการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

เครื่องหล่อ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับหล่อโลหะ โดยการนำเอากระบอกล้อที่มีแม่พิมพ์ปูนใส่ไว้ในเครื่องเพื่อให้เนื้อโลหะที่เตรียมไว้ไหลเข้าไปแทนที่อากาศภายใน เครื่องหล่อระบบเหวี่ยง ใช้อาศัยหลักการของแรงหนีศูนย์กลางโดยการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเป็นกรรมวิธีหล่อโลหะที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะ คือ จะบรรจุโลหะเหลวเข้าสู่โพรงแบบในขณะที่หมุนอยู่รอบแกน และปล่อยให้ชิ้นงานแข็งตัวในระหว่างที่โพรงแบบยังคง หมุนอยู่เช่นเดิม แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนของโพรงแบบจะทำให้โลหะเหลวอัดตัวแน่นเข้ากับผนังโพรงแบบ จึงทำให้เกิดรูปร่างของชิ้นงานคล้ายตามผิวของผนังโพรงแบบโดยตลอดด้วย นอกจากนี้ยังทำให้เกิดระบบการป้อนเติมที่แตกต่างจากขบวนการหล่อกรรมวิธีอื่น ๆ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะคล้ายกับ แรงไฮโดรสแตติก (Hydrostatic Force) ซึ่งในขณะเท แรงเหวี่ยงสามารถสลัดโลหะเหลวให้กระจายแผ่ออกไปสัมผัสกับผิวของผนังโพรง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้สามารถหล่อชิ้นงานรูปทรงกระบอกกลางภายในได้เลย รวมทั้งรูปทรงแหวนอื่น ๆ ด้วย แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จะทำให้เกิดความดันสูงยิ่งขึ้นภายในชิ้นงานขณะที่โลหะเหลวกำลังแข็งตัวลักษณะเช่นนี้หากทิศทางการแข็งตัวเริ่มต้นจากผนังโพรงแบบมุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของแกนหมุนแล้ว ย่อมจะช่วยให้เกิดลักษณะการป้อนเติมที่ดีขึ้นและยังสามารถทำให้สิ่งมลทินต่าง ๆ แยกตัวออกจากเนื้อโลหะ และแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางยังสามารถขับไล่แก๊สให้ออกจากโมเลกุลของโลหะเหลวอีกด้วย



รูปที่ 2.16 เครื่องหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การควบคุมคุณภาพของชิ้นงานหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนั้น องค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานเช่น ความเร็วในการหมุน โพรงแบบ อุณหภูมิเทหล่อ อัตราการเทและอุณหภูมิของโพรงโลหะความเร็วในการหมุน การเลือกความเร็วในการหมุนโพรงแบบนี้เป็นเรื่องสำคัญที่สุดของกระบวนการ ในขบวนการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแท้จริงนั้น รูภายในของชิ้นงานจะถูกรั้งเอาไว้ด้วยแรงดึงดูดของโลก แต่แรงเหวี่ยงจะช่วยให้ชิ้นงานหลุดพ้นจากการฉีก ร้าวตามแนวความยาวเนื่องจากแรงดึงดูดอย่างมากมายตามแนววงแหวนที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดของโลก สำหรับในขบวนการหล่อกึ่งเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและขบวนการหล่อความดันเหวี่ยงนั้น จะต้องพิจารณาตามค่า ความดันในการป้อนเติม ความเร็วในการหมุนโพรงแบบจะมีอิทธิพลเหนือเม็ดโครงสร้างของโลหะงาน ถ้า ความเร็วในการหมุนโพรงแบบเพิ่มขึ้น ก็ยิ่งจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีผลึกแข็งเม็ดเล็กละเอียดยิ่งขึ้นตามไปด้วยถึง แม้ว่าจะว่าโพรงแบบที่หมุนเร็ว ๆ นั้น จะทำให้โลหะเหลวเกิดการอลวนมากขึ้นก็ตามแต่ก็ยังคงดีกว่าการ หมุนรอบต่ำ ๆ ทั้งนี้การหมุนรอบจัดจะทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการฉีก ร้าวซึ่งย่อมจะให้คุณประโยชน์มีค่ามากกว่า

2.8 โลหะเงินสเตอร์ลิง 925 (Ag925)

โลหะเงินบริสุทธิ์ที่ใช้สำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องเงิน มีคุณสมบัติทางกลอ่อนนุ่ม ความสามารถในการคงรูปต่ำไม่เหมาะสำหรับกระบวนการผลิตและการนำไปใช้งาน จึงต้องมีการเจือธาตุเจือลงไปเพื่อ ปรับปรุงคุณสมบัติทางกล คุณสมบัติด้านการหล่อขึ้นรูปและเพิ่มความต้านทานการหมอง ซึ่งธาตุเจือที่เจือ เข้าไปจะต้องไม่ทำให้คุณค่าและความ สวยงามของโลหะเงินลดลง ธาตุเจือหลักที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ ทองแดง เพราะทองแดง มีคุณสมบัติที่สามารถละลายรวมกับเงินได้ในลักษณะสารละลายของแข็ง (Solid Solution) และนอกจากนี้ ทองแดงยังมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะเงิน จากการตกตะกอน (Precipitate) ของทองแดงด้วยกระบวนการ Precipitation Strengthening

Ag925 โดยทั่วไปจะเรียกว่า เงินสเตอร์ลิง ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมาก มีลักษณะเหมือนกับเงินบริสุทธิ์ นิยมจะใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ มีความต้านทานการเกิดออกซิเดชันสูง โลหะผสมชนิดนี้ใช้ในงาน เกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวได้ดี อัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกันจะให้ได้คุณสมบัติที่แตกต่างกันตามความ ต้องการ

2.8.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์เครื่องเงิน

สินค้าอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทยที่ทำจากโลหะเงินสเตอร์ลิง เป็นผลผลิตที่เกิด จากงานช่างฝีมือทางด้านศิลปหัตถกรรมที่แสดงถึง วัฒนธรรมของชนชาติไทยโดยเฉพาะ จึงเป็นสินค้าที่รู้จัก กันแพร่หลาย และเป็นที่ยอมรับของชาวต่างประเทศทั่วโลก นับได้ว่าเป็นการเผยแพร่งานศิลปหัตถกรรม วิจิตร กรรมและวัฒนธรรมไทยให้ชาวโลกได้รู้จักประเทศไทย เพื่อเป็นการรักษาชื่อเสียงของประเทศ ในการส่งออก สินค้าเครื่องเงินที่ผลิตจากโลหะเงินสเตอร์ลิงให้มีคุณภาพดีมีมาตรฐาน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์

อุตสาหกรรมจึงได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องเงิน มอก.21-2515 ซึ่งได้มีการนำมาใช้รับรองคุณภาพสินค้าเครื่องเงินจนถึงปัจจุบัน และถือเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์เครื่องเงินที่ได้รับการยอมรับจากทั่วโลก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ว่าด้วยข้อกำหนดเกี่ยวกับชนิดและคุณลักษณะที่ต้องการของเครื่องเงินรวมทั้งวิธีทดสอบเครื่องเงินและยาถมเพื่อหาปริมาณโลหะเงินบริสุทธิ์ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ก. เครื่องเงิน หมายถึงวัสดุที่ทำด้วยโลหะเงินหรือประกอบขึ้นจากโลหะเงินเป็นส่วนสำคัญ
- ข. โลหะเงินมาตรฐาน หมายถึงโลหะเงินที่อาจมีโลหะชนิดอื่นปนไม่เกินร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก
- ค. โลหะเงินบริสุทธิ์ หมายถึงโลหะเงินที่อาจมีโลหะอื่นปนไม่เกินร้อยละ 0.01 ของน้ำหนัก
- ง. ยาถม หมายถึงสารเคมีที่มีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 ของน้ำหนัก สำหรับใช้ในการลงยาถม
- จ. ยาสี หมายถึงสารเคมีสีสำหรับใช้ในการลงยาสี

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของเงินเจือประเภทต่าง ๆ

โลหะเงินเจือ	จุดหลอม (°C)	ความแข็ง (HB)	ความต้านแรงดึง(MPa)	ความยืด (%)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
Ag 1000	960	35	180	49	10.39
Ag 925	910 / 779	68	300	29	10.29
Ag 835	840 / 779	76	300	33	10.16
Ag 800	820 / 779	79	310	30	10.13
Ag 720	779	90	330	27	10

2.8.2 อิทธิพลของธาตุเจือในโลหะเงิน

ธาตุเจือที่ผสมเข้าไปในโลหะเงินทำให้คุณสมบัติทางกลต่าง ๆ ของโลหะเงินเปลี่ยนแปลงไป ธาตุมีอยู่หลายธาตุด้วยกันที่มีอิทธิพลต่อโลหะเงิน ดังตัวอย่างที่จะกล่าวต่อไปนี้

นิกเกิล (Ni) สามารถจะผสมลงไปในอัลลอยเงิน-ทองแดง ได้ถึง 1% นิกเกิลสามารถป้องกันการเกิดลักษณะเกรนโตและเพิ่มการต้านทานการกัดกร่อนได้ แต่ถ้ามีนิกเกิลมากกว่า 2.5 % จะทำให้คุณสมบัติดังกล่าวน้อยลง ดังนั้นจึงได้มีการนำนิกเกิลไปใช้น้อยลง เนื่องจากเมื่อมีเปอร์เซ็นต์นิกเกิลสูงมากจะทำให้นิกเกิลไม่สามารถละลายในน้ำโลหะเหลวได้ และทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้

ตะกั่ว (Pb) เมื่อผสมในอัลลอย จะทำให้เปราะเมื่อได้รับความร้อน นอกจากนี้ตะกั่วสามารถที่จะแยกจากเงินได้ ที่จุดหลอมเหลว eutectic ที่อุณหภูมิ 304 °C บางครั้งจะต้องผสมตะกั่วเพื่อให้ง่ายต่อการตัดเฉือน (machined) แต่จะไม่สามารถทำการปรับปรุงด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้

ดีบุก (Sn) ปริมาณดีบุกเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้จุดหลอมเหลวต่ำลง เงินบริสุทธิ์ สามารถที่จะผสมดีบุกได้มากถึง 19 % อัลลอยที่มีดีบุกจะเกิดออกซิเดชันน้อยกว่า อัลลอยเงิน-ทองแดง แต่จะทำให้เนื้ออัลลอยนิ่ม และดึงเป็นเส้นได้ดี ถ้ามีดีบุกผสมมากกว่า 9 %จะทำให้เกิด Cu_4Sn ซึ่งจะช่วยให้เปราะและในระหว่างการหลอมเหลวจะทำให้มีออกซิเจนเข้าผสมทำให้เกิดเป็น SnO_2

อลูมิเนียม (Al) 4 – 5% จะไม่มีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ และการใช้งานของอัลลอย แต่ถ้ามีอลูมิเนียมมากขึ้นจะทำให้เกิดเป็น Ag_3Al และจะทำให้อัลลอยเปราะ ในระหว่างการหลอมเหลวหรือการอบเหนียวจะเกิด อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และเกิดตะกอนบนขอบเกรน ซึ่งเป็นสาเหตุให้วัสดุเปราะในระหว่างการใช้งาน

สังกะสี (Zn) ประมาณ 20% สามารถจะละลายได้ในสถานะของแข็ง แต่ในทางปฏิบัติสามารถผสมได้ประมาณ 14 % อัลลอยที่ได้ สามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชัน และมีคุณสมบัติเป็น มันเงา จึงสามารถขัดเป็นเงาได้ง่าย และช่วยลดการรวมตัวของเงินกับออกซิเจนและทำให้น้ำโลหะไหลตัวได้ดีและมีอัตราการกัดตัวสูงขึ้น

ซิลิกอน(Si) เกือบจะไม่ละลายในเงิน ซิลิกอนจะทำให้อัลลอยแข็งและเปราะ ซึ่งจะมีตะกอนบนขอบเกรน และเกือบที่จะทำให้อัลลอยใช้งานไม่ได้ แต่สามารถลดปริมาณของซิลิกอนได้ โดยการใส่หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) ลงในเบ้าหลอม

ฟอสฟอรัส(P) ที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็พอที่จะทำให้อัลลอยเปราะได้ โดยอัลลอยจะมีส่วนประกอบ AgP_2 หรือ Cu_3P ซึ่งจะมีตะกอนที่ขอบเกรน จึงทำให้อัลลอยเปราะ เกิดออกซิเดชันเกิดขึ้นเร็วขึ้น ฟอสฟอรัสสามารถจะทำให้จุดหลอมเหลวลดลง สำหรับ ทองแดง – ฟอสฟอรัส ถ้าการดูดเอาออกซิเจนออกไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดทองแดงออกไซด์

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาได้ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องและใกล้เคียงนำมาเสนอดังนี้
สมนึก และคณะ [7] ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของสารเจือสำคัญที่ใช้ผสมในโลหะเงินเจือ ได้แก่ ทองแดง สังกะสี และ ในการศึกษาถึงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางกล การหล่อ กรรมวิธีทางความร้อน และความต้านการหมอง การศึกษาคุณสมบัติด้านการหล่อเหวี่ยงในเตาเหวี่ยงแบบสุญญากาศด้วยเงิน การอบเพิ่มความแข็งหลังจากการอบเป็นเนื้อเดียว การศึกษาต้านการหมอง

เอกสิทธิ์ และคณะ [13] ได้จัดทำคู่มือแนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในชิ้นงานหล่อเครื่องประดับ โดยได้แยกประเภทปัญหาที่ได้จากกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนประกอบด้วย ออกแบบ ทำแม่พิมพ์โลหะ ทำแม่พิมพ์ยาง ฉีดเทียน ตัดต้นเทียน หล่อปูน ینگเทียน เผากระบอกปูน หลอมโลหะ หล่อโลหะ ล้างชิ้นงานหล่อ ขัดตกแต่งผิว โดยสรุปปัญหาข้อบกพร่องของชิ้นงานหล่อมีสาเหตุเกิดจาก ปัญหาต่างๆ ไว้ 4 แนวทางพร้อมวิธีการแก้ไข ประกอบด้วย ปัญหางานเทียน ปัญหางานหล่อ ปัญหาการหลอมโลหะ ปัญหาการติดทังน้ำโลหะ

เพ็ญศรี ได้วิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการหล่อในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ปัญหาการผลิตส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นหลัก ปัญหาบุคลากร ปัญหาเครื่องจักร/อุปกรณ์ และ ปัญหาวัตถุดิบ เป็นปัญหาอันดับรองลงมาตามลำดับ โดยปัญหากระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาหลัก คือ การทำแม่พิมพ์หล่อและการหล่อโลหะ กรณีการฉีดเทียนและตัดต้น การทำต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง เป็นปัญหาลำดับรองลงมาตามลำดับ สำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตที่พบมาก เป็นข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานหล่อ มีถึง 12 ลักษณะ ข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานเทียน 6 ลักษณะ และข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง 2 ลักษณะ โดยข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละลักษณะ อาจเกิดจากสาเหตุหลากหลายกรณี รวมทั้งได้จัดทำตัวอย่างกรณีศึกษาสำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิต ลักษณะต่าง ๆ รวม 25 กรณีศึกษา

อภิรัฐ และคณะได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิหล่อและความเร็วรอบในการเหวี่ยงที่มีผลต่อความสามารถในการไหลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะสังกะสีผสมในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยง เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิหล่อและความเร็วรอบในการเหวี่ยงที่มีผลต่อความสามารถในการไหลและโครงสร้างจุลภาคในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงของโลหะสังกะสีผสม ในการทดลองออกแบบแม่พิมพ์เป็นรูปเกลียววนแบบชดหอย (Spiral Test) สรุปได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิหล่อส่งผลให้ความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวมากขึ้น

บทที่ 3

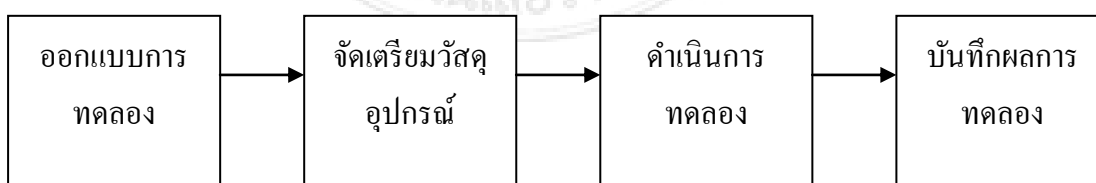
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงาน

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาในงานหล่อเพื่อพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่ ความสมบูรณ์ของชิ้นงานตัวเรือนโลหะ ส่วนหนึ่งมาจากกระบวนการอบเข้าปูนเพื่อกำจัดแว็กซ์ให้ออกจากเข้าปูนทำให้เกิดโพรงแบบของชิ้นงานในสภาพเข้าปูนสะอาดปราศจากเศษซีเมนต์ของแว็กซ์ โพรงแบบมีความแข็งแรง ไม่มีร่องรอยการแตกร้าว หรือรอยกะเทาะต่างๆ จึงมีการกำหนดกราฟอุณหภูมิและเวลาการอบเข้าปูนไว้เป็นมาตรฐานทุกๆ ไป ดังแสดงในรูปที่ 2.14

การอบเข้าปูนเพื่อให้ครบกระบวนการและสมบูรณ์จะประกอบด้วยช่วงใหญ่ ๆ 4 ช่วงใหญ่ๆ คือ ช่วงที่ 1 ช่วงอบไล่ความชื้นของปูน ช่วงที่ 2 ช่วงดีแว็กซ์ โดย ช่วงที่ 3 ช่วงเผาไล่เศษแว็กซ์ ช่วงที่ 4 ช่วงปรับอุณหภูมิของเข้าปูนให้เหมาะสมกับโลหะที่จะใช้หล่อตัวเรือน ช่วงอบไล่ความชื้นของปูน จะเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ในระยะแรกจนถึงประมาณ 200°C เนื่องจากในแม่พิมพ์ มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100°C น้ำจะกลายเป็นไอน้ำ และแทรกตัวออกตามช่องว่างของเนื้อปูนหล่อ หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไอน้ำจะขยายตัว โดยมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่าปูนหล่อ การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้อาจทำให้เกิดแรงดันภายในปูนหล่อ ลวดลายต่าง ๆ ของแม่พิมพ์จะเกิดความเสียหาย และร้ายแรงที่สุดถึงขั้นทำให้แม่พิมพ์แตกร้าวได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำในแม่พิมพ์ส่วนผสมของสารเคมีจากปูนหล่อ มีโซอยู่ในรูปของน้ำบริสุทธิ์ ดังนั้นจุดที่น้ำจะกลายเป็นไอ อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 200°C ในการไล่ความชื้นให้หมดไปจากเข้าปูน จากข้อมูลเบื้องต้นแว็กซ์เซียวทั่วไปจะเริ่มหลอมละลายตั้งแต่อุณหภูมิ 80°C เพราะฉะนั้นการอบเข้าปูนที่มีต้นแบบตัวเรือนที่สร้างจากแว็กซ์เซียวทั่วไปจะเกิดขึ้น 2 กระบวนการในเวลาและอุณหภูมิที่เดียวกัน จึงต้องมีการทดลองเปรียบเทียบเพื่อหาพฤติกรรมการหลอมละลายของแว็กซ์ wic100a ว่าเป็นไปตามข้อมูลดังกล่าวหรือไม่

จึงได้กำหนดแผนการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ตามแผนการ



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

3.2 การดำเนินการทดลองศึกษาพฤติกรรมการหลอมละลายของวัสดุแว็กซ์ WIC 100A ในสถานะปกติ

ทำการศึกษาทดลองพฤติกรรมการหลอมละลายของวัสดุแว็กซ์ WIC 100A ในสถานะปกติ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิ เพื่อสังเกตและวิเคราะห์พฤติกรรมการหลอมละลายเมื่ออยู่ในสถานะปกติ โดยมีขั้นตอนดังนี้ เตรียมวัสดุและเครื่องมืออุปกรณ์ประกอบด้วย ชิ้นส่วนแว็กซ์เขียวทั่วไป ชิ้นส่วนชิ้นงานที่ได้จากวัสดุแว็กซ์ wic100a เตาอบขนาดเล็ก ปืนวัดอุณหภูมิ

ขั้นตอนการศึกษาทดลอง

1. กำหนดตัวอย่างชิ้นงานที่มีขนาดใกล้เคียงกันระหว่างวัสดุแว็กซ์ wic100a กับ แว็กซ์เขียวทั่วไป
2. นำเข้าเตาอบขนาดเล็กค่อย ๆ ปรับอุณหภูมิ เพิ่มขึ้น
3. สังเกตกระบวนการหลอมละลายตั้งแต่ต้น จนถึงสิ้นสุดแว็กซ์ถูกกำจัดหมด



รูปที่ 3.2 แว็กซ์เขียวทั่วไปที่นิยมนำมาทำต้นแบบตัวเรือน



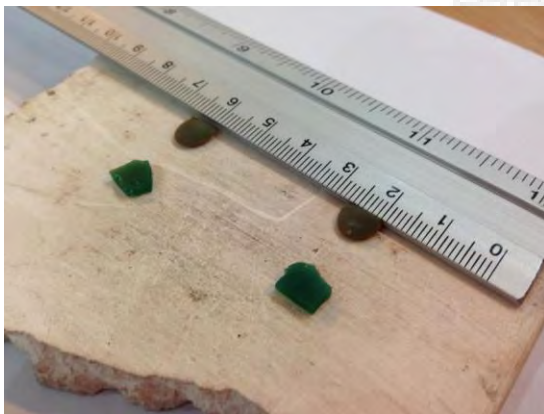
รูปที่ 3.3 แว็กซ์เหลว WIC 100A ที่ผ่านกระบวนการ จนเป็นต้นแบบตัวเรือน



รูปที่ 3.4 เตาอบเข้าปูนขนาดเล็ก



รูปที่ 3.5 ปืนวัดอุณหภูมิ



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างแวกซ์ที่แข็งตัวแล้วของ wic100a และ แวกซ์เขียวทั่วไป



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 แสดงการนำตัวอย่างเข้าเตาอบขนาดเล็ก แล้วให้ความร้อน



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 แสดงปฏิกิริยาของแวกซ์เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.9 แสดงการเผาไหม้เศษตัวอย่างแวกซ์จนหมด

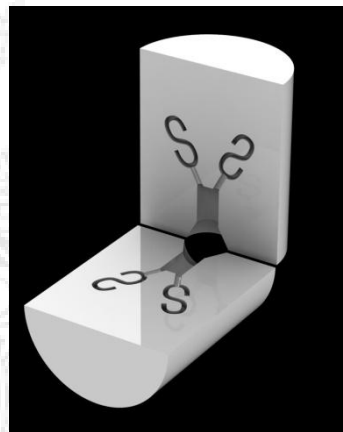
ตารางที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพของแวกซ์เขียวทั่วไปและแวกซ์wic100a

วัสดุ	การเปลี่ยนแปลงของแวกซ์
แวกซ์เขียวทั่วไป	เริ่มหลอมละลายที่อุณหภูมิ 90°C ดังรูปที่ 3.7 (ก) จนหลอมละลายหมดที่อุณหภูมิ 120°C ดังรูปที่ 3.7 (ข) และจะกลายเป็นคราบสีดำเริ่มเผาไหม้เศษแวกซ์ที่อุณหภูมิ 350°C ดังรูป 3.8 (ก) และที่อุณหภูมิ 400°C ในรูปที่ 3.8(ข) และที่อุณหภูมิ 450°C ดังรูปที่ 3.9
แวกซ์ WIC 100A	เริ่มหลอมละลายและเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 270°C จนที่ อุณหภูมิ 350°C ดังรูปที่ 3.8(ก) พร้อมกับกลายเป็นคราบสีดำพร้อมเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้จนถึงอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 400°C ในรูปที่ 3.8(ข) และที่อุณหภูมิ 450°C ดังรูปที่ 3.9

3.3 การดำเนินการทดลองศึกษาพฤติกรรมการหลอมละลายของวัสดุแก้ว WIC 100A ในสถานะในเบ้าปูน

ทำการศึกษาดทดลองเพื่อกำจัดต้นแบบแก้ววัสดุ wic1100a ที่ถูกเทปูนหุ้มไว้โดยการเทปูนหล่อลงในเบ้าปูน ในกระบวนการอบเบ้าปูนโดยกำหนดช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นทีละ 50 องศาเซลเซียส เพื่อสังเกตและวิเคราะห์พฤติกรรมการหลอมละลายเมื่ออยู่ในสถานะที่มีปูนหล่อหุ้มอยู่ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ออกแบบชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์ แล้วทำการสร้างต้นแบบจากวัสดุแก้ว wic100a แล้วทำการผลิตต้นแบบจนได้ออกมาเป็นชิ้นงานต้นแบบแก้ว
2. นำต้นแบบตัวเรือนที่ได้ ติดต้นเทียน แล้วเทปูนในเบ้าขนาด 3.5x4 นิ้ว ปล่อยให้ปูนเซตตัว
3. นำเข้าเตาอบเบ้าปูน โดยกำหนดทดลอง เริ่มที่อุณหภูมิหลังไล่อบความชื้นที่ 250 องศาเซลเซียสแล้วปรับเพิ่มขึ้นทีละ 50 องศาเซลเซียส
4. นำเบ้าปูนที่ได้ไปผ่าเพื่อสังเกตและวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.10 ออกแบบชิ้นงานทดสอบ พร้อมการวางตำแหน่งในการเทเบ้าปูน



รูปที่ 3.11 สร้างต้นแบบตัวเรือนจากวัสดุแก้ว WIC 100A



รูปที่ 3.12 ติดต้นติดต้นเทียน โดยกำหนดให้ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งสะดวกในการผ่าเบา



รูปที่ 3.13 ทำการผสมปูนและเทปูนหล่อ



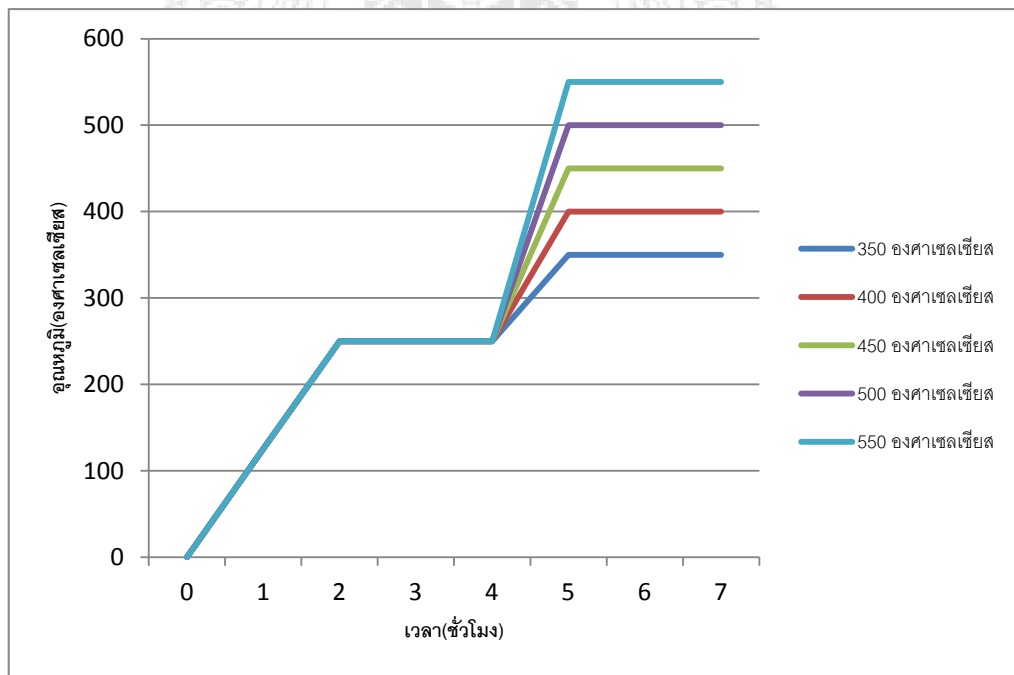
รูปที่ 3.14 นำเข้าปูนที่เซ็ดตัวแล้วเข้าตูอบเข้าปูน



รูปที่ 3.15 แสดงการผ่าเข้าปูน








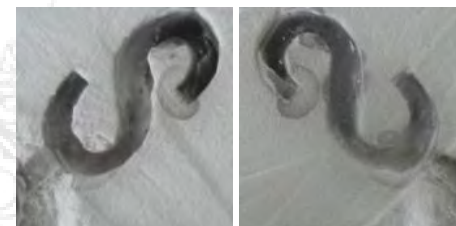


3.3.1 ทดลองช่วงตีแว็กซ์ของ WIC 100A

หลังจากได้ศึกษาทดลองพฤติกรรมการหลอมละลายของวัสดุแว็กซ์ WIC 100A ในสภาวะปกติ ทำให้ทราบว่า ชีงงานแทบจะไม่เกินปฏิกิริยาการหลอมละลายเหมือนแว็กซ์เซียว แต่จะเกิดการเผาไหม้แทน โดยเริ่มต้นกระบวนการที่ 270°C จึงกำหนดสมมติฐานอุณหภูมิช่วงกำจัดแว็กซ์ดังนี้ โดยให้ช่วงการอบไล่ความชื้นโดยใช้เวลาด้อยๆ อุณหภูมิตั้งแต่ $0-250^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลา 2 ชั่วโมง คงไว้ที่ 250°C อีก 2 ชั่วโมง รวมเวลาในการอบไล่ความชื้น 4 ชั่วโมง เป็นมาตรฐานเหมือนกันทุกเข้า จากนั้นค่อยๆปรับอุณหภูมิจาก 250°C ไปถึงอุณหภูมิที่กำหนดใช้ในการไล่ระดับความร้อน 1 ชั่วโมง แล้วคงไว้ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวเพื่อผ่าเข้าปูน



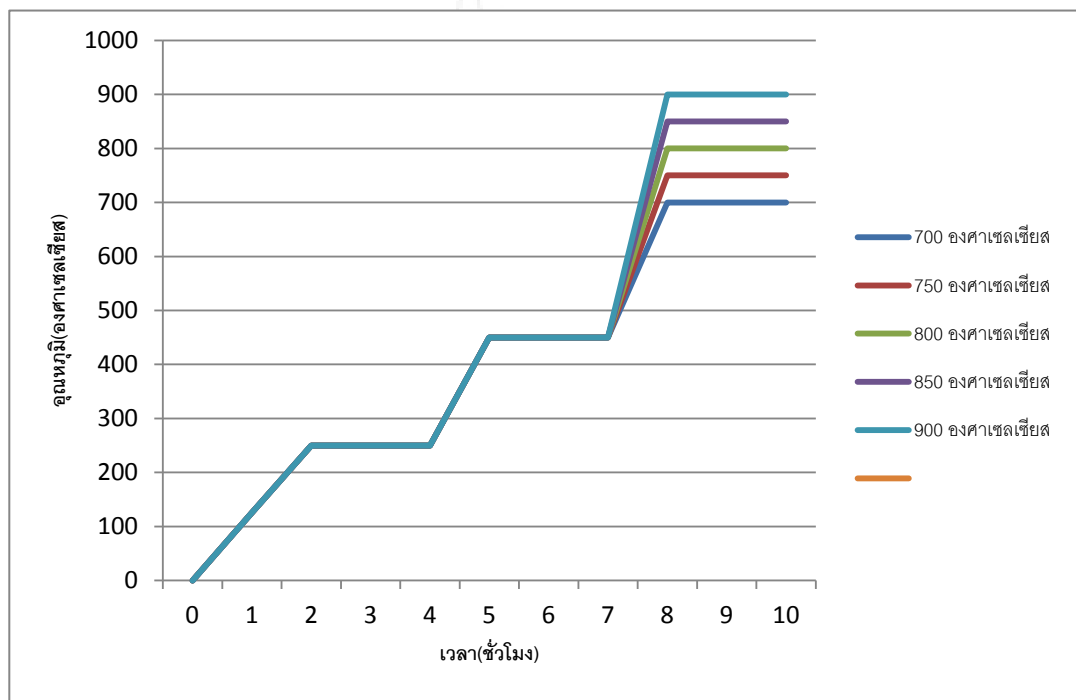
รูปที่ 3.16 อุณหภูมิการตีแว็กซ์

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองช่วงตีแวกซ์ของ WIC 100A หลังช่วงการอบไล่ความชื้นที่ 250°C

อุณหภูมิ สูงสุด	เบ้าที่ 1	เบ้าที่ 2
350 °C		
400 °C		
450 °C		
500 °C		
550 °C		

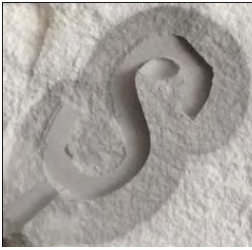
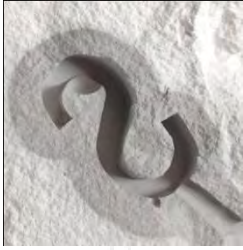

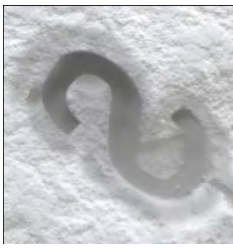



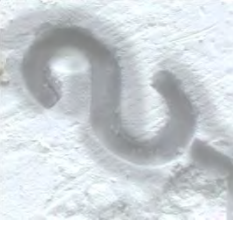












3.3.2 ทดลองช่วงเผาไล่เศษแวกซ์ของ WIC 100A

จากศึกษาหลังจากช่วงอุณหภูมิตีแวกซ์ เนื้อแวกซ์จะถูกเผาจนหมดที่อุณหภูมิ 500°C แต่ยังคงมีเศษขี้เถ้าอยู่ในสถานะปกติไม่มีเข้ป้อน จึงกำหนดช่วงเผาไล่เศษแวกซ์ (Burn) เริ่มที่ 450°C โดยกำหนดสมมุติฐานช่วงอุณหภูมิการทดลอง โดยให้ช่วงการอบไล่ความชื้นสูงสุดที่ 250°C ใช้เวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นค่อยๆปรับอุณหภูมิจาก 250°C ไปถึงอุณหภูมิ 450°C ใช้เวลา 1 ชั่วโมง แล้วคงไว้ 2 ชั่วโมง 30 นาที เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อขั้นตอนการตีแวกซ์ หลังจากนั้น ใช้เวลา 1 ชั่วโมงเพื่อปรับอุณหภูมิที่กำหนดแล้วคงไว้ 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวเพื่อผ่าเข้ป้อน



รูปที่ 3.17 ช่วงอุณหภูมิการเผาไล่เศษแวกซ์ (Burn)

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองช่วงเผาไล่เศษแวกซ์ (Burn) ที่ 450°C

อุณหภูมิ	เข้าที่ 1		เข้าที่ 2	
700 °C				
750 °C				
800 °C				
850 °C				
900 °C				

3.4 สรุป

การวิเคราะห์และประเมินผลการทดลองหลังจากทำการทดลองหาอุณหภูมิการหลอมละลายของวัสดุแวกซ์ WIC 100A ในสภาวะปกติ การทดลองช่วงดีแวกซ์ของ WIC 100A ในเข้าปูนหลังช่วงการอบไล่ความชื้นที่ 250°C และการทดลองช่วงเผาไล่เศษแวกซ์ (Burn) ที่ 450°C เพื่อศึกษาวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง ดีแวกซ์และเผาไล่เศษแวกซ์ แล้วสร้างกราฟช่วงอุณหภูมิและ

เวลาสำหรับการอบเข้าปูนเพื่อหล่อต้นแบบตัวเรือนโลหะด้วยแว็กซ์ wic100a และนำไปพัฒนา
ศักยภาพในการผลิตของผู้ประกอบการทั้งภายในและต่างประเทศให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่อไป



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

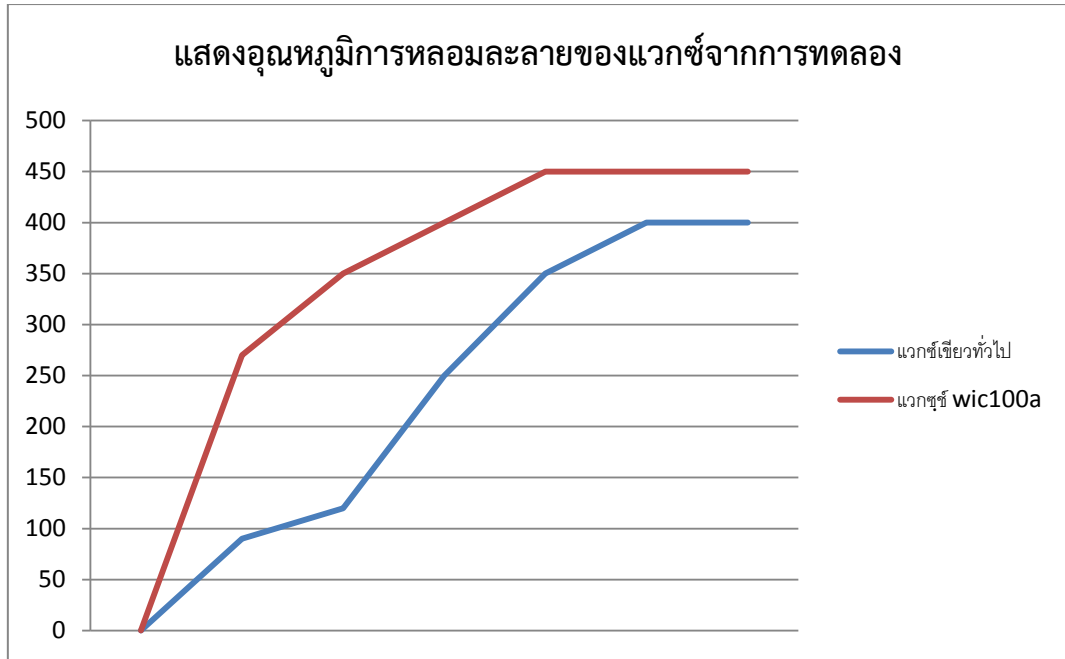
ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้มุ่งทำการศึกษาทดลองหาอุณหภูมิการหลอมละลายของวัสดุแก้ว WIC 100A ในสภาวะปกติ การทดลองช่วงดีแวกซ์ของ WIC 100A ในเบ้าปูนหลังช่วงการอบไล่ความชื้นที่ 250°C และการทดลองช่วงเผาไล่เศษแก้ว (Burn) ที่ 450°C เพื่อศึกษาวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง ดีแวกซ์และเผาไล่เศษแก้ว แล้วสร้างกราฟช่วงอุณหภูมิและเวลาสำหรับการอบเบ้าปูนเพื่อหล่อต้นแบบตัวเรือนโลหะด้วยแก้ว wic100a แสดงผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ทดลองหาอุณหภูมิการหลอมละลายของวัสดุแก้ว WIC 100A

ในสภาวะปกติ

การอบเบ้าปูนเพื่อให้ครบกระบวนการและสมบูรณ์จะประกอบด้วยช่วงใหญ่ ๆ 4 ช่วงใหญ่ๆคือ ช่วงที่ 1 ช่วงอบไล่ความชื้นของปูน ช่วงที่ 2 ช่วงดีแวกซ์ โดย ช่วงที่ 3 ช่วงเผาไล่เศษแก้ว ช่วงที่ 4 ช่วงปรับอุณหภูมิของเบ้าปูนให้เหมาะสมกับโลหะที่จะใช้หล่อตัวเรือน ช่วงอบไล่ความชื้นของปูน จะเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ในระยะแรกจนถึงประมาณ 200°C เนื่องจากในแม่พิมพ์ มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100°C น้ำจะกลายสภาพเป็นไอน้ำ และแทรกตัวออกตามช่องว่างของเนื้อปูนหล่อ หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไอน้ำจะขยายตัว โดยมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่าปูนหล่อ การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้เอง ทำให้เกิดแรงดันภายในปูนหล่อ ลวดลายต่าง ๆ ของแม่พิมพ์จะเกิดความเสียหาย และร้ายแรงที่สุดถึงขั้นทำให้แม่พิมพ์แตกร้าวได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำในแม่พิมพ์ส่วนผสมของสารเคมีจากปูนหล่อ มีใช้อยู่ในรูปของน้ำบริสุทธิ์ ดังนั้นจุดที่น้ำจะกลายเป็นไอ อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 200°C ในการไล่ความชื้นให้หมดไปจากเบ้าปูน จากข้อมูลเบื้องต้นแก้วเขียวทั่วไปจะเริ่มหลอมละลายตั้งแต่อุณหภูมิ 80°C เพราะฉะนั้นการอบเบ้าปูนที่มีต้นแบบตัวเรือนที่สร้างจากแก้วเขียวทั่วไปจะเกิดขึ้น 2 กระบวนการในเวลาและอุณหภูมิที่คล่อมกันอยู่ จึงต้องมีการทดลองเปรียบเทียบเพื่อหาพฤติกรรมการหลอมละลายของแก้ว wic100a

หลังจากทำการทดลองพบว่า แก้วเขียวทั่วไปเริ่มหลอมละลายที่ 90°C จนหลอมละลายหมดที่ อุณหภูมิ 120°C แต่แก้ว wic100a ไม่ปรากฏปฏิกิริยาใดๆ กับเนื้อแก้ว จนที่อุณหภูมิ 270°C ไม่แสดงการหลอมละลายเป็นที่ชัดเจนแต่มีการเริ่มเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างชัดเจน จึงให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 400°C แก้วเขียวทั่วไปจะถูกเผาไหม้เกือบทั้งหมดแต่แก้ว wic100a ยังแสดงให้เห็นคราบสีดำชัดเจน จนอุณหภูมิถึง 450°C คราบสีดำของแก้วทั้งสองชนิดหายไป



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบการหลอมละลายของแก้วซี

จึงสรุปได้ว่า กรณีที่ต้นแบบตัวเรือนแก้วซีวัสดุ wic100a ในสภาวะปกติกระบวนการตีแก้วซีจะ
ไม่มีการหลอมละลายของเนื้อแก้วซีแต่จะเริ่มเผาไหม้แทน โดยเริ่มที่อุณหภูมิ 270-450°C ลักษณะ
การตีแก้วซีจึงแตกต่างจากแก้วซีเขียวทั่วไปที่นิยมนำมาทำตัวเรือน

4.2 ผลการวิเคราะห์ทดลองทดลองศึกษาพฤติกรรมการหลอมละลายของวัสดุแก้วซี WIC 100A ในสภาวะในเบ้าปูนโดยการอบเบ้า

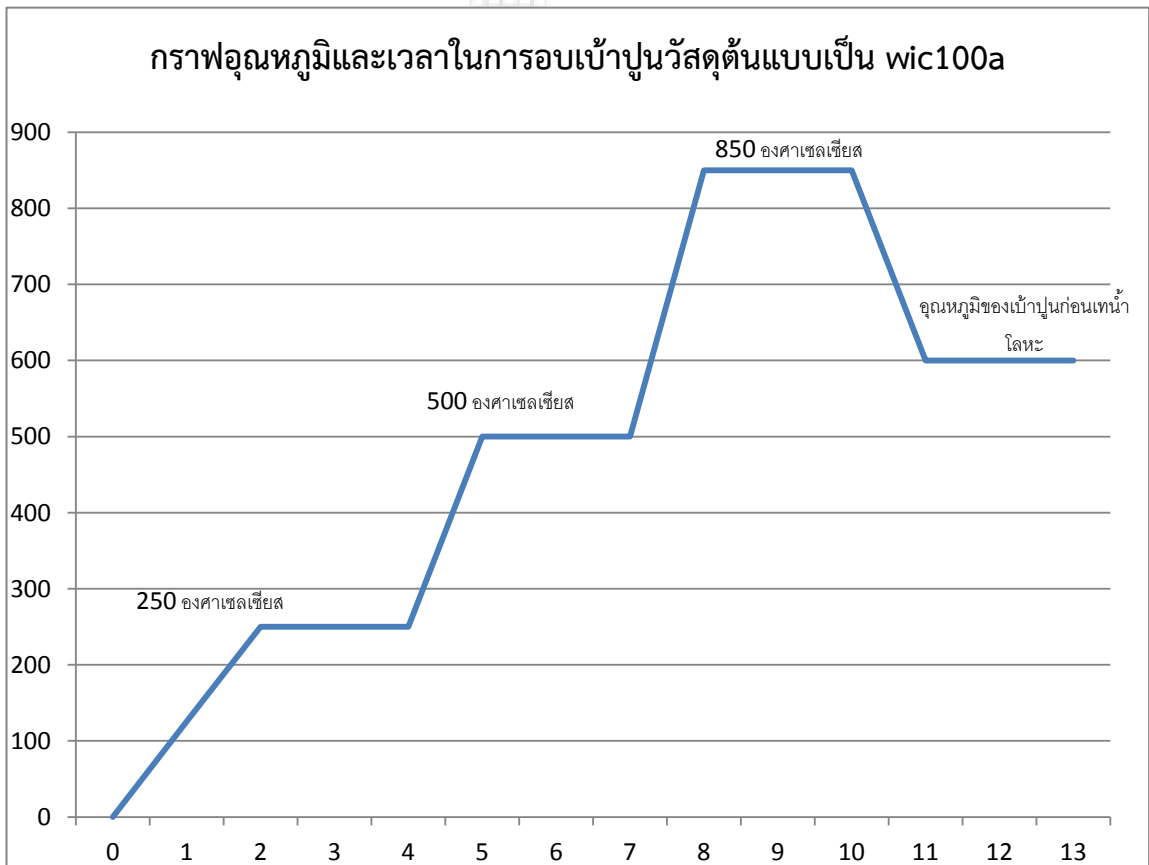
4.2.1 ช่วงตีแก้วซี

เมื่อได้ช่วงอุณหภูมิการตีแก้วซีจากการหลอมละลายของวัสดุแก้วซี WIC 100A ในสภาวะ
ปกติซึ่งอยู่ในช่วง 270-450°C จึงนำมากำหนดการทดลองในภาวะในเบ้าปูน โดยใช้เบ้าเหล็กขนาด
ขนาด 3.5x4 นิ้ว สำหรับเทปูน หลังจากกระบวนการไล่ความชื้นออกจากเบ้าปูนแล้วเข้าสู่การทดลอง
การตีแก้วซีจากการทดลองพบว่าสภาพของชิ้นงานตัวอย่างต้นแบบที่อุณหภูมิ 350°C เริ่มมีร่องรอย
การเผาไหม้ของเนื้อแก้วซี แต่ยังคงสภาพชิ้นงานสมบูรณ์อยู่เนื้อแก้วซียังอยู่ครบเกือบร้อยละ
จนเมื่ออุณหภูมิของเบ้าปูนถึง 450°C การเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้เนื้อแก้วซีสูญหายไป
บางส่วนแต่ยังคงมีเนื้อแก้วซีติดตามผนังโพรงปูนเห็นได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อให้อุณหภูมิถึง 500°C เนื้อ
แก้วซีจะถูกเผาไหม้จนหมด คงคราบสีดำให้เห็นเท่านั้น ที่อุณหภูมิ 550°C คราบสีดำจะเริ่มถูกเผาไหม้
ทำให้คราบสีดำจางลง

4.2.2 ช่วงเผาไล่เศษแว็กซ์

จากการทดลองช่วงเผาไล่เศษแว็กซ์ที่อุณหภูมิ 700°C ใช้ วัสดุแว็กซ์ WIC 100A มีแต่ส่วนที่ซึมเข้าผนังปูนขยายตัวออกไป อย่างเห็นได้ชัด ที่อุณหภูมิ 750°C มีแต่ส่วนที่ซึมเข้าผนังปูนที่ขยายตัวออกไปเริ่มลดลง ที่อุณหภูมิ 800°C ส่วนที่ซึมเข้าผนังปูนนั้น ถูกเผาระเหยออกไปหมดแล้ว แต่ยังคงมีคราบสีเทาอ่อนๆ ติดอยู่ตามผิวโพรงแบบ ที่อุณหภูมิ 850°C โพรงแบบสะอาดไม่มีคราบติดตามโพรงแบบ ที่อุณหภูมิ 900°C มีสภาพเดียวกันกับอุณหภูมิ 850°C

จึงสรุปได้ว่า กระบวนการตีแว็กซ์ของ wic100a จะไม่มีการไหลของเนื้อแว็กซ์แต่จะเป็นการเริ่มเผาไหม้ของเนื้อแว็กซ์ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่อุณหภูมิที่ 270-500°C หลังจากนั้นก็จะเข้าสู่กระบวนการเผาไล่เศษแว็กซ์เข้าของแว็กซ์ต่อเนื่องกันไปจนถึงอุณหภูมิที่ 850°C คืออุณหภูมิสูงสุดที่ทำให้โพรงแบบสะอาดที่สุดไม่มีเศษแว็กซ์เข้าของเนื้อแว็กซ์หลงเหลืออยู่ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบเข้าปูนด้วยวัสดุต้นแบบตัวเรือนเป็น wic100a ได้ดังในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบเข้าปูนด้วยวัสดุต้นแบบตัวเรือนเป็น wic100a

4.3 ทดสอบกราฟอุณหภูมิและเวลาที่ได้จากการวิเคราะห์

หลังจากได้กราฟอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบเข้าปูนด้วยวัสดุต้นแบบตัวเรือนเป็น wic100a นำมาทดลองเพื่อทดสอบว่าเป็นไปตามการวิเคราะห์หรือไม่ โดยกำหนดอุณหภูมิสูงสุดไว้ 3 ช่วงอุณหภูมิคือ 750°C 800°C และ 850°C เพื่อเปรียบเทียบกับผลในตารางที่ 3.3



รูปที่ 4.3 ชิ้นงานหล่อเมื่อเผาเข้าปูนเพื่อไล่เศษแวกซ์ ที่ 750°C แล้วลวดอุณหภูมิเพื่อเทโลหะเงิน



รูปที่ 4.4 ชิ้นงานหล่อเมื่อเผาเข้าปูนเพื่อไล่เศษแวกซ์ ที่ 800°C แล้วลวดอุณหภูมิเพื่อเทโลหะเงิน



รูปที่ 4.5 ชิ้นงานหล่อเมื่อเผาเข้าปูนเพื่อไล่เศษแวกซ์ ที่ 850°C แล้วลวดอุณหภูมิเพื่อเทโลหะเงิน

จากการทดลองทดสอบพบว่าความสะอาดของโพรงแบบจะส่งผลต่อชิ้นงานเมื่อนำไปหล่อเป็นโลหะ ลักษณะของชิ้นงานเป็นไปตามสภาพของผลการทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอุณหภูมิการหลอมละลายของวัสดุแก้ว WIC 100A ในสภาวะปกติ การทดลองหาอุณหภูมิช่วงดีแก้ว และอุณหภูมิเผาไล่เศษ คณะวิจัยได้ทำการทดลองและวิเคราะห์เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

5.1 สรุป

ผลจากการศึกษาปัญหาในงานหล่อเพื่อการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่ ด้วยการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์และสร้างต้นแบบแก้วจากวัสดุ Wic100a โดยการศึกษาการหลอมละลายของวัสดุ ทดลองหาช่วงอุณหภูมิการดีแก้วและช่วงเผาไล่เศษ สรุปได้ดังนี้

5.1.1 ปัญหาการหล่อไม่สมบูรณ์เกิดจากการนำกราฟอุณหภูมิและเวลาการอบเข้าปูนของแก้วเขียวทั่วไป นำไปใช้ในการอบเข้าปูนที่มีต้นแบบเป็นวัสดุที่ได้จากการผลิตสมัยใหม่วัสดุ wic100a ซึ่งวัสดุใช้อุณหภูมิไม่ถูกต้องทำให้มีการตกค้างของซีเถ้าของแก้วที่ยังหลงเหลืออยู่ในโพรงแบบ ทำให้ชิ้นงานมีผิวที่ไม่สะอาด อีกทั้งมีรูพรุน

5.1.2 แก้ว wic100a ไม่หลอมละลายในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 270 องศาเซลเซียส แต่จะเกิดการเผาไหม้แทนโดยใช้อุณหภูมิเผาให้ตั้งแต่ 270-450 องศาเซลเซียส และต้องใช้อุณหภูมิในการเผาไล่ซีเถ้าแก้วถึง 850 องศาเซลเซียส

5.1.3 ความสมบูรณ์ของชิ้นงานตัวเรือนโลหะเงินสเตอร์ลิงค์ 925 หลังจากใช้อุณหภูมิจากการทดลองนำไปอบเข้าปูนแล้วน้ำเข้าปูนไปหล่อตัวเรือนชิ้นงานจะสมบูรณ์มากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในกระบวนการอบเข้าปูนที่ใช้ต้นแบบจากวัสดุแก้ว wic100a ต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อเผาไล่เศษซีเถ้าแก้วที่หลงเหลือในโพรงแบบ ดังนั้นควรเลือกปูนที่สามารถทนความร้อนได้สูง

5.2.2 ควรมีการศึกษาทดลองเพิ่มเติม โดยการเปรียบเทียบลักษณะรูปแบบของชิ้นงานต้นแบบแก้วเฉพาะส่วน เช่น หนามเตย ผิว ของตัวเรือน

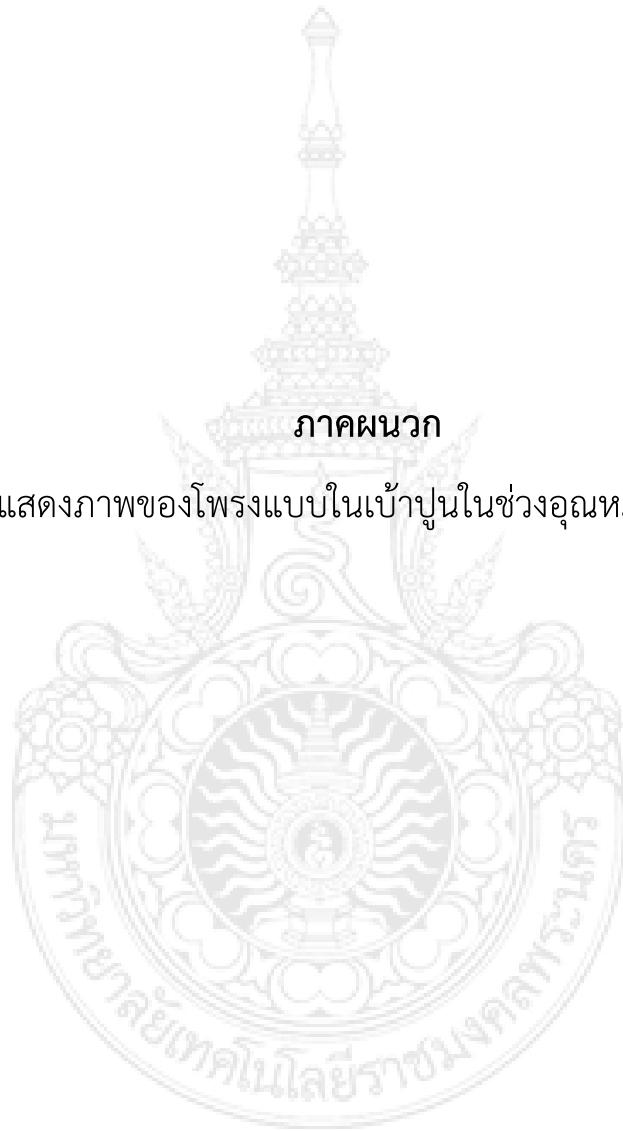
5.2.3 ควรมีการออกแบบเข้าเหล็กให้ง่ายต่อการแกะปูนออกจากเข้าเหล็ก

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. มอก.21-2515 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องเงิน. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหกรรม 2515.
- [2] สมนึก วัฒนศรีกุล และคณะ. โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.), 2544.
- [3] เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร และคณะ. คู่มือแนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในชิ้นงานหล่อเครื่องประดับ. ส่วนอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2549
- [4] อภิรัฐ โกสิตานนท์ และคณะ.อิทธิพลของอุณหภูมิหล่อและความเร็วรอบในการเหวี่ยงที่มีผลต่อความสามารถในการไหลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะสังกะสีผสมในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยง. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554.
- [5] เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร. เทคโนโลยีและวัสดุที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ. เอกสารประกอบการบรรยาย 19 กรกฎาคม 2553.
- [6] เพ็ญศรี ทองนพคุณ. การวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการหล่อในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ. กรุงเทพมหานคร : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม,2554
- [7] คุณยุต เอี่ยมสะอาด. “การพัฒนาโปรแกรมสำหรับเครื่องสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว ภาคคำนวณ” วิศวกรรมสาร มก. 69(2552),13-23.
- [8] กิตตินาถ วรรณิสสร, และคุณยุต เอี่ยมสะอาด. การสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบรวดเร็วด้วยเทคโนโลยีการขึ้นรูปทีละชั้น. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ประจำปี 2552.
- [9] Steve Upcraft, and Richard Fletcher. “The rapid prototyping technologies” Assembly Automation. Volume 23 Number4:2003, University Boulevard, Nottingham.pp.318–330.

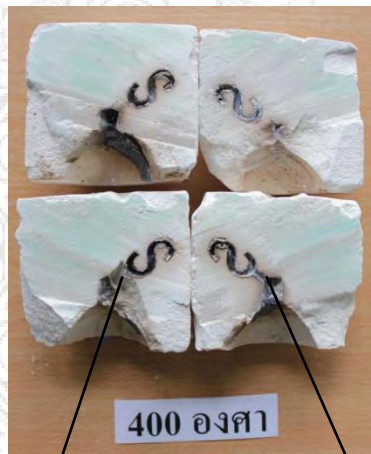
ภาคผนวก

แสดงภาพของโพรงแบบในเข่าปูนในช่วงอุณหภูมิต่างๆ





350 องศา



400 องศา



