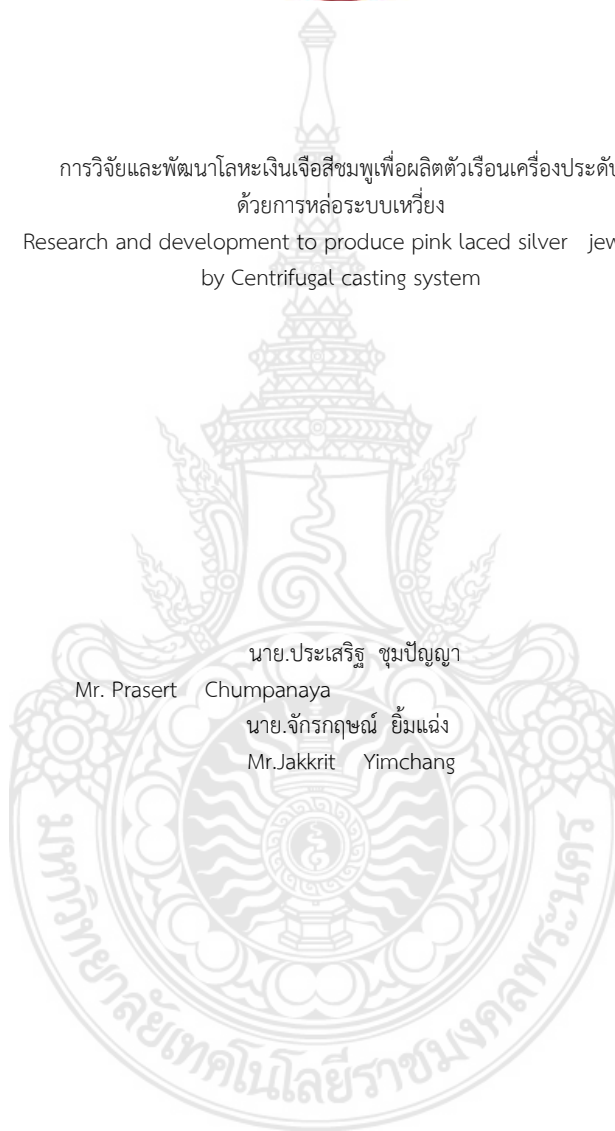




การวิจัยและพัฒนาโลหะเงินเจือสีชมพูเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ
ด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง
Research and development to produce pink laced silver jewelry
by Centrifugal casting system



นาย.ประเสริฐ ชุมปัญญา
Mr. Prasert Chumpanaya
นาย.จักรกฤษณ์ ยิ้มฉ่าง
Mr.Jakkrit Yimchang

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2558
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้กล่าวถึงการผสมโลหะเงินสีชมพูโดยใช้เม็ดเงินบริสุทธิ์ผสมอัลลอยอัตราส่วนเงิน 58.00% และใช้การตรวจสอบค่าวิเคราะห์ระดับสี โดยเทียบกับ โลหะเงิน 925 ภายใต้ปริมาณโลหะเงินประมาณ 58.40 % อัลลอย 41.60% ผลจากการศึกษาดังกล่าว ผู้วิจัยได้ใช้ยึดส่วนผสมข้างต้นเป็นต้นแบบในการพัฒนาส่วนผสมของโลหะเงินเพื่อให้ได้คุณลักษณะของสีชมพูโดยการวิเคราะห์สี (Color Analysis) จากการทดสอบสีของโลหะเงินเจือสีชมพูที่อัตราส่วนเงิน 116.80 อัลลอย 83.20 wt.% มีความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L 67.17 a=9.60 b=2.04 เป็นส่วนผสมของเงินบริสุทธิ์ผสมอัลลอยที่สามารถนำไปใช้ผลิตเครื่องประดับโลหะเงินเจือสีชมพูเพื่อใช้ ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับได้เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

Abstract

This paper discusses the mixed alloy silver pink by spending innocent Alloy capital ratio of 58.00% and check the analysis of color against Silver 925 under the metal content of about 58.40% alloy 41.60% result. According to the study, the researchers used to hold above ingredients prototype to develop a mixture of silver to feature pink by analyzing the color (Color Analysis) tested the color of silver mixed pink capital ratio of 116.80 alloy. 83.20 wt.% has a shiny bright color space, the L 67.17 a = 9.60 b = 2.04, a compound that can be used to produce silver mixed pink. In the manufacturing industry, has for the user.

Mr. Prasert Chumpanaya

Researcher

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินงานของ สาขาวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์ เครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ให้ได้รับอนุมัติงบประมาณ โครงการวิจัยเงินงบประมาณประจำปี 2558 ผู้วิจัยขอ ขอบคุณ อาจารย์ เจ้าหน้าที่สาขา วิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ ที่อนุญาต ให้ใช้เป็น สถานที่เก็บข้อมูลแหล่งค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้ และใช้เครื่องหล่อเครื่องประดับ การ เลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการทำการหล่อเครื่องประดับจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลในวงการวิชาการการเรียนการสอนและเผยแพร่สู่ช่างเครื่องประดับ

นาย.ประเสริฐ ชุมปัญญา

๓๐ กันยายน ๒๕๕๘



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูปภาพ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 โลหะที่ใช้ทำเครื่องประดับเงิน	3
2.1.1 ลักษณะของโลหะที่นำมาทำตัวเรือนเครื่องประดับ	3
2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property)	4
2.1.3 ความหนาแน่น (Density)	5
2.2 อลลอยหรือ โลหะเจือ (alloy)	5
2.3 การวัดสี	6
2.3.1 แหล่งกำเนิดแสง	6
2.3.2 วัสดุที่มอง	7
2.3.3 การสังเกตการณ์	8
2.3.4 การวัดระดับสี	10
2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
2.4.1 การหล่อเหรียญ	11
2.4.2 เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ	22
2.4.3 เทียน(Wax)ต้นแบบ	24
2.4.4 การคำนวณหาน้ำหนักของโลหะ	32
2.4.5 การผลิตแม่พิมพ์ยาง	33
2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3	วิธีการดำเนินงาน	38
3.1	แผนการดำเนินงาน	38
3.2	วัสดุเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการทดลองศึกษาวิจัย	39
3.2.1	วัสดุ	39
3.2.2	เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการศึกษาวิจัย	39
3.3	การหลอมผสมโลหะเพื่อผลิตเป็นมาสเตอร์อัลลอย	39
3.4	การดำเนินการหลอมผสมโลหะและหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.%	41
3.5	การศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติ โครงสร้าง	44
3.5.1	การวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี	44
3.5.2	การวิเคราะห์ตรวจสอบสี	44
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์	46
4.1	การศึกษาโลหะเงินผสม 58% (wt%)	46
4.1.1	การวิเคราะห์ทดสอบค่าระดับสี	46
4.1.2	การวิเคราะห์ทดสอบโครงสร้างของค่าระดับสี	52
4.1.3	ผลการวิเคราะห์ทดสอบโครงสร้างของค่าระดับสี	53
4.2	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของการทดสอบค่าระดับสี	55
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	56
5.1	สรุปผล	56
5.2	ข้อเสนอแนะ	57
	บรรณานุกรม	58

สารบัญตาราง

ตาราง ที่		หน้า
2-1	คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะเงิน, ทองแดง, อินเดียม, ฟอสฟอรัส คุณสมบัติ ต่างๆ	4
2-2	ความหนาแน่นของโลหะเงินหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ	5
3-1	อัตราการผสมของชั้นทดสอบสำหรับการศึกษาวิจัย Ag + Alloy	41
4-1	ผลการวิเคราะห์ทดสอบค่าระดับสีอัตราการผสมของชั้นทดสอบสำหรับการ ศึกษาวิจัย Ag + Alloy ค่าปริภูมิสี CIELAB	52



สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	โครงสร้างของโลหะเจือ	6
2-2	ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุทึบแสง	7
2-3	ลักษณะการทะลุผ่านแสงของวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใส	8
2-4	การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ: Hue บรรยายถึงเฉดสี และ Chroma บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี	9
2-5	การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ	9
2-6	พิกัดการวัดสี	11
2-7	เครื่องหล่อแบบเหวี่ยง	12
2-8	เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ	15
2-9	ชุดหลอดไฟฟ้าในเครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ	16
2-10	การตั้งเครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ	16
2-11	ตัวอย่างคุณสมบัติการทำงานของเครื่องอบ	19
2-12	คุณสมบัติมาตรฐานกระบอกหล่อ	20
2-13	ลักษณะของเทียนสีเขียว	25
2-14	ลักษณะของเทียนสีชมพู	25
2-15	ลักษณะของเทียนสีน้ำเงิน	26
2-16	การติดตั้งเทียน	28
2-17	เครื่องอัดพิมพ์ยาง	36
3-1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	38
3-2	เครื่องหลอมเทเม็ดยโลหะ	40
3-3	มาสเตอร์อัลลอย	40
3-4	แม่พิมพ์ยาง	42
3-5	ต้นแบบแม่พิมพ์สำหรับหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบสำหรับการทดสอบความระดับดี	42
3-6	เครื่องหล่อเหวี่ยง	42
3-7	ขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการหลอมโลหะและหล่อต้นแบบ	43
3-8	ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากการหล่อต้นแบบ	44

3-9	ลักษณะการขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายน้ำ	45
4-1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมที่มีผลต่อค่าปริภูมิสี a^* b^* และ L ค่า a b L มากจะให้สีชมพูขาว (สว่าง)	53
4-2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมที่มีผลต่อค่าปริภูมิสี a และ L ส่วนผสมที่ให้ค่า a L มากจะให้สีชมพูขาว (สว่าง)	53
4-3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมที่มีผลต่อค่าปริภูมิสี b^* L ส่วนผสมที่มีค่า b L มากจะให้สีชมพูขาว (สว่าง)	53
4-4	ค่าระดับสีค่าปริภูมิสี CIELAB	54
4-5	ส่วนผสม 116.80 $\pm$ 83.20 wt.% ขยาย 300X	55
4-6	ส่วนผสม 116.80 $\pm$ 83.20 wt.% ขยาย 500X	55



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาทุกวงการอุตสาหกรรม วงการอุตสาหกรรมการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับก็ได้รับประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าว เพื่อช่วยในการผลิต โดยที่เทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาย่อมช่วยส่งเสริมให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพิ่มขึ้นแต่ก็ต้องใช้ต้นทุนที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากการพัฒนามักไม่ได้เกิดขึ้นภายในประเทศ การนำเข้าเทคโนโลยีและเครื่องจักรจึงกลายเป็นต้นทุนที่เพิ่มขึ้นของผู้ประกอบการ แต่เพื่อให้สามารถแข่งขันหรือสร้างโอกาสทางการค้า ผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมอัญมณีต่างยินยอมที่จะลงทุนในการพัฒนาทั้งทางด้าน เครื่องจักร กระบวนการผลิต และบุคลากร เพื่อให้การประกอบการเกิดผลกำไรสูงสุด คือทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการที่มีกำลังหรือขีดความสามารถในด้านต้นทุน

จากปัจจัยในข้างต้น จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับนิยมใช้วัสดุเดิม ๆ เช่น วัสดุเงิน ทองคำ ทองคำขาว ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีราคาแพงในปัจจุบัน และคาดว่าราคาจะแพงขึ้นอีกในอนาคต วัสดุที่ใช้ในการผลิตยังเป็นวัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศ ความรู้พื้นฐานสำหรับทางด้านโลหะวิทยาโลหะมีค่าสามารถใช้เป็นทางเลือกสำหรับการปฏิบัติงานของในภาคอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ในกระบวนการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับจากโลหะ ซึ่งจะประกอบไปด้วยขั้นตอนพื้นฐานต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ การออกแบบตัวเรือน, สร้างขึ้นงานต้นแบบ (Master Pattern), การทำแม่พิมพ์ยาง, การฉีดเทียนเพื่อให้ได้กระสวน (Pattern), การติดต้นเทียน การทำแบบปูนหล่อ, การหล่อขึ้นรูป, การขัดตกแต่งทำความสะอาดผิว, การฝังอัญมณีหรือหินมีค่า (Gems Stone), การขัดผิวสำเร็จและการบรรจุภัณฑ์ตามลำดับ จึงถือเป็นหัวใจสำคัญในการสร้างรายได้ความสามารถที่จะเข้าถึงวัตถุดิบเทคโนโลยี จากการศึกษาค้นคว้าเบื้องต้นในการส่งเสริมความยั่งยืนของอุตสาหกรรมพบว่าเทคโนโลยีที่อุตสาหกรรมมีความต้องการในขณะนี้คือ วัสดุทดแทนเพื่อการผลิตเครื่องประดับด้วยการหล่อเหวี่ยงซึ่งจะช่วยเพิ่มผลผลิต และสามารถนำมาซึ่งการพัฒนากระบวนการผลิต

ดังนั้นผู้ทำวิจัย จึงมีความสนใจที่จะทำงานวิจัย หัวข้อเรื่อง “เรื่อง การวิจัยและพัฒนา โลหะเงินเจือสีชมพูเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง ” เพื่อศึกษาและพัฒนาวัสดุทดแทนให้แนวทางในการลดต้นทุนด้านวัสดุและกระบวนการผลิตเครื่องประดับอัญมณีให้มีประสิทธิภาพ สามารถนำไปพัฒนาองค์ความรู้และการต่อยอดภูมิปัญญาให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์หรือสาธารณะต่อไป ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชน อย่างยั่งยืนของช่างเครื่องประดับของไทย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาโลหะเงิน 58.00 % ผสมอัลลอย เพื่อเป็นต้นแบบที่มีคุณสมบัติของสีชมพู เพื่อใช้ทดแทนเงินสเตอร์ลิง 925

1.2.2 ศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเงิน 58.00 % ผสมอัลลอย เพื่อเป็นต้นแบบโลหะเงินที่มีสีชมพู

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาส่วนผสมของวัสดุเงิน + อัลลอย อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อผลิตโลหะเงินเจือสีชมพู

1.3.2 สร้างชิ้นงานเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงอัตราส่วนผสมของโลหะเงินเจือสีชมพู

1.4.2 ได้โลหะเงินสีชมพูที่เปอร์เซ็นต์เงินบริสุทธิ์ 58.00%

1.4.3 ได้โลหะเงินสีชมพูที่เหมาะสมสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะที่ใช้ทำเครื่องประดับเงิน

เงิน (Silver)เงินเป็นโลหะสีขาว มีสมบัติการนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีในธรรมชาติอาจรวมอยู่ในแร่อื่นๆหรืออยู่อิสระ เงินใช้ประโยชน์ในการทำเหรียญ เครื่องประดับ ภาชนะบนโต๊ะอาหาร และอุตสาหกรรมการถ่ายภาพ โลหะเงินจัดเป็นโลหะที่มีค่าและมีความขาวมากที่สุด เนื่องจากเนื้อเงินแท้100% จะมีความอ่อนนุ่มมาก และง่ายต่อการโดนทำลาย ดังนั้นในการทำเครื่องประดับ จึงจำเป็นต้องมีการผสมด้วยวัสดุอย่างอื่น เพื่อให้สามารถขึ้นรูป และมีความแข็งแรงขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถนำมาทำเป็นเครื่องประดับได้ โดยส่วนใหญ่อีก7.5% ที่เหลือมักจะใช้ทองแดงมาผสม แต่อาจจะมีบางแห่งที่ใช้วัสดุอย่างอื่นมาผสมแทน แต่ที่ใช้กันมานานจะเป็นทองแดง เนื่องจากราคาไม่แพง และหาได้ง่าย มีอยู่มากมาย ดังนั้นนักออกแบบส่วนมากจะเลือกใช้ทองแดงมาผสมกับเงิน 100 % ที่เรียกกันว่าเงินสเตอร์ลิง (Sterling Silver)

2.1.1 ลักษณะของโลหะที่นำมาทำตัวเรือนเครื่องประดับ

- ความมันวาวโลหะที่จะนำมาทำตัวเรือนเครื่องประดับควรจะมี ความมันวาวสูง สามารถสังเกตได้หลังจากผ่านขั้นตอนการขัดชิ้นงาน ผิวของโลหะสามารถสะท้อนแสงจนเห็นเงาได้ โลหะเงินจะมีความมันวาวสูง เนื่องจากมีความแข็งต่ำสามารถเกิดรอยขีดขุดได้ง่ายจึงง่ายต่อการขัด
- ความอ่อนตัวหมายถึง สามารถดัด โค้งงอได้ง่าย จนกระทั่งการรีดเป็นแผ่น ทำเกลียว ดึงลวด และสามารถขึ้นรูปโดยที่เนื้อโลหะไม่แตกหรือร้าว แต่มีคุณสมบัติน้อยกว่าทองคำบริสุทธิ์ เงินบริสุทธิ์
- การนำความร้อนโลหะที่นำมาทำตัวเรือนเครื่องประดับควรนำความร้อนได้ดีและเร็ว และรวดเร็วเช่น โลหะเงินสามารถนำความร้อนได้ดีและเร็ว

- ปฏิกริยาทางเคมีโลหะทุกชนิดจะมีส่วนผสมของธาตุต่างๆเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศจะทำให้งานหมองหรือเกิดสนิมได้โลหะเงินและทองแดงจะดำเมื่ออยู่ร่วมกับกำมะถันหรือของมันและเกิดสนิมเร็วเมื่อโดนความร้อนสามารถทำความสะอาดด้วยกรดกำมะถันการนำไฟฟ้าโลหะทุกชนิดจะสามารถนำไฟฟ้าได้ดีโดยเฉพาะโลหะเงินสามารถนำไฟฟ้าได้ดีที่สุดปัจจุบันได้นำหลักการนี้ไปใช้ในการเคลือบผิวเครื่องประดับที่ทำจากโลหะไม่มีค่าให้มีค่ามากขึ้น

2.1.2 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	2,8,18,18, 1	2,8,18,1	2,8,18,18,3	2,8,5
น้ำหนักอะตอม	107.868	63.54	114.82	30.974
จุดหลอมเหลว (°C)	960.8	1083	156.81	44.3
จุดเดือด (°C)	2210	2593	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	tetragonal	triclinic
ความจุความร้อนจำเพาะ (cal/g.°C)	0.0559	0.092	0.0548	0.1833
ความร้อนในการหลอมละลาย (cal/g)	25	50.6	-	-
การนำความร้อน (cal/cm ² /cm/s/°C)	1	0.941	-	-
ความแข็ง (HB)	30	37	-	-

2.1.3 ความหนาแน่น (Density)

โลหะเงินบริสุทธิ์มีความหนาแน่นเท่ากับ 10.49 g/cc ที่ อุณหภูมิ 20°C ค่าความหนาแน่นของโลหะเงินยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต การขึ้นรูปและการขึ้น รูปในลักษณะต่างๆ อาทิ เช่น การหล่อขึ้นรูป การรีด การตัดและการกดลากขึ้นรูป นอกจากนี้ค่าความ หนาแน่นยังขึ้นอยู่กับกรรมวิธีทางความร้อนต่างๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น การอบเป็น เนื้อเดียว การอบอ่อน และการอบเพิ่มความแข็ง ค่าความหนาแน่นของโลหะเงินที่เปลี่ยนแปลงตาม อุณหภูมิสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 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

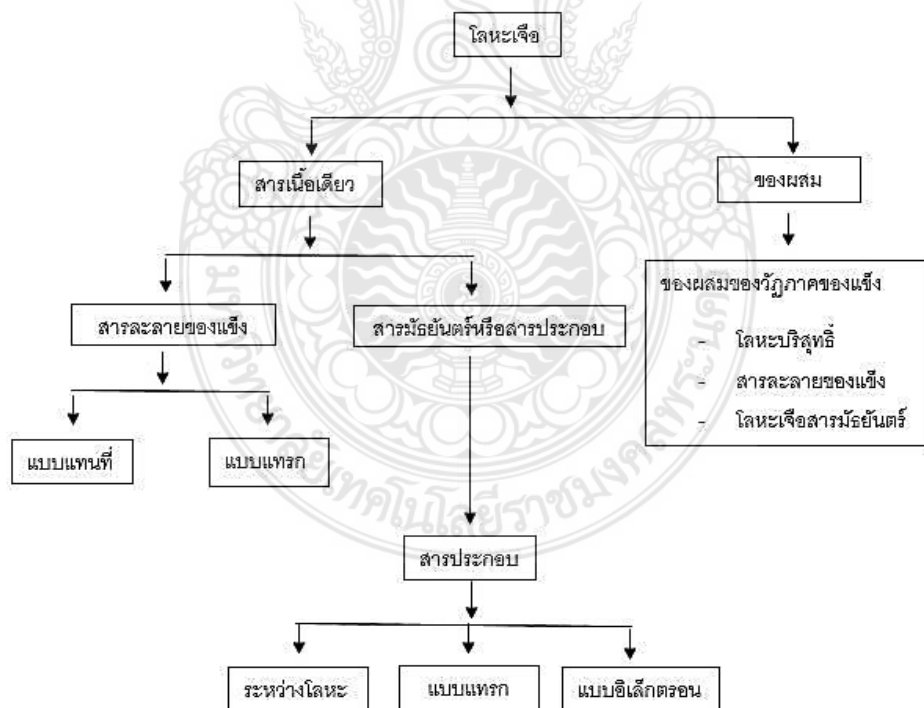
2.2 อัดลอยหรือ โลหะเจือ (alloy)

อัดลอย หรือ โลหะเจือคือวัสดุที่เกิดจากการรวมกันของโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยวัสดุโลหะเจือที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากส่วนประกอบเดิม โลหะเจือถ้าเกิดจากโลหะ 2 ชนิด

เรียกว่าไบนารีอัลลอย (binary alloy), 3 ชนิด เรียกว่าเทอร์นารีอัลลอย (ternary alloy), 4 ชนิด

เรียกว่าควอเตอร์นารีอัลลอย (quaternary alloy) ได้แก่ ทองแดง อะลูมิเนียมแมกนีเซียม นิกเกิล ดีบุก ตะกั่ว สังกะสีโลหะอื่นๆ มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น การหล่อหลอมง่ายการตีขึ้นรูปง่ายการกลึงได้ ตกแต่งขึ้นรูปง่าย การต้านทานต่อการกัดกร่อนน้ำหนักเบา คุณสมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนสูง มีสีสันทึ สวยงาม เป็นต้น

วิวัฒนาการของโลหะเจือ ในสถานะของแข็งเนื้อเดียวโลหะเจือมีวิวัฒนาการที่จะเป็นไปได้สามแบบ คือ โลหะบริสุทธิ์ โลหะเจือสารมัธยันตร์ หรือสารประกอบ และสารละลายของแข็ง แต่ถ้าอยู่ในรูปของผสม โลหะเจือนั้นจะประกอบด้วยวิวัฒนาการต่างๆ รวมกัน ซึ่งอาจเป็นของผสมของโลหะบริสุทธิ์สองชนิด หรือของผสมของสารละลายของแข็งสองชนิด หรือสารประกอบสองชนิด หรือเป็นของผสมของโลหะบริสุทธิ์กับสารละลายของแข็งและอื่น ๆ



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของโลหะเจือ

2.3 การวัดสี (Color Measuring)

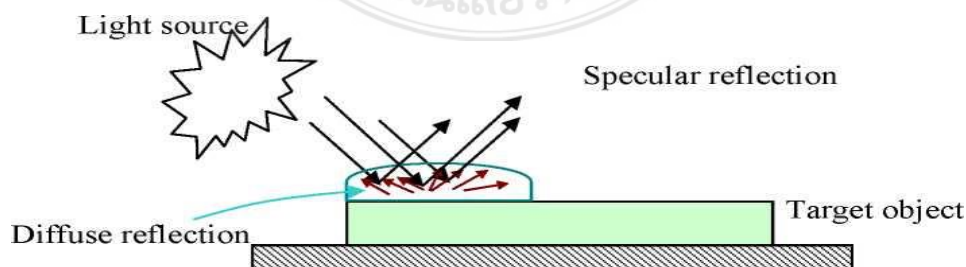
ปัจจัยที่ทำให้เกิดสีมีอยู่ 3 ประเภท คือ

2.3.1. แหล่งกำเนิดแสง (light source)

แหล่งกำเนิดแสงมีผลอย่างมากในการบรรยายสีของวัตถุ แหล่งกำเนิดแสงถ้ามีแสงแตกต่างจากแสงขาวเมื่อตกกระทบกับวัตถุจะทำให้แสงที่สะท้อนกลับมาเกิดสีที่แตกต่างไป เช่น แสงจากหลอด incandescent จะให้แสงสีส้ม ในขณะที่ Fluorescent จะให้แสงขาวเย็น

2.3.2. วัตถุที่มอง (specimen)

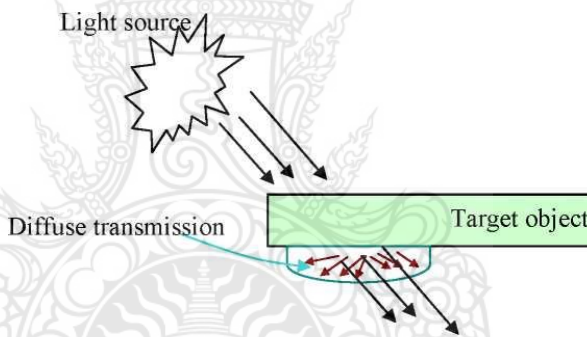
วัตถุที่ทึบแสง (opaque) จะให้การสะท้อนของแสงเพื่อเกิดสีแตกต่างจากวัตถุที่โปร่งแสง (translucent) และโปร่งใส (transparent) ลักษณะของการตกกระทบของแสงบนวัตถุเมื่อวัตถุทึบแสงได้รับแสงกระทบจากภายนอก การสะท้อนแสงจะมีอยู่ 2 ส่วนคือ การสะท้อนแสงเสมือนจริง (specular reflection) และการสะท้อนแสงกระจาย (diffuse reflection) การสะท้อนแสงเสมือนจริงคือการสะท้อนแสงกลับจากวัตถุที่เหมือนและมีขนาดใกล้เคียงกับแสงตกกระทบแต่ทิศทางตรงข้ามการสะท้อนแสงเสมือนจริงจะแสดงออกมามากที่สุดเพียง 4% ของการสะท้อนแสงทั้งหมด (total reflection) ซึ่งจะเกิดในกรณีที่วัตถุมีผิวมันเงา 100% ดังนั้นการสะท้อนแสงเสมือนจริงในวัตถุที่มีผิวมันเงาจะมากกว่าวัตถุผิวด้านและผิวขรุขระตามลำดับส่วนการสะท้อนแสงกระจายเป็นการสะท้อนแสงที่บริเวณผิวจากวัตถุไปทุกทิศทางและมีขนาดเล็กกว่าแสงที่ตกกระทบมาก ซึ่งการสะท้อนแสงกระจายนี้เองเป็นส่วนของการสะท้อนที่ใช้ในการวัดเฉดสีการสะท้อนแสงทั้งหมด (total reflection) = specular reflection + diffuse reflection



รูปที่ 2-2 ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุทึบแสง

สำหรับวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใสแสงจะทะลุผ่านวัตถุได้แตกต่างกัน วัตถุโปร่งแสงจะมีความขุ่นอยู่ภายในเนื้อและจะดูดกลืนแสงบางส่วนไว้สำหรับวัตถุโปร่งใส นั้น แสงจะถูกดูดกลืนในเนื้อ วัตถุเป็นส่วนใหญ่ การทะลุผ่านแสงมี 2 รูปแบบคือ การทะลุผ่านปกติ (regular transmission) และ การทะลุผ่านกระจาย (diffuse transmission) ถ้าวัตถุโปร่งแสงหรือมีความขุ่น เช่น กระจกทึบ การทะลุผ่านปกติจะน้อยกว่าวัตถุวัตถุโปร่งใส การวัดสีของวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใสจะวัดที่ diffuse transmission ลักษณะเดียวกับการวัดสีแบบหลักการสะท้อนของแสงการทะลุผ่านแสงทั้งหมด (total transmission) = regular transmission + diffuse transmission

2.3.3. การสังเกตการณ์ (observer)

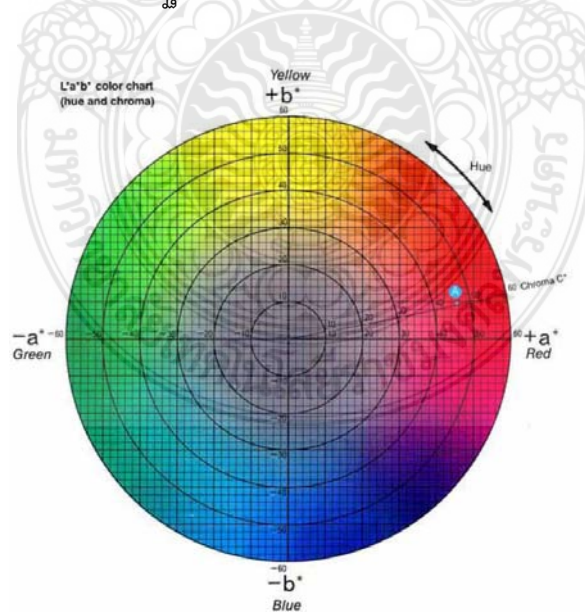


รูปที่ 2-3 ลักษณะการทะลุผ่านแสงของวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใส

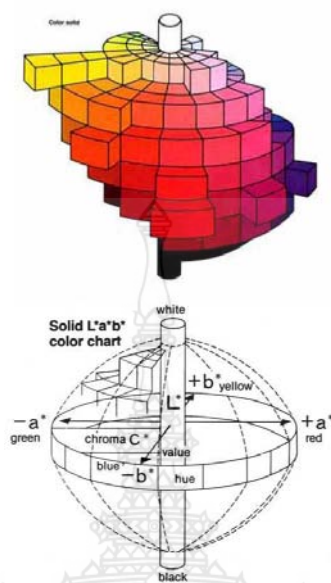
สังเกตการณ์นั้นมีผลอย่างยิ่งต่อการบรรยายสีที่มองเห็นผู้สังเกตการณ์ต่างคนจะบรรยายลักษณะสีต่างกันขึ้นอยู่กับสรีระทางกายภาพของตาแต่ละคน ในร่างกายคนจะมีเซลล์อยู่ 2 ชนิดที่เกี่ยวข้องกับการรับสี คือ เซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปโคน เซลล์รูปแท่งจะตอบสนองได้ดีกับการมองเห็นในที่เกี่ยวกับ ความมืดสว่าง ส่วนเซลล์รูปโคนจะตอบสนองต่อสีที่มองเห็น

จากหลักการพื้นฐานเรื่องสีข้างต้น จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้วัดสีที่มีมาตรฐานและลด ความไม่เป็นกลางเนื่องจากปัจจัยของแหล่งกำเนิดแสงและผู้สังเกตการณ์ องค์การที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดมาตรฐานด้านสี คือ Commission International de l'Eclairage (CIE) หรือในชื่ออังกฤษว่า International Commission on Illumination สำนักงานใหญ่อยู่ในประเทศฝรั่งเศส

องค์กรนี้ได้กำหนดมาตรฐานการวัดสีซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างในวงการวิชาการและการวิจัยคือระบบ CIE Lab scale ในระยะเริ่มแรก CIE ได้กำหนดสเกลการวัดสีเป็น X-Y-Z ซึ่งใช้บรรยายสีแดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) แต่เนื่องจากระบบสีดังกล่าวไม่สามารถบรรยาย ถึงลักษณะความมืด-สว่างของสีได้ พัฒนาต่อมาเป็นระบบ X-Y-L ซึ่งบรรยายถึงค่าสีแดง เขียว และความสว่าง (lightness) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวก็ยังขาดส่วนที่บรรยายถึงค่าสีน้ำเงิน CIE จึงได้พัฒนาระบบสีต่อมาจนเป็นระบบที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือระบบ L- a*-b* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า +L* แสดงถึงสีขาว จนถึง -L* แสดงถึงสีดำ แกน a* จะบรรยาย ถึงแกนสีจากเขียว (-a*) ไปจนถึง แดง (+a*) ส่วนแกน b* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน(-b*) ไปเหลือง (+b*) ลักษณะการบรรยายสี ของ CIE นอกจากนี้ บริษัท Hunter lab ในอเมริกาก็เป็นอีกองค์กรหนึ่งซึ่ง ทำการวิจัยและพัฒนาระบบการวัดสี จนในที่สุดได้ระบบของ Hunter lab เอง ซึ่งเรียกว่า การวัดสีระบบ Hunter lab scale ซึ่งบรรยายแกนใน 3 มิติเช่นเดียวกับระบบ CIE โดยที่ Hunter lab จะใช้สเกล L-a-b บรรยายลักษณะสีเช่นเดียวกับ L*-a*-b* ของ CIE ข้อแตกต่างระหว่างระบบสีของ CIE และ Hunter lab คือสูตรการคำนวณค่าสี ซึ่งทั้ง L-a-b และ L*-a*-b* ล้วนมีพื้นฐานการคำนวณมาจากค่าจากระบบ X-Y- Z ทั้ง สิ้น



รูปที่ 2-4 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ: Hue บรรยายถึงเฉดสี และ Chroma บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี



รูปที่ 2-5 การบรรยายสีพื้นในระบบCIELabในรูป 3 มิติ

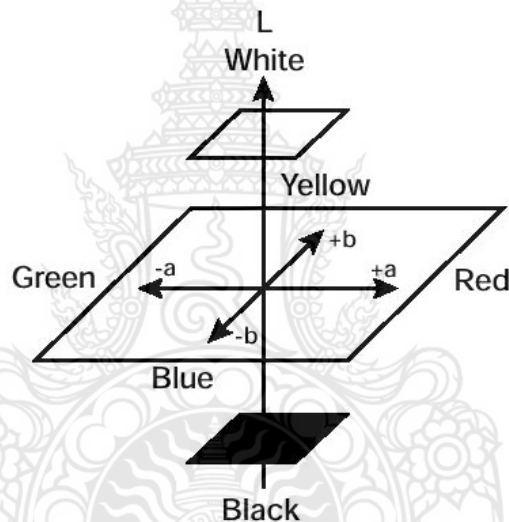
อุปกรณ์วัดสีที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ Spectrophotometer อุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้แสงจากแหล่งประดิษฐ์ (Illuminant) คือแสงที่แต่งค่าความเข้มแสง (Intensity) หรืออุณหภูมิของสี (Color temperature) แล้ว ตัวอย่างของแหล่งแสงประดิษฐ์ได้แก่ D65-แสงเที่ยงวัน (noon daylight) A-แสงลัมจากหลอด ทั้งสแตน C แสงกลางวันเฉลี่ย (average daylight) CWF แสงขาวเย็นจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Cooled white fluorescent) อุปกรณ์วัดสี spectrophotometer ในท้องตลาดมีหลายรุ่นและหลายยี่ห้อ ที่ นิยมใช้ได้แก่ ของ Hunter lab, Nikon และ Minolta ซึ่ง spectrophotometer บางรุ่นสามารถ บอกค่าสีได้หลายสเกลในเครื่องเดียว เช่น X-Y-Z L-a-b L*-a*-b* รวมไปถึง CMYK (CrayonMagenta-YellowBlack) เป็นระบบสีนิยมใช้ในเกี่ยวกับสิ่งพิมพ์

2.3.4 การวัดระดับสี

จากระบบอ้างอิงการวัดสีของ CIELAB เป็นระบบมาตรฐานที่ใช้วัดระดับสีของวัตถุ โดยวัดการกระจายสีหรือที่เรียกว่า “สเปกตรัมการกระจายแสง” ค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปของความยาว คลื่น (Wavelength) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จากนั้นสเปกตรัมการกระจายแสงหรือความยาวคลื่นที่ได้ จะถูกแยกสเปกตรัมแล้วนำมาคำนวณหาค่าสีในปริภูมิสีระบบต่างๆ และแสดงค่าผลการวัดออกมา เป็นตัวเลข เช่น การวัดสีในระบบCIELAB หรือระบบ Tristimulus หรือระบบ LCh Color Space ซึ่ง ต่อมา G.graykhtsaum และ D.P.Agarwalได้แสดงการวัดระดับสีของทองคำเจือด้วยการใช้พิกัด คณิตศาสตร์

ซึ่งเป็นระบบอ้างอิงปริภูมิสีของ The International Committee on Illumination (CIELAB) โดยกำหนดพิกัดแกนสีขึ้นมา 3 แกน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ทั้ง 3 แกนแทนค่าด้วยตัวอักษร L, a และ b โดยแต่ละแกนมีรายละเอียดของแต่ละตัวอักษรดังนี้

- ตัวอักษร L แสดงค่าความสว่างของทองคำเจือ โดย L0 คือ สีดำ และ L100 คือสีขาว
- ตัวอักษร a แสดงสีแดงถึงสีเขียว โดย a100 คือสีแดงเข้ม และ a-100 คือสีเขียว
- ตัวอักษร b แสดงสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน โดย b100 คือสีเหลือง และ b-100 คือสีน้ำเงิน



รูปที่ 2-6 พิกัดการวัดสี

2.4 การหล่อต้นแบบเครื่องประดับ

2.4.1 การหล่อเหวี่ยง

การหล่อด้วยระบบเหวี่ยง (Centrifugal casting) การหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยง เป็นกรรมวิธีหล่อโลหะที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะ คือ จะบรรจุโลหะเหลวเข้าสู่โพรงแบบในขณะที่หมุนอยู่รอบแกน และปล่อยให้ชิ้นงานแข็งตัวในระหว่างที่โพรงแบบยังคง หมุนอยู่เช่นเดิม แรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนของโพรงแบบจะทำให้โลหะเหลวอัดตัวแน่นเข้ากับผนังโพรงแบบ จึงทำให้เกิดรูปร่างของชิ้นงาน

คล้ายตามผิวของผนังโพรงแบบโดยตลอดด้วย นอกจากนั้นยังทำให้เกิดระบบการป้อนเติมที่แตกต่าง
กันจากขบวนการหล่อกรรมวิธีอื่น ๆ แรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะคล้ายกับ แรงไฮโดรสแตติก
(Hydrostatic Force) ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ขึ้น 2 ทางคือ

1) ในขณะที่จะเห็นว่าแรงเหวี่ยงนี้ สามารถสลัดโลหะเหลวให้กระจายแผ่ออกไปสัมผัสกับผิว
ของผนังโพรง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้สามารถหล่อขึ้นงานรูปทรงกระบอกกลวงภายในได้เลย รวมทั้ง
รูปทรงแหวนอื่น ๆ ด้วย

2) แรงเหวี่ยงจะทำให้เกิดความดันสูงยิ่งขึ้นภายในชิ้นงานขณะที่โลหะเหลวกำลังจะแข็งตัว
ลักษณะเช่นนี้หากทิศทางการแข็งตัวเริ่มต้นจากผนังโพรงแบบมุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของแกนหมุนแล้ว
ย่อมจะช่วยให้เกิดลักษณะการป้อนเติมที่ดีขึ้น และยังสามารถทำให้สิ่งมลทินต่าง ๆ แยกตัวออกจาก
เนื้อโลหะ และแรงเหวี่ยงยังสามารถขับไล่แก๊สให้ออกจากโมเลกุลของโลหะเหลวอีกด้วย



รูปที่ 2-7 เครื่องหล่อแบบเหวี่ยง

การทำงานของเครื่องหล่อเหวี่ยง

เครื่องหล่อแบบเหวี่ยง เบ้าจะถูกเคลื่อนย้ายจากเตาเผาและถูกวางในแนวนอนภายในตัวเครื่อง ตัวเบ้าหลอมจะถูกวางในแนวเดียวกันกับเบ้า ช่างหล่อจะหลอมโลหะที่อยู่ในเบ้าหลอม และเฝ้าดูจนกว่าโลหะจะหลอมจนได้สภาพที่เหมาะสม จากนั้น ช่างหล่อก็จะเริ่มเดินเครื่องโดยปล่อยให้เบ้าเริ่มเคลื่อนไหวไปตามแรงเหวี่ยงของเครื่อง แรงขับเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากแรงเหวี่ยงจะเป็นตัวที่ดันให้โลหะไหลเข้าสู่โพรงที่ตัวแม่พิมพ์ สำหรับวิธีการทำงานของเครื่องหล่อสูญญากาศ เบ้าจะถูกเคลื่อนย้ายจากเตาเผาและนำมาวางไว้ในตัวแม่พิมพ์ที่มีช่องเปิดด้านบน โลหะจะถูกทำให้ละลายในเบ้าหลอมแล้วจึงไหลลงสู่แม่พิมพ์ที่เปิดไว้ ในขณะเดียวกัน ระบบสูญญากาศก็เริ่มทำงาน ซึ่งจะทำการสูบอากาศออกจากแม่พิมพ์และดูดโลหะที่หลอมเหลวแล้วกลับเข้าไปในโพรงที่ตัวแม่พิมพ์

1) ในกระบวนการหล่อเหวี่ยง รูภายในของชิ้นงานจะถูกสร้างขึ้นด้วยแรงดึงดูดของโลก แต่แรงเหวี่ยงจะช่วยให้ชิ้นงานหลุดพ้นจากการฉีกกร้าวตามแนวความยาวเนื่องจากแรงดึงดูดอย่างมากตามแนววงแหวนที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดของโลก สำหรับในกระบวนการหล่อเหวี่ยงนี้ ศูนย์กลางและขบวนการหล่อความดันเหวี่ยงนั้น จะต้องพิจารณาตามค่าความดันในการป้อนเติมความเร็วในการหมุนโพรงแบบจะมีอิทธิพลเหนือเมตโครงสร้างของโลหะงาน ถ้าความเร็วในการหมุนโพรงแบบเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีผลึกแข็งเม็ดเล็กละเอียดยิ่งขึ้นตามไปด้วยถึงแม้ว่าโพรงแบบที่หมุนเร็ว ๆ นั้น จะทำให้โลหะเหลวเกิดการอลวนมากขึ้นก็ตามแต่ก็ยังดีกว่าการหมุนรอบต่ำ ๆ ทั้งนี้การหมุนรอบจัดจะทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการฉีกกร้าวซึ่งย่อมจะให้คุณประโยชน์มีค่ามากกว่า

2) การเทหล่อเหวี่ยงโลหะอุณหภูมิต่ำย่อมจะทำให้ได้ผลึกเม็ดเล็กละเอียด เป็นชนิดเม็ดหลายเหลี่ยมมุมเท่า (Equiaxed) ในขณะที่ใช้อุณหภูมิที่สูงก็จะทำให้ได้เม็ดโครงสร้างเป็นผลึกรูปแท่ง (Columnar) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงพอที่จะให้ความมั่นใจได้ว่า โลหะเหลวจะสามารถไหลแผ่กระจายโดยไม่เกิดความบกพร่องเรื่องผิวเย็น เหตุนี้จึงทำให้ไม่สามารถที่หลีกเลี่ยงต่อการก่อรูปผลึกแข็งหยาบ และยังเสี่ยงต่อการฉีกกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิละลายสูงมากเกินไป

3) อัตราการเทมีหลักการง่าย ๆ อยู่ว่า จะต้องเทโลหะให้เสร็จสิ้นก่อนที่มันจะเกิดการแข็งตัวพอกันหรือไม่ไหลตัวแผ่กระจาย ถึงแม้ในบางครั้งจะต้องใช้อัตราการเทสูงจนเกิดการอลวน

และฟังก์ชันก็ตาม ในทางปฏิบัติควรจะใช้อัตราการเทที่ต่ำเนื่องจากจะทำให้เกิดประโยชน์ในการสร้างทิศทางการแข็งตัวของชิ้นงานกับผิวนอกของชิ้นงาน (ติดผนังโพรงแบบ) ซึ่งจะช่วยลดการเสี่ยงต่อการฉีกร้าวมุมร้อนของชิ้นงานหล่อได้

4) การหล่อเหวี่ยงด้วยโพรงแบบโลหะถาวร ย่อมจะทำให้ได้เม็ดผลึกของโลหะละเอียดมากกว่าการเทหล่อในโพรงแบบทราย ซึ่งคุณสมบัติของโพรงแบบจะมีอิทธิพลเป็นอันดับรองในเรื่องที่กล่าวนี้ คุณสมบัติของโพรงแบบจะเกี่ยวข้องโดยตรงในเรื่องการขยายตัวของโลหะเสียมากกว่า การอุ่นโพรงแบบโลหะให้ร้อนไว้ก่อนการหล่อเหวี่ยงนั้นจะช่วยไล่ความชื้นออกให้หมดและช่วยลดการเสี่ยงต่อการฉีกร้าวมุมร้อนของชิ้นงานในขบวนการหล่อเหวี่ยง

เครื่องหล่อเหวี่ยงเป็นเครื่องที่ใช้ทั่วไป ที่มีระบบการหลอมด้วยการเหนี่ยวนำ โดยการใช้เครื่องหล่อเหวี่ยงนั้น จะหลอมโลหะทองเหลืองให้เดือดก่อน แล้วจึงนำเข้าปูนออกจากเครื่องอบปูนแล้วใส่ในเครื่องในทันที แต่ต้องหลอมให้ทองเหลืองเดือดอยู่ หลังจากนั้นปิดฝาให้เครื่องเหวี่ยงทำงาน ประมาณ 1-2 วินาที แล้วเปิดฝาทิ้ง นำโลหะจะทำการไหลเข้าสู่โพรงแบบ

2.4.2 เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

เป็นขั้นตอนที่อาจเรียกว่าเป็นการเตรียมแม่พิมพ์สำหรับการหล่อโลหะเพื่อปรับคุณสมบัติของเนื้อปูนหล่อให้เหมาะสมกับน้ำโลหะ ในการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมคุณสมบัติของแม่พิมพ์ให้มีความเหมาะสมเพื่อรองรับการฉีดน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบ ความผิดพลาดในการควบคุมคุณสมบัติจะก่อให้เกิดรูพรุน ขึ้นบนชิ้นงานได้ง่ายหรือเกิดผลอื่นๆทำให้การหล่อไม่สำเร็จ เช่น ถ้าคุณสมบัติของแม่พิมพ์ต่ำเกินไปน้ำโลหะที่ฉีดเข้าสู่โพรงแบบจะแข็งตัวก่อนที่จะแทรกไปตามรายละเอียดของแบบทำให้การหล่อไม่สมบูรณ์ หรือที่เรียกว่าหล่อไม่เต็ม ขณะเดียวกันถ้าคุณสมบัติสูงเกินไปจะทำให้ น้ำโลหะที่ฉีดเข้าไปอยู่ในสภาพของเหลวหนานกว่าปกติ จะส่งผลให้เกิดรูพรุนขึ้นบนผิวชิ้นงานได้



รูปที่ 2-8 เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

2.4.2.1 จุดประสงค์ในการอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

- 1) เพื่อกำจัดตัวแบบเทียน และส่วนของเทียนทั้งหมดออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อทำให้แม่พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงแบบขึ้นภายใน พร้อมมีทางเดินน้ำโลหะ
- 2) เพื่อเตรียมอุณหภูมิของกระบอบหล่อให้เหมาะสมกับอุณหภูมิในการหล่อโลหะ การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อเพื่อขจัดเทียนมักจะใช้ระบบไอน้ำในการละลายเทียนซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 100°C เทียนประมาณ 90 % ในกระบอบหล่อจะหลอมละลายเทียนและไหลออกมาทางปากแม่พิมพ์ปูนหล่อ ซึ่งเกิดจากส่วนโค้งงอของฐานยาง เมื่อกำจัดเทียนจำนวนมากออกแล้วจึงนำแม่พิมพ์เข้าอบในเตาอบต่อไป

2.4.2.2 ส่วนประกอบของเครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

ความร้อนที่ใช้ในการอบมาจากขดลวดไฟฟ้าภายในเครื่องความร้อนนี้นำมาใช้ในการอบสูงสุดถึงประมาณ 1200°C ซึ่งเตาอบปูนที่มีอากาศหมุนเวียนภายใน มีการติดพัดลมเล็กๆ อยู่ด้านหลังของเตาทำให้อากาศหมุนเวียนผ่านขดลวดไฟฟ้าทำให้อากาศร้อนจะส่งออกมาทางช่องรูด้านข้างและ

ด้านล่างของผนังเตา ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศในเตาและส่งผลให้อุณหภูมิสม่ำเสมอ และเป็นเตาที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 2-9 ขดลวดไฟฟ้าในเครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

เตาอบปูนที่มีการตั้งเป็นวงจรการอบปูนแบบอัตโนมัติซึ่งมีการตั้งระยะเวลาในช่วงต่างๆได้ โดยเป็นขั้นบันได ซึ่งสามารถตั้งอุณหภูมิการอบเข้าปูน และระยะเวลาในการอบเข้าปูนได้



รูปที่ 2-10 การตั้งเครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

2.4.2.3 หลักการทำงานเครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

- 1) ชิ้นงานบาง เป็นชิ้นงานที่มีโพรงแคบและเล็ก ช่องทางน้ำโลหะจะแทรกเข้าไปได้เต็มโพรงแบบ ดังนั้นน้ำโลหะจะต้องมีลักษณะไหลอมเหลว และต้องเย็นตัวช้าเพื่อให้มีเวลาเพียงพอที่น้ำโลหะแทรกตัวเข้าไปในที่แคบๆ ได้ทั่วถึง น้ำโลหะจึงต้องมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นแม่พิมพ์จึงต้องมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย
- 2) ชิ้นงานหนา เป็นชิ้นงานที่มีโพรงแบบโตกว่า น้ำโลหะจะแทรกตัวเข้าไปได้เร็ว อุณหภูมิของน้ำโลหะจึงมีอุณหภูมิต่ำได้ การเตรียมแม่พิมพ์จึงสามารถใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและบางกว่า
- 3) อุณหภูมิหล่อของโลหะแต่ละชนิดข้างต้น เป็นอุณหภูมิโดยประมาณเนื่องจากโลหะผสมแต่ละชนิด จะมีสัดส่วนการผสมที่แตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต
- 4) ในการอบเผาแม่พิมพ์ ควรคงที่อุณหภูมิหล่อไว้อย่างน้อย $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง ก่อนทำการหล่อเพื่อให้สัดส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์มีความร้อนใกล้เคียงกันมากที่สุด
- 5) อุณหภูมิของแม่พิมพ์ จะขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์และรายละเอียดของแบบว่ามีขนาดและรายละเอียดซับซ้อนเพียงใด โดยชิ้นงานจะต้องการอุณหภูมิสูงกว่าชิ้นงานใหญ่

6) ในการหล่อโลหะ ถ้าพบว่าน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะในส่วนที่มีความละเอียดมาก ๆ ให้เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อน การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำโลหะต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง

7) ในการอบเผาแม่พิมพ์ ไม่มีเครื่องมืออุปกรณ์ควบคุมที่ดีพอ ให้สังเกตที่บริเวณปากทาง เข้า – ออก ของน้ำโลหะแม่พิมพ์ ถ้าบริเวณนั้นมีจุดสีน้ำตาลเข้มและมีเปลวไฟพุ่งออกมาจากภายในโพรงแบบ แสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้ไม่หมด แต่ถ้าบริเวณปากทางเข้าและออกของน้ำโลหะของแม่พิมพ์มีสีขาวนวล แสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์

8) แก๊สหรือควันที่ระเหยออกมา ในขณะอบเผาแม่พิมพ์เป็นแก๊สพิษ ควรหาทางป้องกันและหลีกเลี่ยงการสูดดม

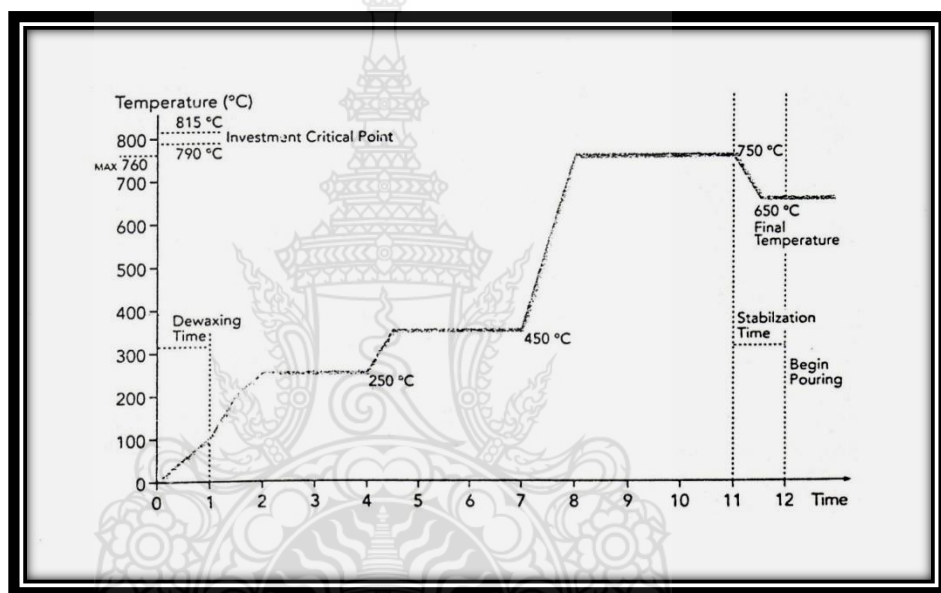
2.4.2.4 ขั้นตอนการใช้เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

1) การเปิด – ปิดเครื่อง เตาอบเผาแม่พิมพ์มี 2 ชนิด คือเตาไฟฟ้าและเตาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง ส่วนประกอบที่สำคัญ คือห้องอบเผาซึ่งมีหลายขนาดตามความต้องการของผู้ใช้ ภายในห้องเผานี้จะมีปล่องสำหรับระบายควันออกจากห้อง ซึ่งมีการต่อปล่องนี้ออกจากห้องปฏิบัติงาน เพราะควันที่ออกจากเตาอบเผาจะเป็นควันพิษ นอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมอุณหภูมิของเตา ซึ่งมีทั้งชนิดที่ควบคุมด้วยมือ และชนิดควบคุมอัตโนมัติ เตาอบเผาแม่พิมพ์นี้จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1200°C ในการใช้งานจะต้องคำนึงถึงส่วนของอุณหภูมิและเวลาในการอบการควบคุมอุณหภูมิและเวลาจะต้องกระทำไปพร้อมกัน

2) การตั้งอุณหภูมิในการอบ อุณหภูมิหล่อโลหะจะต้องมีความสอดคล้องกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ปูนหล่อ เนื่องจากในการหล่อโลหะแม่พิมพ์ซึ่งจะทำหน้าที่รองรับน้ำโลหะควรมีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากนัก มิฉะนั้นแม่พิมพ์จะแตกเสียหายได้ อนึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิหลอมละลายแตกต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิหล่อหรืออุณหภูมิของแม่พิมพ์ จึงต้องมีความแตกต่างกันตามชนิดของโลหะด้วย

3) การตั้งเวลาในการอบในการอบเผาแม่พิมพ์ มีสูตรการอบเผาหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคผู้ปฏิบัติสรุปหลักการอบเผาอย่างกว้างๆ ได้ดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ
- ในบางอุณหภูมิที่สำคัญๆ หรือในกรณีที่มีกรอบเผาไม่เหมือนกันให้คงอุณหภูมิ
นั้นไว้ เพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึง
- ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์ ปริมาณแม่พิมพ์และประสิทธิภาพของ
เตาอบเผาแม่พิมพ์



รูปที่ 2-11 ตัวอย่างอุณหภูมิการทำงานของเครื่องอบ

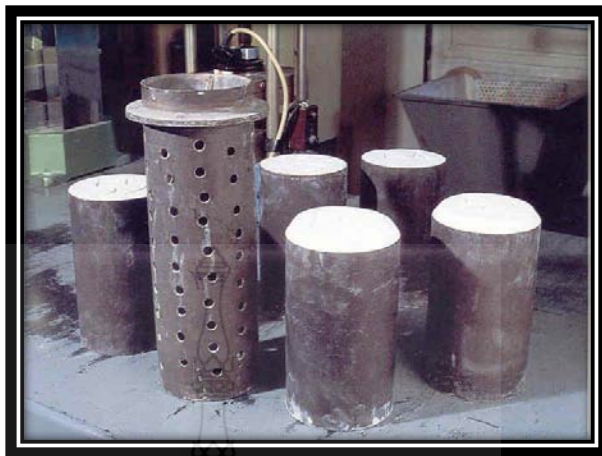
การอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ จากภาพที่ 2.9 ในการกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาแต่ละช่วง นั้นต้องตระหนักถึงอุณหภูมิหล่อและปฏิกิริยาต่างๆ ทฤษฎีการอบเผาแม่พิมพ์ ในการอบเผาแม่พิมพ์ จะมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

- 1) ในการอบเผาแม่พิมพ์ ควรเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ในระยะแรกจนถึงประมาณ 200 °C เนื่องจากในแม่พิมพ์ มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100 °C น้ำจะกลายสภาพเป็น ไอน้ำ และแทรกตัวออกตามช่องว่างของเนื้อปูนหล่อ หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไอน้ำจะ

ขยายตัว โดยมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่าปูนหล่อ การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้เอง ทำให้เกิดแรงดันภายในปูนหล่อ ลวดลายต่างๆ ของแม่พิมพ์จะเกิดความเสียหาย และร้ายแรงที่สุดถึงขั้นทำให้แม่พิมพ์แตกร้าวได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำในแม่พิมพ์ส่วนผสมของสารเคมีจากปูนหล่อ มิใช่อยู่ในรูปของน้ำบริสุทธิ์ ดังนั้นจุดที่น้ำจะกลายเป็นไอ อาจจะต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 200°C ที่เดียว ในกรณีที่ไม่มีการนึ่งเตียน ก่อน แต่นำแม่พิมพ์เข้าอบเผาในเตาอบโดยตรงนั้น ไม่ควรนำแม่พิมพ์เข้าอบในขณะที่เตาอบเย็น แต่ควรนำเข้าไปในขณะที่ยังมีอุณหภูมิประมาณ 150°C นั่นคือควรทำการอุ่นเตาอบก่อนนำแม่พิมพ์เข้าไปอบเผาเนื่องจากในขณะที่เตาเย็น เมื่อเริ่มต้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 80°C เที่ยนจะเริ่มละลายกลายเป็นของเหลว ส่วนหนึ่งจะเริ่มไหลออกมาทางปากทางเข้า แต่ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่ยังคงอยู่ภายในโพรงแบบ ขณะเดียวกันปูนจะเริ่มขยายตัวทำให้รูพรุนหรือช่องว่างของเนื้อปูนหล่อโตขึ้น ปูนหล่อจะทำตัวเป็นฟองน้ำดูดซับเตียน ที่มีลักษณะเป็นของเหลวเข้าไปในเนื้อปูนหล่อ และกำจัดออกให้หมดได้ยากแต่ถ้านำแม่พิมพ์เข้าเตาอบในขณะที่เตาอุณหภูมิประมาณ 150°C เที่ยน จะละลายเป็นของเหลวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ น้ำจะกลายเป็นไอน้ำ และขยายตัวดันให้เตียน ไหลออกจากแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้นอีกด้วยในการอบเผาแม่พิมพ์ หลังจากเตียนส่วนใหญ่ไหลออกจากทางเข้าและออกของน้ำโลหะ จะมีเตียนอีกส่วนหนึ่งที่ถูกเผาจนกลายเป็นขี้เถ้า ซึ่งสามารถกำจัดออกจนหมด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึงประมาณ 700°C โดยในการเผาไหม้ขี้เถ้า ซึ่งมีสถานะเป็นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยาออกซิเจน ในอากาศ ทำให้ได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สพิษ ในการอบเผา เตาจะมีอุณหภูมิเพิ่มเร็วกว่าอุณหภูมิของกระบอกหล่อ โดยเฉพาะภายในโพรงแบบ ซึ่งยังมีส่วนผสมของน้ำอยู่ในเนื้อปูนหล่อ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกระบอกหล่อกับภายในโพรงแบบ อาจแตกต่างกันถึง 50°C ดังนั้นก่อนการหล่อจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิหล่อน้อยครั้งชั่วโมงก่อนหล่อโลหะ

ถ้าแม่พิมพ์ถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 800°C ยิปซัมซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของปูนหล่อ จะแตกตัวออกเป็นซัลเฟตไดออกไซด์ และซัลเฟตไตรออกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดสึผิวโลหะที่หล่อ

2) วิธีการใช้อุณหภูมิในการอบแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของแม่พิมพ์



รูปที่ 2-12 อุณหภูมิมาตรฐานกระบอกล่อ

3) วิธีการคำนวณเชิงวิชาการ แนวทางการคำนวณค่านิ่งถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อ จะต้องมียุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้อบเข้าปูนหล่อ

- สูตรการหาอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อ
- $\text{อุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อ} = \text{จุดหลอมเหลวของโลหะ} + 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

ข้อควรระวังในการใช้เตาอบแม่พิมพ์อีกประการหนึ่ง คือ ควรเพิ่มอุณหภูมิของเตาอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเครียดและแตกร้าวได้ง่าย การใช้เครื่องกำจัดเทียน จะเป็นการยืดอายุการใช้งานของเตาอีกวิธีหนึ่ง เพราะจะไม่มีคราบเทียนไปเกาะติดอยู่ตามส่วนต่างๆ ของเตามากเกินไป การใช้เตาอบเผาเข้าในขณะที่กำลังอบเผาแม่พิมพ์ ไม่ควรเปิดประตูเตาโดยไม่จำเป็น เพราะอาจเกิดอันตรายจากคลื่นความร้อนจำนวนมากจะพุ่งออกมาจากเตา และทำให้เตาต้องใช้พลังงานอีกมากในการปรับอุณหภูมิให้เท่ากับตอนก่อนที่จะเปิดเตา แต่หากมีความจำเป็นต้องเปิดเตา ผู้ปฏิบัติควรหลบอยู่ด้านข้างประตูเตา นอกจากนี้เตาทั่วไปจะมีช่องสำหรับมองเข้าไปภายในเตาอยู่แล้ว โดยไม่ต้องเปิดเตาโดยตรง

ในการหล่อตัวเรือนโลหะโดยใช้วัสดุธรรมชาติเป็นต้นแบบ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิการอบเข้าปูนเพื่อกำจัดวัสดุธรรมชาติออกจากเข้าปูนก่อนกระบวนการหล่อ และให้

มีความเหมาะสมเพื่อรองรับการฉีดน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบ ความผิดพลาดในการควบคุม อุณหภูมิจะก่อให้เกิดรูพรุน ขึ้นบนชิ้นงานได้ง่ายหรือเกิดผลอื่นๆทำให้การหล่อไม่สำเร็จ เช่น ถ้า อุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำเกินไปน้ำโลหะที่ฉีดเข้าสู่โพรงแบบจะแข็งตัวก่อนที่จะแทรกไปตาม รายละเอียดของแบบทำให้การหล่อไม่สมบูรณ์ หรือที่เรียกว่าหล่อไม่เต็ม ขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ น้ำโลหะที่ฉีดเข้าไปอยู่ในสภาพของเหลว นานกว่าปกติ จะส่งผลให้เกิดรูพรุนขึ้นบน ผิวชิ้นงานได้

2.4.2.5 ปูนที่ใช้ในงานหล่อเครื่องประดับ

แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

- ปูนยิปซัมบอนด์ (Gypsum bonded investment) สำหรับงานหล่อ เงิน ทอง และ ทองเหลือง
- ปูนฟอสเฟตบอนด์ (Phosphate bonded investment) สำหรับงาน แพลตินัม หรือ สแตนเลสสตีล
- ปูนแบบอะลูมินา - แมกนีเซีย (alumina-magnesia investment) สำหรับงาน ไททาเนียม เป็นต้น

งานหล่อเครื่องประดับโลหะ เงิน ทอง หรือ ทองเหลือง โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ปูนยิปซัมบอนด์ เนื่องจากมีราคาถูกและคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส ส่วนผสมของปูนยิปซัมบอนด์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1) วัสดุทนไฟ ซึ่งประกอบไปด้วย ซิลิกา คริสโตบาลไลต์ (cristoballite) เป็นหลัก และ ธาตุอื่นๆ ที่เติม เช่น แคลไซน์มัลไรต์ (calcined mullite) และไพโรไฟไรต์ (pyrophyllite) เป็นต้น

2) กลุ่มวัสดุที่มีสมบัติเป็นตัวยึด (binder) คือ ผงยิปซัม ที่มีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (Calcium sulfate hemihydrate) และส่วนผสมอื่นๆ เพิ่มเติมตามแต่ละสูตรของการผลิต

2.4.2.6 การผสมปูน

ในขั้นตอนของการผสมปูนนั้นต้องคำนวณปริมาณปูนและน้ำให้ตรงตามสัดส่วนที่ระบุเอาไว้ โดยทั่วไปอยู่ที่ 38 - 40 มิลลิลิตรต่อปูน 100 กรัม เพื่อให้ปูนมีความแข็งแรงที่สุด เวลาที่ใช้ในการผสมปูนก็ต้องกำหนดให้เหมาะสมกับสูตรผสมของปูนแต่ละชนิด หากเป็นเครื่องตีปูนสุญญากาศ อาจใช้เวลาประมาณ 6 นาทีทั้งกระบวนการ แต่หากใช้มืออัดโนมิตีจะใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 8 นาทีทำให้เข้ากันดีไม่เหลวหรือข้นเกินไปซึ่งจะให้ได้ผิวหลังการหล่อที่เรียบเนียน และต้องทำให้อยู่ในสถานะที่เป็นสุญญากาศ หรือดูดอากาศออกเพื่อไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ในปูน ส่วนการอบปูนนั้น ต้องมีการตั้งอุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมสำหรับให้เทียนที่อยู่ภายในถูกกำจัดหมดโดยไม่ทิ้งเขม่าหรือก๊าซเอาไว้ภายใน และเป็นการเตรียมอุณหภูมิของเบ้าปูนการนำไปหล่อด้วยแม่พิมพ์ปูนหล่อแบบที่ดี ส่วนผสมโดยทั่วไปจะมีอัตราส่วนโดยประมาณ คือ น้ำหนักของน้ำ 40% ของน้ำหนักปูนหล่อ

การคำนวณหาน้ำหนักของผงปูนและน้ำที่ต้องการใช้ในการหล่อตัวเรือนโลหะ

- น้ำหนักของปูนหล่อแบบ = ปริมาตรของกระบอกหล่อ (V) x 1.2 + (20% ของน้ำหนักปูนหล่อทั้งหมด) โดยที่ ปริมาตรกระบอกหล่อ (V) = $\pi / 4 D^2 H$ หรือ
- น้ำหนักของปูนหล่อแบบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (CC) = 1.2 CC/ กรัม (20% ของน้ำหนักของปูนหล่อแบบทั้งหมด) ที่คำนวณได้ = คือการเผื่อสำหรับความสูญเสียของส่วนผสมที่เกิดจากการดูดอากาศออกจากเนื้อปูนและส่วนที่ติดกับภาชนะ

2.4.2.7 การเทปูน

ในการผสมปูนจะใช้ปูนยิปซัมบอนด์สำหรับในการหล่อทองเหลืองโดยเฉพาะ เพราะมีคุณสมบัติเหมาะสำหรับการหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส รวมถึงการนำส่วนผสมเทลงในกระบอกปูนที่มีดอกกล้วยไม้้อยู่ภายในควรเทปูนลงทางด้านข้างของกระบอกปูน หากเทลงตรงกลางจะทำให้ดอกกล้วยไม้เสียหายได้ และในขณะดูดอากาศออกจะต้องมีการสั่นสะเทือนตลอดเวลา เพื่อให้อากาศที่แทรกตัวอยู่ลึกๆ ถูกกระตุ้นให้ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของส่วนผสม และถูกดูดออกไป จึงอาจทำให้ดอกกล้วยไม้หลุดลอยออกมาได้ในระหว่างการดูดอากาศ ดังนั้นจึงต้องดูดอากาศก่อนเทปูนนานกว่าปกติ ประมาณ 2-3 นาที และดูดอากาศหลังเทปูนประมาณ 1 วินาที

เพราะการข้ามชั้นตอนดูดอากาศ อาจทำให้เกิดความเสียหายต่องานหล่อได้ เช่น การดูดฟองอากาศน้อยเกินไป เป็นต้น

2.4.2.8 การวางตำแหน่งกระบอกลูกปืนในเตา

ในการวางกระบอกลูกปืนในเตาควรวางกระบอกลูกปืนห่างจากขดลวดอย่างน้อยประมาณ 2 นิ้วไม่ง เพื่อไม่ให้กระบอกลูกปืนร้อนเกินไปนอกจากนี้บริเวณที่ใกล้ขดลวดจะมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอเพราะการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังขดลวดทำให้ขดลวดร้อนขึ้นและเมื่ออุณหภูมิสูงก็จะเตาตัดกระแสไฟทำให้ อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจะมีการตัดไฟต่อไฟสลับกันตลอดเวลา ทำให้อุณหภูมิบริเวณนั้นขึ้นลงสลับกัน ดังนั้นหากวางปืนไว้ใกล้บริเวณดังกล่าวก็จะส่งผลให้ปืนรับความร้อนไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผิวงานไม่สวย นอกจากนี้ต้องวางกระบอกลูกปืนให้สูงกว่าพื้นเตาเพื่อให้มีอากาศไหลเวียนอย่างดี และเทียนจะออกได้ง่าย ด้วย ระยะห่างระหว่างกระบอกลูกปืน ควรทิ้งให้มีระยะห่างเพียง 1 เซนติเมตร หรือ 5 เซนติเมตร ก็เพียงพอ นอกจากนี้ควรคว่ำกระบอกลูกปืนลง โดยให้รูเทอยู่ด้านล่าง เพื่อให้เทียนไหลออก ห้ามวางหงายเพราะ เทียนเพราะเทียนจะไม่ไหล เมื่อจะวางซ้อนกระบอกลูกปืนชั้นต่อไปให้ทำในลักษณะสลับสับหว่าง เพราะ จะทำให้เทียนสามารถไหลออกได้ง่ายและมีออกซิเจนที่สามารถเข้าไปในช่องรูเทของกระบอกลูกปืนได้ซึ่ง จำให้เขม่าเทียนในกระบอกลูกปืนสามารถไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ การวางกระบอกลูกปืนในเตาอบปืนเป็นสิ่ง หนึ่งที่ต้องระมัดระวัง เพราะอุณหภูมิในเตาไม่เท่ากันในแต่ละจุด ดังนั้นควรวางให้มีอากาศถ่ายเทได้ดี เพื่อให้อุณหภูมิใกล้เคียงกันทุกจุด ในการหล่อที่มีกระบอกลูกปืนที่ต้องหล่อหลายอุณหภูมิอยู่ในเตา เดียวกัน ควรวางกระบอกลูกปืนที่ต้องหล่ออุณหภูมิสูงไว้ใกล้ประตูเตาเพราะต้องหล่อก่อนแล้วลด อุณหภูมิลงมาเพื่อการหล่อกระบอกลูกปืนหล่อที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะทำให้ได้คุณภาพของผิวงานหล่อดีกว่า อีกประเด็นหนึ่งคือถ้าหล่อที่อุณหภูมิต่ำก่อนแล้วเร่งความร้อนไปที่อุณหภูมิสูงก็จะเกิดการแตกตัวของ ปืนได้ง่าย ทำให้เกิดปัญหาครีบและปืนหล่นตามมา

2.4.3 เทียน (wax) ต้นแบบ

เทียน (wax) เป็นเทียนที่มีส่วนผสมของพลาสติกอยู่ด้วยทำให้เทียนที่ใช้ทำต้นแบบมีความ เหนียวและแข็งแรงกว่าเทียนที่ใช้ตามบ้านโดยทั่วไปเทียนที่ใช้สำหรับงานแกะสลักทำเป็นต้นแบบ

เครื่องประดับมีอยู่หลายชนิดโดยแบ่งชนิดด้วยสีของเนื้อเทียนที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ เทียนสีน้ำเงิน และสีเขียว

1) เทียนสีเขียว (Green Wax) นิยมใช้มากที่สุด มีความแข็งสูง สามารถเก็บรายละเอียดของแบบได้ดี สามารถขัดตกแต่งให้ผิวเรียบจนเป็นเงาได้ สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนเครื่องประดับที่มีขนาดเล็กๆ ที่มีความหนาน้อยกว่า 2 มิลลิเมตรได้ เนื้อเทียนจะมีความเหนียว แข็งแกร่ง เปราะและแตกหักง่าย แต่สามารถขัดด้วยกระดาษทรายและตะไบได้ง่าย นิยมใช้ทำต้นแบบมากกว่าเทียนสีน้ำเงิน การขึ้นรูปโดยวิธีการแกะสลักด้วยมีด ควรขึ้นรูปหรือแกะสลักส่วนที่เป็นรายละเอียดที่ผิวก่อน หรือส่วนที่เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ และตกแต่งผิวก่อนที่จะเอาเนื้อแว็กซ์ส่วนใหญ่ออก สามารถใช้ใบเลื่อยตัดแว็กซ์ที่มีพื้นเลื่อยเป็นเกลียว ตัดขึ้นรูปเป็นโครงร่างแบบคร่าวๆ ก่อน ซึ่งข้อดีที่สุดของ Green Wax คือ สามารถใช้หัตถ์ หัตถ์ที่ใช้กับสว่านสายที่หมุนด้วยความเร็วสูงขึ้นรูปได้โดยไม่แตกหัก หรือหลอมละลายติดคมตัดของหัตถ์ หรือคมตะไบ จะมีลักษณะเป็นผง



รูปที่ 2-13 ลักษณะของเทียนสีเขียว

2) เทียนสีชมพู (Purple Wax) มีคุณภาพระดับกลางที่นำมาใช้งานได้หลายรูปแบบ มีความยืดหยุ่นปานกลาง ทนต่อการแตกหักได้ดีกว่า Green Wax แต่มีความแข็งแรงน้อยกว่า สามารถขึ้นรูปโดยการแกะสลักด้วยมีด สามารถขึ้นรูปโดยการตัด การบดองได้โดยไม่แตกหัก แต่ไม่เหมาะกับเครื่องมือตัดที่มีความคมละเอียด เนื่องจากเศษผงของ Purple Wax จะเข้าไปอุดตัน ข้อต่อของ Purple Wax คือ ไม่สามารถที่จะทำชิ้นงานที่มีพื้นผิวเป็นลวดลายหรือมีรายละเอียดเล็กๆ ได้ดีเท่ากับ Green Wax



รูปที่ 2-14 ลักษณะของเทียนสีชมพู

3) เทียนสีน้ำเงิน (Blue Wax) มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่ง Blue Wax ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตรหลังจากนำไปจุ่มน้ำเดือด (1-2 วินาที) สามารถดัดให้โค้งงอเป็นรูปครึ่งวงกลม (180 องศา) และจะคงรูปอย่างถาวรได้ เนื้อเทียนเหนียว ขัดด้วยกระดาษทราย และตะไบได้ยาก เหมาะสำหรับทำต้นแบบที่บอบบาง Blue Wax สามารถทำให้เป็นแผ่นบางๆ ได้โดยไม่แตกหัก จึงเหมาะกับการงานฉลุลาย โดยแผ่น Blue Wax ที่มีความหนาขนาด 1 มิลลิเมตรสามารถทนแรงกดขณะตะไบได้โดยไม่แตกหัก แต่เสียรูปทรง จึงไม่เหมาะกับการขึ้นรูปทรงที่ต้องการความแม่นยำของขนาด แต่ไม่เหมาะที่จะใช้กับหัวตัดหรือหัวขัดที่ติดไฟรด์คม



รูปที่ 2-15 ลักษณะของเทียนสีน้ำเงิน

เทียนสีเขียว นิยมใช้กันมากที่สุด มีความแข็งแรงสูงสามารถแกะลายละเอียดของแบบได้ดี สามารถขัดตกแต่งให้ผิวเรียบจนเป็นเงาได้ และสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนของเครื่องประดับที่มีขนาดเล็กและมีความหนาน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร จึงจัดว่าเป็นวัสดุที่สามารถใช้ทำต้นแบบเครื่องประดับที่มีขนาดเล็กและใหญ่ได้โดยไม่เสียรูปทรง จึงจัดว่าเป็นวัสดุที่มีความเหนียวและแข็งไม่แตกหักง่ายขณะขึ้นรูปจึงเหมาะกับต้นแบบที่มีลักษณะบอบบางและชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำของขนาด เทียนสีเขียว หลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 220 °F เมื่อหลอมละลายกลายเป็นของเหลวที่ไม่เหนียวหนืด มีลักษณะการไหลเหมือนน้ำ จะแข็งตัวได้อย่างรวดเร็ว หลังแข็งตัวจะมีผิวเรียบเป็นมันและมีความยืดหยุ่นมากกว่าก่อนที่ถูกหลอมละลาย

2.4.3.1 การติดตามเดินน้ำโลหะ

ตำแหน่งที่ติดและความหนาของแท่งทางเดินน้ำโลหะ ก้านทางเดินน้ำโลหะ เป็นส่วนที่สำคัญ เนื่องจากเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับชิ้นงานและการไหลของน้ำโลหะมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานโดยตรง ดังนั้นการติดตามเดินน้ำโลหะควรมีลักษณะดังนี้

- 1) ติดก้านทางเดินน้ำโลหะต้องหนาที่สุดของชิ้นงาน
- 2) ขนาดของก้านทางเดินน้ำโลหะต้องหนากว่าตำแหน่งที่ติดเพียงเล็กน้อย
- 3) การกำหนดขนาดควรเท่ากับหรือมากกว่าเล็กน้อยกับส่วนที่หนาที่สุดของชิ้นงาน โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมเครื่องประดับนิยมใช้กันที่เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตร
- 4) ลักษณะของก้านควรจะเป็นรูปทรงกระบอกกลม ยกเว้นบริเวณที่เชื่อมติดกับชิ้นงาน ควรเป็นรูปทรงกระบอกวงรี หรือมีการทาบปลายให้แบนเพื่อทำให้น้ำโลหะแบ่งวงกระจายไปได้ดีทั้งสองทิศทาง
- 5) ความยาวของก้านควรมีความเหมาะสม ไม่ยาวเกินไป และไม่สั้นจนเกินไป และให้มีสัดส่วนที่เหมาะสมกับก้านทางเดินน้ำโลหะหลัก เนื่องจากสาเหตุของการกระจายตัวของความร้อนสู่ก้านทางเดินน้ำโลหะมีผลต่อการเย็นตัวของน้ำโลหะ

6) การติดทางเดินน้ำโลหะไม่ควรเป็นมุมฉากหรือมีมุมหักมาก ควรให้มีการไหลของน้ำที่เรียบที่สุด

7) ควรจะติดก้านตรงบริเวณที่หนาที่สุดของชิ้นงาน และมีการลดระดับความหนาจากก้านทางเดินน้ำโลหะหลัก สู่ก้านทางเดินน้ำโลหะ สู่ชิ้นงาน

การติดทางเดินน้ำโลหะงานดอกกล้วยไม้ จะติดทางน้ำเสริมเพื่อให้ น้ำโลหะไหลเข้า แต่จะกลีบของดอกกล้วยไม้ได้ง่ายขึ้นและติดบริเวณหูกระเปาะเพราะเป็นส่วนที่หนาของดอกกล้วยไม้ ขนาดของทางเดินน้ำควรมีขนาดใหญ่ไปถึงขนาดเล็ก เพื่อให้โลหะไหลตัวได้ดีและไหลเข้าไปตามทางแยกได้อย่างเหมาะสม

2.4.3.2 การติดต้นเทียน

การนำตัวแบบเทียน มารวมกันให้เป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบโดยนำไปติดกับที่ต้นเทียน เพื่อสามารถหล่อชิ้นงานได้ครั้งละจำนวนมาก เป็นการหล่อระบบอุตสาหกรรมลักษณะการติดต้นเทียน แบ่งออกเป็นหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของงานที่จะนำมาติด ถ้างานมีชิ้นใหญ่ก็จะติดแบบสลับฟันปลา หรือ เรียงกันเป็นแถวในแนวตั้ง ถ้างานชิ้นเล็กก็จะติดเป็นแถว หรือเป็นชั้นๆ ในแนวอนทั้งนี้ การติดต้นเทียนไม่ว่าจะเป็นแบบไหนทางเดินน้ำโลหะจะต้องทำมุม 30 - 60 องศา กับต้นเทียน เพื่อให้ น้ำโลหะจากการหล่อสามารถเข้าไปในส่วนที่อยู่ลึกที่สุดของต้นเทียนได้สะดวกเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต้นเทียนประกอบ ด้วยฐานยางติดต้นเทียน ที่จับฐานยางติดต้นเทียนที่สามารถเอียงและ หมุนไปเป็นมุมต่างๆ ได้เพื่อความสะดวกสบายในการติดต้นเทียน



รูปที่ 2-16 การติดต้นเทียน

การติดต้นเทียนให้ได้คุณภาพสูงสุดควรมีมุมและระยะห่างของต้นแบบดังนี้

- ช่องว่างจากยอดต้น ปลายกระบอกลอย 1-1.5 ซม.
- มุมระหว่างต้นกับทางเดินน้ำไหล 80 องศา
- ช่องว่างแบบเทียนแต่ละชั้น 1-2 มม.
- ระยะห่างจากข้างกระบอกลอย 0.5 ซม.
- ระยะห่างจากโคนต้น 1 ซม.

การติดเทียนบนต้นเทียนควรเริ่มติดจากปลายยอดของต้นลงสู่โคนของต้นเทียน เพราะถ้าทำกลับกันจะทำให้ไม่สามารถเก็บน้ำตาเทียนได้ และยังมีโอกาสทำให้น้ำตาเทียนของชั้นเทียนที่ติดสูงถัดไปไหลหยดลงมายังชั้นเทียนก่อนหน้าได้ นอกจากนี้จะเกิดการกระเด็นของฝอยเทียนขนาดเล็กลงบนชิ้นงานเทียนด้านล่างขณะที่หัวแรงกดลงบนต้นเทียน กรณีนี้จะเกิดได้ง่ายมากขึ้นเมื่อทำการติดต้นเทียนในบรรยากาศที่ร้อนแห้งเนื่องจากเกิดไฟฟ้าสถิตย์ขึ้น ต้องตรวจสอบ ระดับความสูงของต้นเทียน โดยมีหลักเกณฑ์ให้ระดับของชิ้นงานเทียนชั้นที่อยู่บนสุด อยู่ต่ำกว่าระดับความสูงของกระบอกลอย อย่างน้อย 1 เซนติเมตร มิฉะนั้นต้นเทียนจะสูงเกินไปทำให้ปูนแตกและโลหะไหลออกมาขณะทำการหล่อได้ ต้องเผื่อระยะของชิ้นงานเทียนไม่ให้ชนกับขอบเหล็กของกระบอกลอยไม่ควรกดหัวแรงนานเกินไปเพราะจะทำให้การติดต้นเทียนเสียเวลานานขึ้นเนื่องจากเทียนจะยังไม่แข็งตัว หยอดเทียนตรงบริเวณโคน

ต้นเทียนให้ติดกับรูใส่เทียนและแต่งเทียนให้แนบสนิทเพื่อป้องกันการหลุดหรือล้มเอียงในช่วงการหล่อแบบปูน ควรชั่งน้ำหนักฐานยางทุกครั้งก่อนใช้หรือต้องระบุตัวเลขของน้ำหนักไว้ที่ฐานยางให้เห็นชัดเจนเพื่อป้องกันความผิดพลาด เมื่อติดเทียนเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ชั่งน้ำหนักต้นพร้อมฐานยางและบันทึกไว้เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักโลหะ และต้องทำบันทึกรายละเอียดรูปทรงชิ้นงานที่จะหล่อของแต่ละต้น และหมายเลขต้นเทียนไว้เพื่อให้ทราบว่าชิ้นงานเป็นลักษณะใดทำให้ง่ายในขั้นตอนของการหล่อต่อไป

2.4.3.3 การหล่อ WAX

การหล่อ wax คือ กรรมวิธีหลอม wax ให้ละลายเป็นของเหลวข้น เพื่อฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ยาง (Rubber Mold) เมื่อ wax เย็นตัวลงจะได้ตัวแบบ wax (Wax Pattern) ที่มีสัดส่วนลดหลั่นต่างๆ เหมือนต้นแบบตัวเรือนเครื่องประดับทุกประการ ซึ่งจะนำไปทำเป็นต้นแบบสำหรับทำแม่พิมพ์ปูนหล่อที่จะใช้หล่อโลหะต่อไป เครื่องมือที่ใช้ฉีด wax เข้าไปในแม่พิมพ์ยาง เรียกว่า เครื่องฉีด wax หรือ Wax Injector

เครื่องฉีด wax เป็นเครื่องมือที่สำคัญมากขึ้นหนึ่งในกระบวนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับด้วยกรรมวิธีเผาไล้สีผึ้ง เพราะเป็นเครื่องที่จะฉีด wax ที่หลอมละลาย ให้เข้าไปในแม่พิมพ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ตัวแบบ wax ที่สมบูรณ์ ในปัจจุบันเครื่องฉีด wax แบ่งเป็น 2 แบบ คือ เครื่องฉีด wax แบบธรรมดา เป็นเครื่องที่ผลิตขึ้นแบบไม่ยุ่งยากนัก มีระบบการทำงาน 2 ระบบ คือ ระบบความร้อนพร้อมอุปกรณ์ควบคุมความร้อนของเครื่อง ทำหน้าที่ละลาย wax ให้เป็นของเหลวแบบเข้มข้น ส่วนอีกระบบคือ ระบบความดัน เป็นระบบที่ประกอบด้วยเครื่องปั๊มลม หัวฉีด (nozzle) ถึงความดันที่บรรจุ wax ที่หลอมเหลว และอุปกรณ์ควบคุมความดัน ทำหน้าที่ฉีด wax ที่หลอมละลายเข้าไปในแม่พิมพ์ยาง การใช้งาน ผู้ใช้งานจะต้องมีความชำนาญเพียงพอที่จะตั้งอุณหภูมิ และความดันของเครื่องให้พอเหมาะกับแม่พิมพ์ยางที่จะใช้

2.4.3.6 เครื่องฉีด WAX

เครื่องฉีด wax แบบพิเศษ เป็นเครื่องฉีด wax ที่ได้รับการพัฒนาแล้ว เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ และควบคุมระบบต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ระบบของเครื่องมีระบบหลักๆ อยู่ถึง 3 ระบบ

1. ระบบความร้อน ประกอบด้วยชุดให้ความร้อน ชุดควบคุมอุณหภูมิ และชุดเครื่องวัดอุณหภูมิซึ่งผู้ใช้งานจะสามารถปรับและควบคุม โดยมีจอแสดงผลให้อ่านค่าอุณหภูมิ หลอมละลายของ wax ได้อย่างแม่นยำ

2. ระบบความดัน ซึ่งต้องใช้เครื่องปั๊มลมเช่นเดียวกับเครื่องแบบธรรมดา แต่จะมีชุดควบคุม ที่สามารถปรับและอ่านค่าความดันภายในเครื่องได้

ระบบสุญญากาศ ทำหน้าที่ดูดอากาศภายในแม่พิมพ์ยางออกจนหมด ก่อนที่จะฉีด wax หลอมละลายเข้าไป ซึ่งจะทำให้ wax แทรกตัวเข้าไปตามรายละเอียดของแม่พิมพ์ได้อย่างทั่วถึง เนื่องจากไม่มีอากาศภายในแม่พิมพ์เป็นตัวต้านทาน

3. ระบบอัตโนมัติสำหรับนำแม่พิมพ์ยางเข้าและออก เพื่อฉีด wax ระบบนี้จะควบคุมเวลาในการฉีด wax ของแต่ละแม่พิมพ์ได้อย่างแม่นยำ แม่พิมพ์ที่ใช้กับเครื่องชนิดนี้จึงไม่จำเป็นต้องมีการตัดทางลม (Release Cut) เช่นเดียวกับการใช้เครื่องชนิดแรก

2.4.3.7 การฉีด wax (Casting The Wax)

เป็นกระบวนการฉีด wax ที่หลอมละลายเข้าไปในโพรงแบบของแม่พิมพ์ยาง ปล่องให้แข็งตัว จากนั้นจึงแกะออกจากพิมพ์ จะทำให้ได้ตัวแบบ wax ที่มีรูปทรงลวดลายต่างๆ ตามต้นแบบทุกประการ ขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการฉีด wax พอสรุปได้ดังนี้ คือ

ขั้นตอนการเตรียม เริ่มด้วยการหลอม wax ที่เป็นเม็ดให้ละลายเป็น wax เหลวขึ้น ในขั้นตอนนี้ผู้ผลิตมักทำนอกเครื่องฉีด wax โดยอาจใช้เตาไฟฟ้ากับภาชนะที่สะอาดในการละลาย wax การละลายเม็ดขี้ผึ้งในเครื่องฉีด wax โดยตรงทำได้ช้ามาก เนื่องจากเครื่องฉีด wax มีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก เมื่อละลาย wax จนเป็นของเหลวขึ้นแล้ว จึงนำไปเทลงในเครื่องฉีด wax ปรับอุณหภูมิของเครื่องที่

ประมาณ 70-75°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการฉีด wax ปิดฝาเครื่องและปรับความดันจากปั๊มลมเข้าเครื่อง ระดับแรงดันในการใช้ฉีด wax จะขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์ยาง ถ้าเป็นชิ้นงานเครื่องประดับต่างๆ ไป เช่น แหวน ต่างหู เข็มกลัด จะใช้แรงดันประมาณ 1.5 – 2 ปอนด์ / ตารางนิ้ว ขั้นตอนการฉีด wax เมื่อจัดเตรียมเครื่องฉีด wax เรียบร้อยแล้วก่อนฉีด wax จะต้องทำความสะอาดแม่พิมพ์ยางให้เรียบร้อยด้วยการใช้แปรงขนอ่อนๆ ปัดขจัดฝุ่นให้สะอาดจากนั้นใช้ซิลิโคนสเปรย์ฉีดที่บริเวณลวดลายต่างๆ ของแม่พิมพ์ ปลอ่ยให้แห้ง ใช้ผงแป้งตบลงในแม่พิมพ์อีกครั้ง เป่าเบาๆ เพื่อขจัดเศษแป้งออก ใช้แผ่นโลหะหรือวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้ พลาสติก ตัดให้เป็นแผ่นขนาดเท่ากับแม่พิมพ์ยาง ประกบด้านบนบนและล่าง ใช้มือบีบให้แน่น นำส่วนเป็นหลุมหรือปากทางเข้าของแม่พิมพ์ กดลงบนหัวฉีดของเครื่องฉีด wax จะไหลเข้ามาในโพรงแบบภายในแม่พิมพ์ ระยะเวลาในช่วงนี้จะช้าหรือเร็วขึ้นกับความดันภายในเครื่อง สภาพของ wax ว่าหลอมเหลวมากน้อยเพียงใด จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 1 – 2 นาที เพื่อให้ wax แข็งตัว จึงแกะตัวแบบ wax ออกจากแม่พิมพ์เครื่องมือและวัสดุที่จำเป็นสำหรับการติดต้นเทียนจะประกอบด้วย

- ฐานยาง เป็นฐานสำหรับใช้ติดหรือประกอบด้วยตัวแบบเทียน การเลือกใช้ฐานยางควรเลือกให้ฐานยางที่มีขนาดสวมเข้ากับกระบอกหล่อได้อย่างพอดี
- กระบอกหล่อ จะเป็นกรอบในการกำหนดความกว้างและความสูงของกลุ่มเทียน โดยให้ส่วนสูงที่สุดของกลุ่มเทียนจะต้องมีระยะห่างจากขอบด้านบนของกระบอกหล่อไม่น้อยกว่า 1/2 นิ้ว และตัวแบบเทียนต้องห่างจากผนังกระบอกไม่น้อยกว่า 1/4 นิ้ว เพื่อป้องกันไม่ให้ผนังของแม่พิมพ์ปูนหล่อบางเกินไป
- หัวแรงไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับละลายเทียนให้ร้อนและติดตัวแบบเทียน

ข้อสำคัญอีกอย่างหนึ่งของขนาดต้นเทียนคือ การใช้ขนาดต้นไม่เหมาะสม เช่น ขนาดต้นใหญ่เกินไป แต่ถ้าต้นเทียนมีขนาดเหมาะสมหรือเล็กลง ก็จะส่งความร้อนมาที่ก้านทางเดินน้ำโลหะของดอกกล้วยไม้ได้ดีมากยิ่งขึ้น จึงควรเลือกต้นให้มีขนาดเหมาะสมหรือเล็กลง ซึ่งจะทำให้การส่งความร้อนมาที่ก้านทางเดินน้ำโลหะของดอกกล้วยไม้สมบูรณ์มากขึ้น รวมทั้งเผื่อระยะกลีบของดอก

กล้วยไม้ไม่ให้ชนกับขอบของกระบอกปูน เพราะอาจทำให้ดอกกล้วยไม้หักได้ และจะต้องติดดอกกล้วยไม้ลงในต้นเทียนให้แน่นไม่หลุดง่าย หากติดตัวแบบไม่แน่นเมื่อนำไปเทปูนหล่อแบบและดูدفองอากาศออกจากเนื้อปูนตัวแบบเทียนอาจหลุดออกจากฐานที่ติดได้

2.4.4 การคำนวณหาน้ำหนักของโลหะ

1) ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ ความถ่วงจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุต่อน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน ความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วย แต่เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนัก จากกฎของอาร์คิมิดีสที่ว่า “วัตถุใด ๆ เมื่ออยู่ในน้ำ วัตถุนั้นจะสูญเสียน้ำหนักไปเท่ากับน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่วัตถุนั้นเข้าไปแทนที่”

2) การคำนวณหาปริมาณน้ำโลหะ ในทางปฏิบัติสามารถคำนวณน้ำหนักโลหะที่ต้องการใช้โดยไม่ยุ่งยากมากนัก เนื่องจากได้มีการคำนวณ ค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะชนิดต่างๆ ไว้แล้วจึงเพียงแต่นำน้ำหนักของต้นเทียน มาคูณและบวกด้วยส่วนเพิ่มเติมปัจจัยอื่นนี้ จะต้องบวกเพิ่มเข้าไปในน้ำหนักของโลหะที่คำนวณได้ส่วนเพิ่มเหล่านี้คือ ส่วนเพิ่มบริเวณปากทางเข้าของโลหะ ในการหล่อปูนทำแม่พิมพ์ปูนหล่อเมื่อปูนเริ่มจับตัวแข็งดีแล้ว จะนำเอาฐานยาง ออกจากแม่พิมพ์ปูน ซึ่งจะเห็นปากทางเข้าของน้ำโลหะ ที่มีลักษณะเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ มีรูปร่างตามแบบฐานยางที่นำออกไป ส่วนของกลุ่มนี้จะไม่มีส่วนในการคำนวณข้างต้น สำหรับการเพิ่มน้ำหนัก โลหะส่วนนี้จะบวกเพิ่มจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักที่คำนวณได้

ขั้นตอนการคำนวณหาน้ำหนักของโลหะ

- ก่อนทำการติดต้นเทียนให้ชั่งน้ำหนักของฐานยาง และเขียนน้ำหนักของฐานยางไว้ให้ชัดเจน
- ติดต้นเทียนตามหลักการ
- ชั่งน้ำหนักต้นเทียนที่ติดตั้งบนฐานยาง นำน้ำหนักของฐานยางที่บันทึกไว้มาหักลบออกบันทึกไว้
- คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะที่จะใช้หรือ เปิดหาจากตารางสำเร็จ
- คำนวณโลหะที่ต้องการใช้ = ถ.พ. ของโลหะ $\times$ น้ำหนักของต้นเทียน
- เผื่อน้ำหนักโลหะ 20% = (ถ.พ. ของโลหะ $\times$ น้ำหนักของต้นเทียน) $\times 20 / 100$

ก่อนการติดต้นเทียนควรชั่งน้ำหนักฐานยาง ดอกกล้วยไม้ และชั่งน้ำหนักฐานยางพร้อมต้นเทียนที่ติดดอกกล้วยไม้เรียบร้อยแล้ว เพื่อคำนวณหาน้ำหนักโลหะในการหล่อ ซึ่งถ้าไม่คำนวณก็จะไม่ทราบถึงน้ำหนักโลหะที่ใช้ในการหล่อ เมื่อทำการหล่ออาจจะทำให้การหล่อชิ้นงานออกมาไม่เต็ม เพราะโลหะไม่เพียงพอในการหล่อ

2.4.5 การผลิตแม่พิมพ์ยาง

ในการประกอบแม่พิมพ์ยางให้เริ่มต้นด้วยการตรวจดูความเรียบร้อยและความถูกต้องของต้นแบบตัวเรือนก่อนโดยพิจารณาขนาดรูปทรงและสัดส่วนให้ถูกต้องตามความต้องการ หลดลายต่างๆ คมชัด ไม่มีครีบหรือส่วนเกินอื่นในร่องรอยการต่อเชื่อมต้องเรียบร้อย ผิวเรียบ ไม่มีตามดหรือรูพรุน ต้นแบบต้องต่อก้านหรือทางเดินของน้ำโลหะ ซึ่งลักษณะเป็นก้านหลอดโลหะกลมตรง ขนาดประมาณ $3/22 - 1/8$ นิ้ว ยาวประมาณ $1 - 1/2$ นิ้ว สำหรับการติดก้านจะต้องเลือกติดตรงชิ้นงานส่วนที่ไม่ต้องการความสวยงามมากนัก และเป็นตำแหน่งที่สามารถตกแต่งได้ง่าย ข้อสำคัญคือ จะต้องไม่ติดก้านในส่วนที่มีลวดลายละเอียดมากๆ เพราะจะตกแต่งยากมากในขั้นตอนสุดท้าย ขั้นตอนต่อไปคือการเลือกกรอบแม่พิมพ์ การพิจารณาว่าจะใช้กรอบแม่พิมพ์ขนาดใดนั้นให้ยึดหลักเกณฑ์ดังนี้คือ เมื่อวางต้นแบบตัวเรือนเครื่องประดับลงที่จุดกึ่งกลางของกรอบแม่พิมพ์แล้ว ต้นแบบตัวเรือนเครื่องประดับควรมีระยะห่างทุกๆ ด้านจากขอบด้านในของกรอบแม่พิมพ์ไม่น้อยกว่า $3/4$ นิ้ว และด้านหนาไม่น้อยกว่า $1/8$ นิ้ว ทั้งด้านบนและด้านล่างของกรอบแม่พิมพ์โลหะ

2.4.5.1 แม่พิมพ์ลึอก

คือแม่พิมพ์ยางที่มีเดือยหรือหมุดแทรกอยู่ระหว่างแม่พิมพ์เมื่อแม่พิมพ์ผ่านกระบวนการอบร้อน (Vulcanization) แล้วสามารถฉีกแม่พิมพ์ออกได้เป็น 2 ส่วน โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการผ่าแม่พิมพ์ จึงมีการเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แม่พิมพ์ฉีก ข้อจำกัดของแม่พิมพ์ลักษณะนี้คือ ใช้ได้เฉพาะกับต้นแบบที่ค่อนข้างเรียบ ไม่มีลวดลายซับซ้อนมากนัก มีขั้นตอนการประกอบพอสรุปได้ดังนี้

1. ตัดแผ่นยางทำแบบออกเป็นสี่เหลี่ยม ตามขนาดของช่องกรอบแม่พิมพ์ที่จะใช้ให้พอดี จำนวน 6-8 แผ่นหรือเมื่อนำมาเรียงกัน เท่ากับความหนาของกรอบแม่พิมพ์ ในขั้นตอนนี้ยังไม่ต้องลอกแผ่นพลาสติกหรือแผ่นสติ๊กเกอร์ออกจากแผ่นยาง

2. ทดลองวางแผ่นยางในการอบแม่พิมพ์ซ้อนกันให้มีความหนาประมาณครึ่งหนึ่งของกรอบแม่พิมพ์ซึ่งเรียกว่าเป็นส่วนล่างของกรอบแม่พิมพ์

3. ตัดแผ่นยางขนาด 0.5×0.5 ซม. ประมาณ 6 – 8 ชิ้น เพื่อใช้ทำหมุดหรือทำล็อกของแม่พิมพ์ยาง ยางที่นำมาใช้จะต้องเป็นยางที่ผ่านการอบร้อนแล้วซึ่งจะไม่เสียรูปทรงอีกเมื่อผ่านการอบร้อนอีกครั้ง ในบางกรณีที่ใช้ในโลหะเป็นหมุดหรือล็อกของแม่พิมพ์ชนิดนี้

4. ติดแผ่นยางสำหรับทำล็อกลงบนแม่พิมพ์ส่วนล่างโดยก่อนติดให้ทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นยางให้ดี บางตำราแนะนำให้ใช้น้ำมันเบนซินทำความสะอาดแผ่นยางก่อน การติดล็อกควรติดให้ห่างจากขอบของแม่พิมพ์ไม่น้อยกว่า 0.5 ซม. ตำแหน่งที่สำคัญๆ ในการติดล็อกคือ มุมของแม่พิมพ์ ทั้ง 4 มุม และบริเวณรอบๆ ต้นแบบตัวเรือนเครื่องประดับ

5. นำแผ่นยางที่ติดล็อกเรียบร้อยแล้วมาฉีดเคลือบด้วยซิลิโคนสเปรย์ และแบ่งแผ่นประกอบแม่พิมพ์ โดยวางแผ่นยางเรียบลงในกรอบแม่พิมพ์ในขั้นตอนนี้ ให้ลอกพลาสติกหรือสติ๊กเกอร์ของแผ่นยางออกด้วยเรียงซ้อนกันขึ้นมาจนถึงกึ่งกลางของแม่พิมพ์จึงวางแผ่นยางที่ติดล็อกไว้แล้วลง พร้อมกับวางต้นแบบตัวเรือนเครื่องประดับที่ประกอบกัน Sprue Former ลงตามตำแหน่ง นำแผ่นยางประกบปิดลงและเรียงซ้อนกันขึ้นจนเต็มกรอบแม่พิมพ์

6. ใช้แผ่นอะลูมิเนียมหรือแผ่นโลหะอื่นๆ ปิดซ้อนด้านบนและล่าง ของกรอบแม่พิมพ์นำเข้าอบร้อนในเครื่องอัดแม่พิมพ์ยาง (Vulcanizer) หมุนสกรูกดอัดของเครื่อง โดยในขั้นแรกให้กดพอประมาณ ตั้งอุณหภูมิของเครื่องที่ 150°C และตั้งเวลาที่ 45 นาที เมื่อทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที ให้ทำการหมุนสกรูกดอัดอีกครั้งจนแน่น

7. นำแม่พิมพ์ยางออกจากเครื่องเมื่อครบกำหนด นำไปแช่น้ำให้เย็น ถอดแม่พิมพ์ออกจากกรอบแม่พิมพ์อีกแม่พิมพ์ออกเป็น 2 ส่วน นำต้นแบบตัวเรือนและ Sprue Former ออกจะได้แม่พิมพ์

ยาง 2 ส่วน ที่สามารถประกอบเข้าในตำแหน่งเดิมทุกครั้งโดยมีล๊อคเป็นตัวบังคับภายในโพรงแบบที่พิมพ์รูปทรงและรายละเอียดของต้นแบบไว้ทุกประการพร้อมทั้งมีประตูหรือช่องที่เกิดจาก Sprue Former และก้านต้นแบบ Sprue Former ซึ่งเป็นเส้นทางที่จะนำโลหะที่หลอมละลายเข้าไปในโพรงแบบ

2.4.5.2 แม่พิมพ์ตัด

พิมพ์ตัด เป็นแม่พิมพ์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ในวงการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ เพราะสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับต้นแบบตัวเรือนเครื่องประดับ เพราะสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับต้นแบบตัวเรือนเครื่องประดับที่มีความซับซ้อนมากๆ ขั้นตอนการประกอบแม่พิมพ์จะคล้ายกับการประกอบแม่พิมพ์ล๊อคทุกประการ ยกเว้นบางขั้นตอนดังนี้

ไม่ต้องทำล๊อคที่ส่วนล่างของแม่พิมพ์และไม่ต้องใช้ซิลิโคนสเปรย์ และแบ่งฝุ่น สร้างแผ่นฟิล์มเพื่อป้องกันแม่พิมพ์ส่วนบนและส่วนล่างให้ไม่ติดกันชั้นงานที่มีความหนาจะต้องทำการเจาะแผ่นบางขึ้นที่จะวางต้นแบบแม่พิมพ์เพื่อให้ทุกสัดส่วนของต้นแบบสัมผัสกับเนื้ออย่างมากที่สุด จะต้องมีการบวนการผ่าแม่พิมพ์ เนื่องจากเมื่ออบร้อนแม่พิมพ์แล้ว แม่พิมพ์จะติดแน่นเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งตัวแม่พิมพ์ โดยมีต้นแบบตัวเรือนซึ่งประกอบกับก้านต้นแบบ (Sprue Rod) และ Sprue Former ติดอยู่ภายในเมื่อผ่าออกมาและนำต้นแบบออกแล้วจะได้แม่พิมพ์ยาง 2 ส่วน ซึ่งเมื่อประกบกันแล้วจะมีโพรงแบบที่พิมพ์รายละเอียดรูปทรงต่างๆ ของต้นแบบทุกประการอยู่ภายใน โดยมีช่องทางเดินของขี้ผึ้งเข้าสู่โพรงแบบนี้ๆ



รูปที่ 2-17 เครื่องอัดพิมพ์ยาง

2.4.5.3 การอบแม่พิมพ์ยาง

การอบแม่พิมพ์ยาง จะทำเมื่อประกอบแม่พิมพ์ยางเรียบร้อยแล้ว ยางที่ยังไม่ผ่านการอบ จะไม่มีความยืดหยุ่นเมื่อดึงแรงๆ จะฉีกขาดได้ง่าย แต่ยางที่ผ่านการอบแล้วจะยืดหยุ่นมากขึ้น มีความเหนียวสามารถบิดงอได้โดยไม่ขาด มีผิวเรียบ สามารถตัดได้ง่าย นอกจากนี้ในขณะที่อบแม่พิมพ์ยาง ทำแบบจะอ่อนตัวลง ซึ่งเมื่อมีการกดอัดระหว่างการอบจะทำให้เนื้อยางแทรกไปตามช่องว่างหรือ ลวดลายต่างๆ ของต้นแบบ และจะพิมพ์ลวดลายเหล่านั้นไว้บนผิวอย่างถาวรตลอดไป ในการอบแม่พิมพ์ยางนั้น ได้มีการกำหนดสภาวะต่างๆ ได้ดังนี้คือ อุณหภูมิที่ใช้เท่ากับ 150°C เป็นเวลา 45 – 50 นาที โดยใช้แรงกดอัดสูงสุด (แผ่นความร้อนตัวบนของเครื่องอัดพิมพ์ แนบกับการอบแม่พิมพ์ยาง)

ระยะเวลาในการอบแม่พิมพ์ ขึ้นกับความหนาของแม่พิมพ์ยาง ถ้ามีความหนามาก จะใช้เวลา มากกว่าแม่พิมพ์ที่มีความหนาน้อยกว่า ซึ่งมีการแนะนำให้ใช้เวลา 15 นาที ต่อความหนาของแม่พิมพ์ยาง $\frac{1}{4}$ นิ้ว หรือจำนวนของยางทำแบบ 6 แผ่น กับระยะเวลา 45 นาที

2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาอิทธิพลของสารเจือ ฟอสฟอรัสและอินเดียม ต่อคุณสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือทองแดงสำหรับผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ โดยผู้วิจัยได้ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องและใกล้เคียงนำมาเสนอ ดังนี้

อัลโด ได้ศึกษาพื้นฐานทางด้านโลหะวิทยาของเงินสเตอร์ลิงที่ผสมด้วยทองแดง โลหะที่ผสมลงไปดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างจุลภาค คือเป็นตัวอธิบายว่ามาจาก Non-Equilibrium Solidification แบบใด ปริมาณทองแดงจะแยกตัวออก ซึ่งจะเป็นตัวแสดงถึงการได้มาของส่วนผสมสำหรับการทำหน้าที่ของทองแดง และโลหะผสมอื่นซึ่งสามารถทำการศึกษได้จากส่วนผสมสเตอร์ลิง และเพื่อลด Fire Staining พฤติกรรม Tarnish สรุปได้ว่าจากการศึกษาเพื่อเข้าใจของสัดส่วนผสมและผลกระทบของแต่ละส่วนผสมที่เติมไม่ว่าจะเป็น Zn Ge และ Si ในตัวแปรของสเตอร์ลิง

ริชาร์ด ได้สรุปปัญหาจากการหล่อเงินสเตอร์ลิง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่ม คือ ปัญหาที่เกิดจากการปฏิบัติงานของผู้กระทำการหล่อหรือปัญหาที่เกิดขึ้นจากการลำดับขั้นของเทคนิค การหล่อ และปัญหาการดูดซับออกซิเจนในสถานะของเหลว ซึ่งปัญหาดังกล่าวต้องมีวิธีป้องกันและ การศึกษาถึงการดูดซับออกซิเจน โพรงอากาศ และการเกิดออกไซด์ของทองแดงที่ผสมในงานหล่อ

มาร์ค ได้ศึกษาเวลาที่ใช้สำหรับการอบอ่อนด้วยเตาอบ ซึ่งผลจากการศึกษา ซึ่งมาร์คได้ แนะนำว่าในทางปฏิบัติควรใช้เวลาประมาณ 30 นาที แต่ถ้าทำการอบอ่อนด้วยวิธีใช้หัวไฟเผาบนโต๊ะปฏิบัติงานทั่วไปให้อุณหภูมิสูงกล่าวปกติจึงใช้เวลาในการให้ความร้อนสั้น อุณหภูมิที่ใช้สำหรับการอบอ่อนสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงสีโลหะด้วยสายตา ซึ่งแนะนำอุณหภูมิสำหรับการอบ อ่อนโลหะชนิดต่าง ๆ

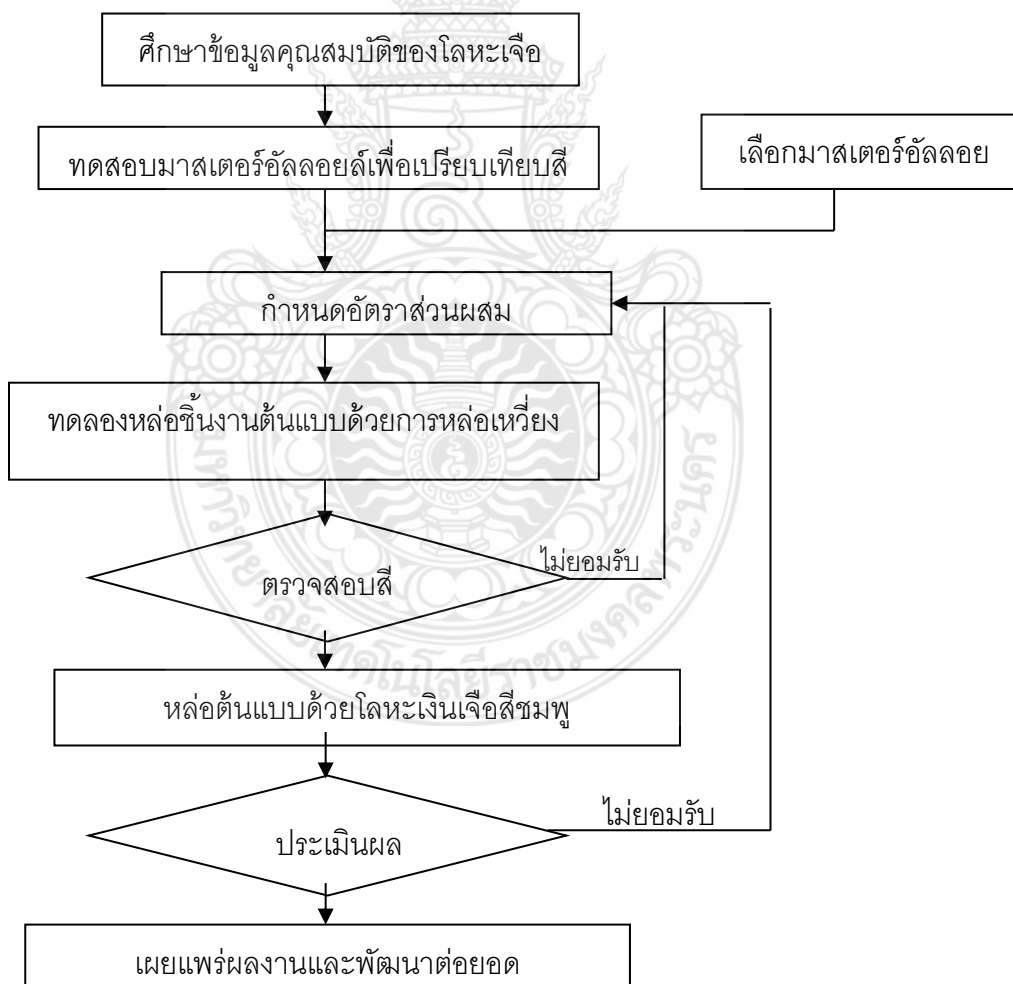
สมนึก และคณะ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของสารเจือสำคัญที่ใช้ผสมในโลหะเงินเจือ ได้แก่ ทองแดง สังกะสี และซิลิกอน โดยกำหนดปริมาณทองแดงประมาณ 5% สังกะสีระหว่าง 0.5 ถึง 2.5% และซิลิกอน 0.1 ถึง 0.4% ในการศึกษาถึงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางกล การหล่อ กรรมวิธีทางความร้อน และความต้านทานการหมอง ซึ่งผลการศึกษา พบว่า ถ้าปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ การยืดตัวลดลง ถ้าปริมาณซิลิกอนเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมี

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 แผนการดำเนินงาน

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาส่วนผสมโลหะเงินบริสุทธิ์เจือโลหะอัลลอยด์ เพื่อให้ได้โลหะเงินเจือสีชมพู ซึ่งมีปริมาณการผสมเนื้อเงินอยู่ในช่วงระหว่าง 58.00-58.6 wt% และเจืออัลลอยด์ 41.4-42.00 wt% ตามลำดับ โดยทำการเปรียบเทียบค่าสี L^*a^*b เพื่อวัดค่าที่เปลี่ยนแปลง (DE^*) ตามมาตรฐาน Commission International Del' Eclairang (CIELAB) มาตรฐาน CIELab



รูปที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วัสดุเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองศึกษาวิจัย

3.2.1 วัสดุ

1. โลหะเงินบริสุทธิ์ 100 เปอร์เซ็นต์
2. วัสดุผสม ประกอบด้วยสังกะสีหรือพอลาเดียมความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์
3. วัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้สำหรับการหล่อหลอมผสมโลหะและหล่อขึ้นรูปขึ้นสนั้น ประกอบไปด้วยเบ้าหลอมโลหะ ปูนสำหรับทำแบบหล่อ ยางสำหรับทำแม่พิมพ์ยางและเทียนสำหรับฉีดขึ้นรูปตัวแบบแว็กซ์
4. วัสดุสิ้นเปลืองสำหรับการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ซึ่งประกอบไปด้วย กระดาษทรายขนาดต่างๆ และสารเคมี

3.2.2 เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการทดลองศึกษาวิจัย

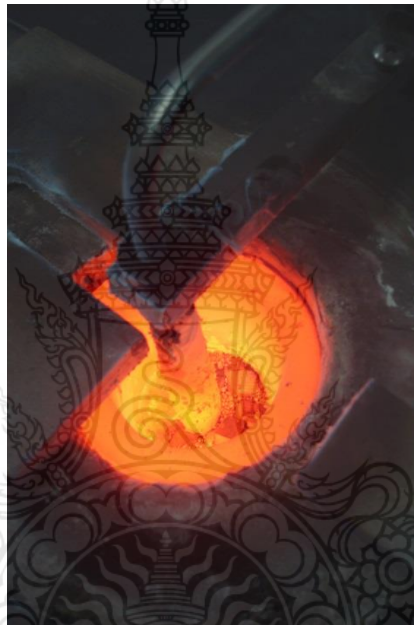
เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยได้ดำเนินการจัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม

1. เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการหลอมผสมโลหะและการหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ ในการทดลองศึกษาวิจัยนี้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการผลิตขึ้นงานเครื่องประดับ ซึ่งประกอบไปด้วย หลอมผสมเทเม็ดโลหะ เครื่องหล่อเหวี่ยงและเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการเตรียมแบบหล่อ (เครื่องฉีดแว็กซ์ เครื่องผสมปูน เครื่องอบนึ่งไอน้ำและเตาอบปูนแบบหล่อ)
2. เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีและวัดสีในการศึกษาวิจัยนี้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ดังต่อไปนี้ เครื่องวิเคราะห์ขั้นสูง Induction Couple Plasma (ICP) เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) และเครื่องวัด ระดับสี Colorimeter

3.3 การหลอมผสมโลหะเพื่อผลิตเป็นมาสเตอร์อัลลอย

การดำเนินการหล่อหลอมผสมโลหะเพื่อผลิตมาสเตอร์อัลลอยสำหรับการวิจัยนี้ ดำเนินการโดยการหลอมโลหะผสมสังกะสีที่อัตราส่วนผสม 58wt% + 42 wt% เพื่อผลิตโลหะผสม มาสเตอร์อัล

ลอยซึ่งทำการหลอมผสมด้วยเครื่องหลอมเทเม็ดโลหะที่ทำการ หลอมโลหะผสมโลหะภายใต้สภาวะ
สุญญากาศและปกคลุมผิวหน้าโลหะด้วยก๊าซอาร์กอน ด้วยเครื่อง ที่ใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรมการ
ผลิตเครื่องประดับ ดังแสดงในรูป ที่ 3.1 หลังจากทำการหลอมผสมโลหะจนส่วนผสมต่างๆ หลอมผสม
เข้าด้วยกันแล้วทำการเทหยดน้ำ โลหะลงในน้ำเป็นเม็ดโลหะ แสดงในรูปที่ 3.2



รูป ที่ 3-2 เครื่องหลอมเทเม็ดโลหะ



รูปที่ 3-3 มาสเตอร์อัลลอย

เม็ดโลหะมาสเตอร์อัลลอยที่ได้จากการหลอมผสมโลหะและเทหัดเม็ดจะถูกนำไปทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของมาสเตอร์อัลลอยด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) ของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สวอ) จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบหรือส่วนผสมทางเคมี พบว่า เม็ดโลหะผสมมาสเตอร์อัลลอยมีส่วนผสม 58.00 wt% + 42.002 wt% และตรวจสอบค่าของสี ของเม็ดโลหะผสมมาสเตอร์อัลลอย เครื่อง color spectrophotometer (Hunterlab, Ulter Scan XE/IX7, USA) ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

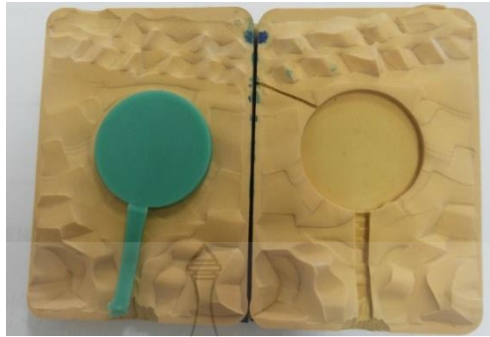
3.4 การดำเนินการหลอมผสมโลหะและหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.% สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบต่างๆ

เม็ดโลหะผสมมาสเตอร์อัลลอย ที่ได้จากหัวข้อ 3.3 ถูกนำมาหลอมผสมรวม กับโลหะเงิน เพื่อหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.% สำหรับการศึกษวิเคราะห์ โครงสร้างระดับสี เพื่อเปรียบเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิงหรือโลหะเงินผสม 92.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถกำหนดอัตราการผสมของชิ้นทดสอบทั้งหมดดัง แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3-1 อัตราการผสมของชิ้นทดสอบสำหรับการศึกษาวิจัย Ag +Alloy

อัตราส่วนผสมที่กำหนด Ag (%)			ปริมาณการผสม (g)			
	Ag	Alloy		Ag	Alloy	Total
Sample1	92.5	7.5	Sample1	185.00	15.00	200.00
Sample2	58.00	42.00	Sample2	116.00	84.00	200.00
Sample3	58.10	41.90	Sample3	116.20	83.80	200.00
Sample4	58.20	41.80	Sample4	116.40	83.60	200.00
Sample5	58.30	41.70	Sample5	116.60	83.40	200.00
Sample6	58.40	41.60	Sample5	116.80	83.20	200.00

ในการหล่อหลอมขึ้นรูปชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือสีชมพู ผู้วิจัยดำเนินการหล่อขึ้นรูป ชิ้นงานทดสอบเป็นเหรียญทรงกลม ขนาดความโต 20 x หนา 2 มิลลิเมตร หล่อขึ้นรูปได้จากการฉีดแว็กซ์เข้าไปในแม่พิมพ์ยาง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 สำหรับในส่วนชิ้นทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ระดับสี ซึ่งตัวแบบแว็กซ์ทั้งหมดจะถูกนำไปติดเป็นต้นแบบแว็กซ์สำหรับการหล่อขึ้นรูป ดังแสดงรูปที่ 3.4 ด้วยกระบวนการ Investment Casting ด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แม่พิมพ์ยาง



รูปที่ 3-5 ต้นแบบแก๊ซสำหรับหล่อชิ้นรูปขึ้นทดสอบสำหรับการทดสอบความระดับสี



รูปที่ 3-6 เครื่องหล่อเหวี่ยง



ก.การชั่งปริมาณของผงปูนหล่อแบบ



ข.เทปูนผสมน้ำลงในกระบอกร



ค.การอบเข้าปูน



ง.การหลอมโลหะ



จ.การหล่อเหวียง



ฉ.เข้าปูนหล่อที่หล่อเสร็จ

รูปที่ 3-7 ขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการหลอมโลหะและหล่อต้นแบบ

สำหรับในส่วนสภาวะของการหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ ประกอบด้วย

1. เครื่องหล่อเหวี่ยง centrifugal casting machine
2. ปริมาณการหลอมโลหะครั้งละ 126 กรัม
3. หลอมโลหะด้วยหัวเผา
4. อุณหภูมิกระบอบกปูนโพรงแบบหล่อ 550°C
5. อุณหภูมิเทหล่อ 960 °C
6. พักกระบอบกปูนแบบหล่อก่อนจุ่มน้ำล้างปูน 30 นาที



รูปที่ 3-8 ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากการหล่อต้นแบบ

3.5 การศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติ โครงสร้างระดับสีของขึ้นทดสอบ โลหะเงินผสม 58.00%

3.5.1 การวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

เป็นการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของขึ้นทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินผสมที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป และนอกจากนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบอิทธิพลของธาตุผสม ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินผสม 58.00% ซึ่ง การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินผสมมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

ก. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบ ซึ่งการเตรียมทำได้โดยตัดชิ้นงานแล้วตกแต่งผิวให้หมดคม เพื่อความสะดวกในการจับยึดชิ้นทดสอบมาขัดผิวให้เรียบ

ข. ขั้นตอนการขัดผิวละเอียด (Fine Grinding) การขัดผิวชิ้นงานจะใช้กระดาษทรายน้ำซิลิกอนคาร์ไบด์ติดบนเครื่องขัดแบบจานหมุน ซึ่งปกติชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยแผ่นคอรันดัมแล้วจะมีผิวเรียบ เริ่มขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 280 1000, 1200 ตามลำดับ ในการขัดด้วยกระดาษทรายสองขนาดสุดท้ายต้องขัดให้เกิดรอยกระดาษทรายในทิศทางเดียวกันตลอดผิวชิ้นงานแล้วหมุนไป 90 องศา ขัดจนรอยเดิมหายไป โดยมีน้ำไหลผ่านชิ้นงานตลอดเวลาที่ขัดเพื่อระบายความร้อนและ กำจัดเศษผงโลหะที่ถูกขัดออกมา



รูปที่ 3-9 ลักษณะการขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายน้ำ

ค. การกัดกรด (Etching) หลังจากการขัดผิวมันแล้วนำมาล้างทำความสะอาดด้วยเอทิลหรือเมทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 96% แล้วเป่าให้แห้ง

3.5.2 การวิเคราะห์ตรวจสอบสี

ด้วยเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีและวัดสี ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ดังต่อไปนี้ เครื่องวิเคราะห์ระดับสีเครื่อง color spectrophotometer (Hunterlab, Ulter Scan XE/IX7, USA) ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้มุ่งทำการศึกษาคุณสมบัติของโลหะเงินผสม 58.00 % ที่มีองค์ประกอบ เป็น เงิน (Ag) อัดลอย (alloy) ภายใต้ปริมาณโลหะเงินประมาณ 58.00 % โดยเทียบกับโลหะเงิน 925 ผลจากการศึกษาดังกล่าวผู้วิจัยได้ใช้ยึดส่วนผสมข้างต้นเป็นต้นแบบในการพัฒนาส่วนผสม ของโลหะเงิน เพื่อให้ได้คุณลักษณะของสีชมพูโดยการวิเคราะห์สี (Color Analysis) ซึ่งเป็นพื้นฐานในการกำหนดความแตกต่างของสีและเป็นเครื่องมือในการทดสอบสีของโลหะเงินเจือสีชมพูที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

4.1 การศึกษาโลหะเงินผสม 58% (wt.%)

4.1.1 การวิเคราะห์ทดสอบค่าระดับสี

ในการศึกษาโลหะเงินผสมที่ 58.0% ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดสัดส่วนการผสม (wt.%) นำชิ้นงานทดลองทั้ง 6 การทดลอง เพื่อหาค่า L^*a^*b ที่ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรม (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) วัดค่าตามมาตรฐาน Commission International Del' Eclairang (CIELAB)

เพื่อตรวจสอบวัดค่าตามมาตรฐาน Commission International Del' Eclairang (CIELAB) จากชิ้นงานที่ผ่านการขัดเตรียมผิวเรียบจากกระดาษทราย (Fine Grinding) การขัดผิวชิ้นงานจะใช้กระดาษทรายน้ำ ซิลิกอนคาร์ไบด์ติดบนเครื่องขัดแบบจานหมุน ซึ่งปกติชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยแผ่นคอรันดัมแล้วจะมี ผิวเรียบ ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 280 1000, 1200 ตามลำดับ ในการขัดด้วยกระดาษทรายและต้องขัดให้เกิดรอยกระดาษทรายในทิศทางเดียวกันตลอดผิวชิ้นงานแล้วหมุน ไป 90 องศา โดยมีน้ำไหลผ่านชิ้นงานตลอดเวลาที่ขัดเพื่อระบายความร้อนและกำจัดเศษผงโลหะที่ถูกขัดออกมา วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Color Spectrophotometer (HunterLab, Ultra Scan XE/IX7, USA) ทดสอบได้ดังนี้

1. Sample1.ส่วนผสม 185.00(Ag) + 15.00(alloy) wt.%

รายการ	ค่าที่อ่านได้
L	65.146
a	-3.236
b	7.708

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Color Spectrophometer (HunterLab, Ultra Scan XE/IX7, USA)

** L แสดงค่า Lightness, +a แสดงค่า Redness, -a แสดงค่า Greenness

และ +b แสดงค่า Yellowness, -b แสดง ค่า Blueness



2. Sample2. ส่วนผสม 116.00(Ag) + 84.00(alloy) wt.%

รายการ	L	a	b
No.1	50.12±1.13	13.86±1.08	4.77±0.78
No.2	50.15±1.14	13.84±1.07	4.74±0.77
No.3	50.17±1.14	13.88±1.06	4.75±0.76
No.4	50.15±1.16	13.83±1.07	4.78±0.78
No.5	50.18±1.15	14.89±1.05	4.77±0.78
No.6	50.19±1.17	14.07±1.06	4.77±0.76
No.7	50.17±1.14	14.00±1.08	4.77±0.77
No.8	50.13±1.17	13.86±1.06	4.74±0.76
No.9	50.19±1.16	13.89±1.08	4.76±0.78
No.10	50.13±1.17	14.87±1.06	4.77±0.77
No.11	50.14±1.16	13.83±1.08	4.74±0.76
No.12	50.11±1.17	13.87±1.06	4.77±0.78
No.13	50.17±1.16	13.86±1.08	4.74±0.76
No.14	50.11±1.17	15.89±1.06	4.75±0.78
No.15	50.15±1.16	13.86±1.07	4.74±0.76
No.16	50.12±1.17	13.84±1.07	4.76±0.77
No.17	50.19±1.16	13.86±1.08	4.77±0.76
No.18	50.12±1.17	13.87±1.07	4.78±0.78
No.19	50.17±1.16	13.86±1.07	4.77±0.76
No.20	50.18±1.17	14.00±1.07	4.74±0.77
ค่าเฉลี่ย	50.12	13.86	4.77

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Color Spectrophometer (HunterLab, Ultra Scan XE/IX7, USA)

** L แสดงค่า Lightness, +a แสดงค่า Redness, -a แสดงค่า Greenness

และ +b แสดงค่า Yellowness, -b แสดง ค่า Blueness

3. Sample3 ส่วนผสม 116.20(Ag) + 83.80(alloy) wt. %

รายการ	L	a	b
No.1	55.55±0.48	15.86±1.08	4.33±0.40
No.2	55.59±0.47	15.84±1.06	4.36±0.42
No.3	55.56±0.46	15.87±1.07	4.38±0.44
No.4	55.54±0.48	15.86±1.05	4.31±0.43
No.5	55.53±0.47	15.86±1.08	4.37±0.40
No.6	55.53±0.46	15.82±1.06	4.33±0.42
No.7	55.57±0.48	15.89±1.07	4.38±0.44
No.8	55.53±0.47	15.86±1.05	4.33±0.43
No.9	55.59±0.46	5.87±1.08	4.34±0.40
No.10	55.52±0.48	15.86±1.06	4.34±0.42
No.11	55.58±0.47	15.86±1.07	4.39±0.44
No.12	55.59±0.46	15.84±1.05	4.33±0.43
No.13	55.57±0.48	15.86±1.08	4.36±0.40
No.14	55.52±0.47	15.87±1.06	4.37±0.42
No.15	55.53±0.46	15.86±1.07	4.37±0.44
No.16	55.57±0.48	15.87±1.05	4.35±0.43
No.17	55.53±0.47	15.84±1.08	4.33±0.40
No.18	55.59±0.46	15.82±1.06	4.39±0.42
No.19	55.54±0.47	15.88±1.07	4.35±0.44
No.20	55.52±0.46	15.87±1.05	4.37±0.43
ค่าเฉลี่ย	55.53	15.86	4.33

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Color Spectrophotometer (HunterLab, Ultra Scan XE/IX7, USA)

** L แสดงค่า Lightness, +a แสดงค่า Redness, -a แสดงค่า Greenness

และ +b แสดงค่า Yellowness, -b แสดง ค่า Blueness

4.Sample4. ส่วนผสม 116.40 (Ag) + 83.60(alloy) wt.%

รายการ	L	a	b
No.1	63.61±1.48	17.62±0.25	3.80±0.34
No.2	63.68±1.45	17.66±0.27	3.81±0.32
No.3	63.63±1.46	17.67±0.24	3.87±0.35
No.4	63.67±1.47	17.68±0.26	3.86±0.37
No.5	63.65±1.48	17.63±0.25	3.87±0.34
No.6	63.67±1.45	17.66±0.27	3.88±0.32
No.7	63.68±1.46	17.65±0.24	3.82±0.35
No.8	63.62±1.47	17.64±0.26	3.87±0.37
No.9	63.67±1.48	17.61±0.25	3.84±0.34
No.10	63.69±1.45	17.66±0.27	3.87±0.32
No.11	63.67±1.46	17.67±0.24	3.85±0.35
No.12	63.65±1.47	17.61±0.26	3.87±0.37
No.13	63.67±1.48	17.63±0.25	3.86±0.34
No.14	63.67±1.45	17.60±0.27	3.87±0.32
No.15	63.67±1.46	17.69±0.24	3.84±0.35
No.16	63.68±1.47	17.62±0.26	3.87±0.37
No.17	63.67±1.48	17.68±0.25	3.84±0.34
No.18	63.69±1.45	17.67±0.27	3.85±0.32
No.19	63.65±1.46	17.62±0.24	3.88±0.35
No.20	63.62±1.47	17.65±0.26	3.83±0.37
ค่าเฉลี่ย	63.67	17.60	3.87

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Color Spectrophometer (HunterLab, Ultra Scan XE/IX7, USA)

** L แสดงค่า Lightness, +a แสดงค่า Redness, -a แสดงค่า Greenness

และ +b แสดงค่า Yellowness, -b แสดง ค่า Blueness

5.Sample5.ส่วนผสม 116.60(Ag) + 83.40(alloy) wt.%

รายการ	L	a	b
No.1	65.31±1.48	18.61±0.25	3.17±0.33
No.2	65.34±1.45	18.60±0.22	3.15±0.35
No.3	65.37±1.46	18.64±0.24	3.17±0.32
No.4	65.34±1.47	18.60±0.23	3.14±0.34
No.5	65.38±1.48	8.66±0.25	3.13±0.33
No.6	65.34±1.45	18.67±0.22	3.17±0.35
No.7	65.35±1.46	18.60±0.24	3.17±0.32
No.8	65.34±1.47	18.69±0.23	3.12±0.34
No.9	65.33±1.48	18.60±0.25	3.17±0.33
No.10	65.34±1.45	18.62±0.22	3.15±0.35
No.11	65.37±1.46	8.60±0.24	3.17±0.32
No.12	65.34±1.47	18.66±0.23	3.14±0.34
No.13	65.31±1.48	18.60±0.25	3.17±0.33
No.14	65.34±1.45	18.66±0.22	3.17±0.35
No.15	65.30±1.46	18.60±0.24	3.18±0.32
No.16	65.35±1.47	18.64±0.23	3.17±0.34
No.17	65.34±1.48	18.63±0.25	3.15±0.33
No.18	65.35±1.45	18.60±0.22	3.16±0.35
No.19	65.34±1.46	18.63±0.24	3.17±0.32
No.20	65.32±1.47	18.62±0.23	3.14±0.34
ค่าเฉลี่ย	65.34	18.60	3.17

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Color Spectrophotometer (HunterLab, Ultra Scan XE/IX7, USA)

** L แสดงค่า Lightness, +a แสดงค่า Redness, -a แสดงค่า Greenness

และ +b แสดงค่า Yellowness, -b แสดง ค่า Blueness

6.Sample6.ส่วนผสม116.80(Ag) + 83.20(alloy) wt.%

รายการ	L	a	b
No.1	67.20±1.48	19.70±0.25	2.09±0.33
No.2	67.19±1.45	19.45±0.22	2.07±0.34
No.3	67.17±1.47	19.60±0.24	2.04±0.35
No.4	67.15±1.46	19.60±0.23	2.02±0.32
No.5	67.13±1.48	19.64±0.25	2.04±0.33
No.6	67.15±1.45	19.60±0.22	2.04±0.34
No.7	67.17±1.47	19.62±0.24	2.04±0.35
No.8	67.10±1.46	19.60±0.23	2.11±0.32
No.9	67.17±1.48	19.64±0.25	2.14±0.33
No.10	67.14±1.45	19.60±0.22	2.10±0.34
No.11	67.17±1.47	19.60±0.24	2.07±0.35
No.12	67.14±1.46	19.60±0.23	2.06±0.32
No.13	67.17±1.48	19.62±0.25	2.04±0.33
No.14	67.19±1.45	19.60±0.22	2.06±0.34
No.15	67.12±1.47	19.65±0.24	2.04±0.35
No.16	67.17±1.46	19.67±0.23	2.04±0.32
No.17	67.13±1.48	19.60±0.25	2.07±0.33
No.18	67.17±1.45	19.64±0.22	2.04±0.34
No.19	67.19±1.47	19.60±0.24	2.09±0.35
No.20	67.13±1.46	19.62±0.23	2.08±0.32
ค่าเฉลี่ย	67.17	19.60	2.04

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Color Spectrophometer (HunterLab, Ultra Scan XE/IX7, USA)

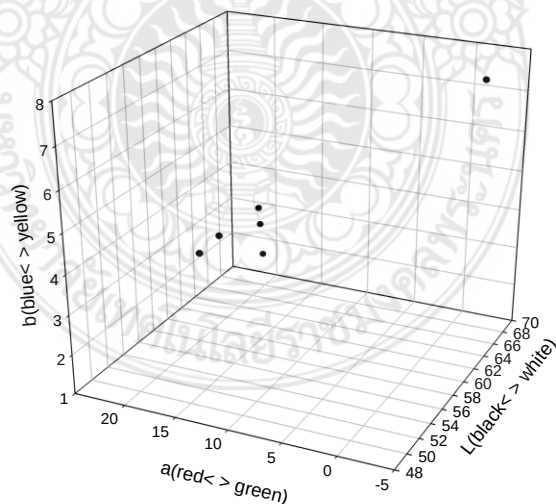
** L แสดงค่า Lightness, +a แสดงค่า Redness, -a แสดงค่า Greenness

และ +b แสดงค่า Yellowness, -b แสดง ค่า Blueness

4.1.2 การวิเคราะห์ทดสอบโครงสร้างของค่าระดับสี

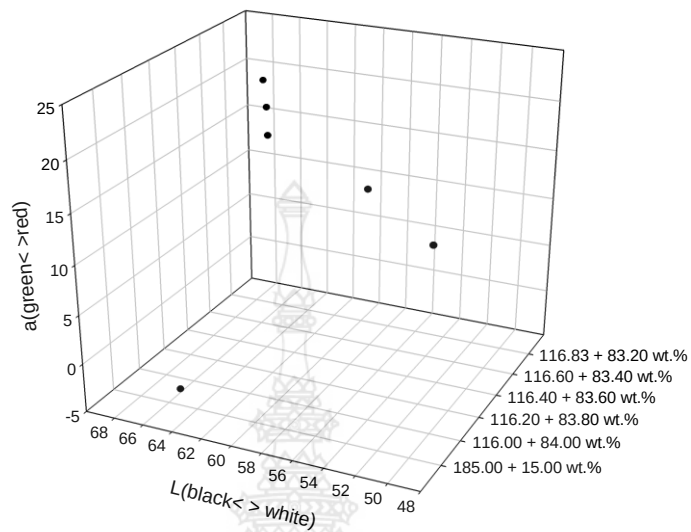
ตารางที่ 4-1 ผลสรุปการวิเคราะห์ทดสอบค่าระดับสีอัตราส่วนผสมของขึ้นทดสอบสำหรับการ
ศึกษาวิจัย Ag +Alloy ค่าปริภูมิสี CIELAB

ขึ้นทดสอบ	L	a	b
185.00 + 15.00 wt. %	65.14	-3.23	7.70
116.00 + 84.00 wt. %	50.12	13.74	4.77
116.20 + 83.80 wt. %	55.53	15.86	4.33
116.40 + 83.60 wt. %	63.67	17.60	3.87
116.60 + 83.40 wt. %	65.34	18.60	3.17
116.83 + 83.20 wt. %	67.17	19.60	2.04



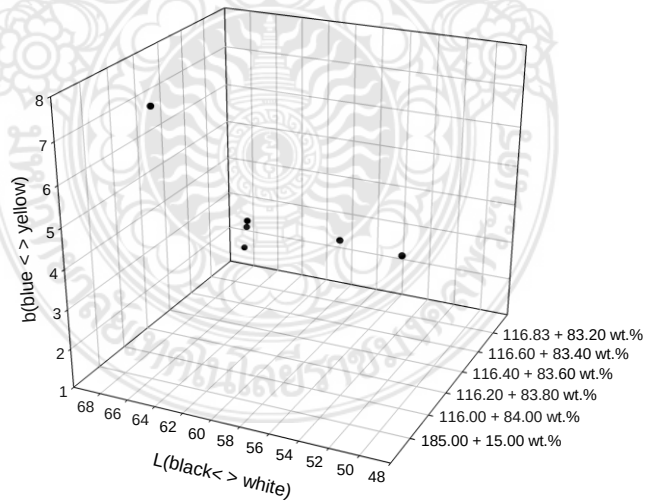
รูปที่ 4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมที่มีผลต่อค่าปริภูมิสี a^* b^* และ L

ค่า a^* b^* L มากจะให้สีชมพูขาว (สว่าง)



รูปที่ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมที่มีผลต่อค่าปริภูมิสี a และ L

ส่วนผสมที่ให้ค่า a L มากจะให้สีชมพูขาว (สว่าง)

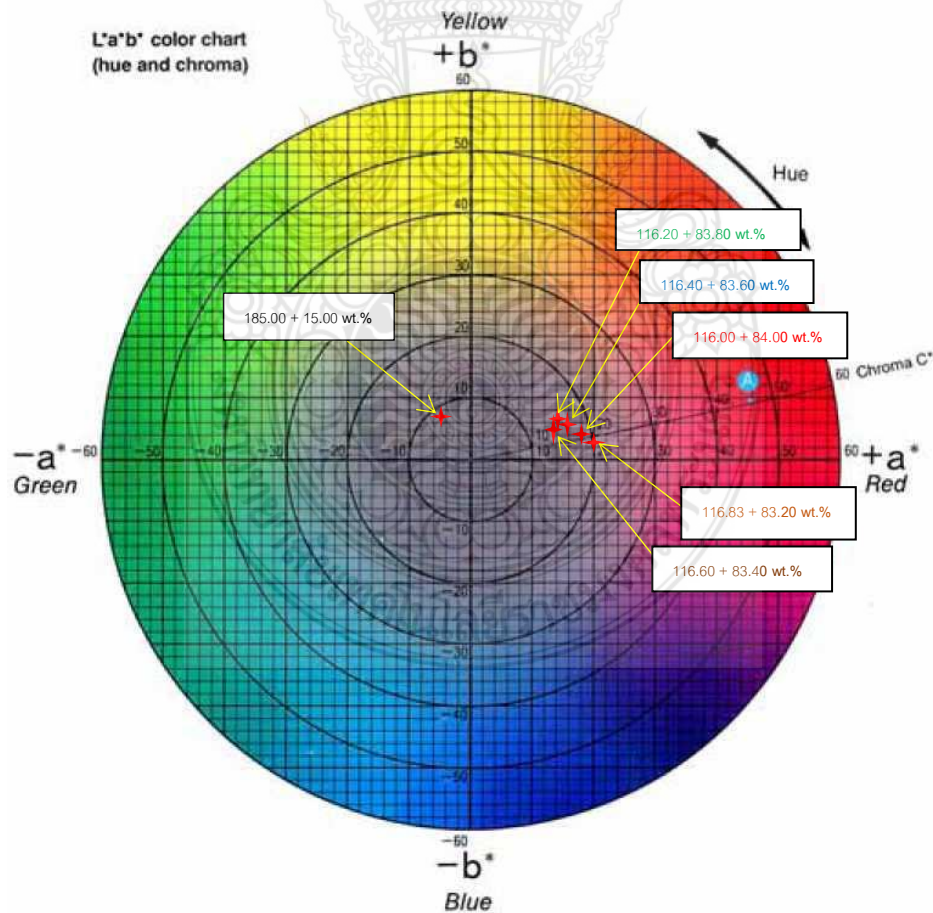


รูปที่ 4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมที่มีผลต่อค่าปริภูมิสี b * L

ส่วนผสมที่มีค่า b L มากจะให้สีชมพูขาว (สว่าง)

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ทดสอบโครงสร้างของคาร์ระดับสี

เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ของการทดสอบคาร์ระดับสีที่ได้จากกรณีศึกษา ปริมาณการผสมในอัตราผสมอัลลอย 4.2% และ 4.16% พบว่ายังมีความสอดคล้องกันทุกกลุ่มตัวอย่างขึ้นทดสอบ ผลการทดสอบที่แสดงในตารางที่ 4-1 พิจารณาความแตกต่างของค่าความสว่าง L จะพบว่า ขึ้น ทดสอบในกลุ่ม L = 50.12 a = 13.74 b = 4.77 มีค่าความสว่าง L น้อยที่สุด L = 67.17 a = 19.60 b = 2.04 มีค่าความสว่าง L มากที่สุด ดังนั้นจากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า ขึ้นทดสอบส่วนผสมที่ 116.80 + 83.20 wt.% ให้ค่า L = 67.17 a = 19.60 b = 2.04 ให้ค่าความแตกต่างของระดับสีมากที่สุด จึงเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้ผลิตเครื่องประดับโลหะเงินเจือสีชมพูด้วยรูปสร



รูปที่ 4-4 คาร์ระดับสีค่าปริภูมิสี CIELAB

4.2. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของการทดสอบค่าระดับสี

การกระจายของสีของชิ้นทดสอบแสดง ในรูปที่ 4-5 และรูปที่ 4-6 โดยการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงาน และ พิจารณาความแตกต่างของค่า L และขยาย 300X และ 500X จะพบว่าชิ้นทดสอบในกลุ่ม Ag+Alloy (wt%) โดยชิ้นงาน ให้ค่าความแตกต่างของระดับสีมากหรือน้อย สามารถทำให้เกิดสีชมพูในทุกส่วนผสมแต่ให้ความสว่างที่ต่างกัน



รูปที่ 4-5 ส่วนผสม 116.80 + 83.20 wt.%
ขยาย 300X



รูปที่ 4-6 ส่วนผสม 116.80 + 83.20 wt.%
ขยาย 500X

งานวิเคราะห์โครงสร้างสี ทั้ง 6 ตัวอย่าง เพื่อหาอัตราส่วนผสมของชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือสีชมพู ที่มีส่วนผสมต่างกัน มีความเปลี่ยนแปลงของสีโดยตรง จากการดูโครงสร้าง วัสดุ alloy จัดเป็นสารละลายของแข็ง ได้เป็นอย่างดี ภายใต้การผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความร้อนที่เหมาะสม การกระจายของเม็ดสี จะเห็นเกรนการแตกตัวของสารละลายและส่วนของสีชมพู ที่ได้จากรวมตัวในระดับการเกิดสีได้ สำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ผู้วิจัยได้แบ่งสรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาวิจัย

ผลจากการศึกษาโลหะเงินบริสุทธิ์ 58.00 % ที่ผสมด้วยอัลลอย เปรียบเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 ที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ จาก การศึกษาเปรียบเทียบพบว่าค่าโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 และมีค่าความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L 65.14 โลหะเงิน 58.4 %+ อัลลอย 41.60%มีความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L 67.17 ซึ่งมากกว่า เงินสเตอร์ลิง 925



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเพื่อหาอัตราส่วนผสมของขึ้นทกดสบโลหะเงินเจือสีชมพู ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ผลจากการศึกษาโลหะเงินบริสุทธิ์ 58.00 % ที่ผสมด้วยอัลลอย เปรียบเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 ที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ จากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่าค่า โลหะเงินสเตอร์ลิง 925 และมีค่าความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L 65.147 โลหะเงิน 58.4 %+ อัลลอย 41.60% มีความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L 67.17 ซึ่งมากกว่า เงินสเตอร์ลิง 925 ผู้วิจัยได้แบ่งสรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาวิจัย ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 การใช้โลหะเงินบริสุทธิ์ 58.00 % เป็นโลหะตั้งต้น ที่ผสมด้วยอัลลอย เปรียบเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 ที่มีอัลลอย 7.5 ที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ จากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่าค่า โลหะเงินสเตอร์ลิง 925 และมีค่าความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L 65.147 ส่วนโลหะเงิน 58.40 % + อัลลอย 41.60 มีความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L 67.17 ± 1.48 ให้ความสว่างมากกว่า

5.1.2 จากการศึกษาโลหะเงิน+อัลลอย 116.80ag + 83.20alloy wt.% มีความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L 67.17 เป็นส่วนผสมที่สามารถนำไปใช้ผลิตเครื่องประดับโลหะ เงินเจือสีชมพู ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อัตราส่วนผสมที่ใช้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยไปจากค่าที่กำหนด เพราะ อัตราส่วนผสมของโลหะที่นำมาผสมนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรง กับการควบคุมคุณภาพการของสี

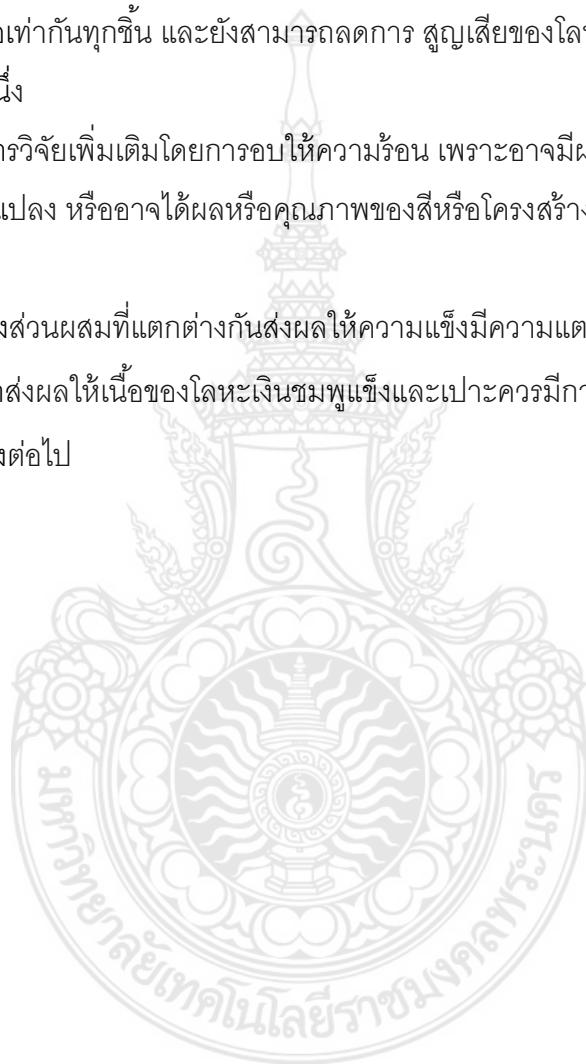
5.2.2 การนำธาตุเจืออื่นๆ ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนผสมรองอีกหลายชนิดที่มีผลต่อ สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และระดับสีของโลหะเงินผสม 58.00% ที่ยังไม่ได้ทำการศึกษา ดังนั้น จึงมี

ความสำคัญอย่างยิ่งที่ควรจะมีการศึกษาวิจัยอิทธิพลของโลหะผสม รองชนิดต่างๆ ที่สามารถเข้าไปในโลหะเงิน นอกเหนือจากทองแดง สังกะสี และดีบุก

5.2.3 ใช้เตาหลอมอินดักชั่น เพื่อหลอมเป็นเม็ดก่อนการนำไปหลอมหล่อ ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีส่วนผสมที่สม่ำเสมอเท่ากันทุกชิ้น และยังสามารถลดการ สูญเสียของโลหะเจือระหว่างการหลอมในเตาหล่อได้อีกทางหนึ่ง

5.2.4 ควรทำการวิจัยเพิ่มเติมโดยการอบให้ความร้อน เพราะอาจมีผลทำให้โครงสร้างของโลหะ อาจมีความ เปลี่ยนแปลง หรืออาจได้ผลหรือคุณภาพของสีหรือโครงสร้างที่มีความแตกต่าง

5.2.5 โครงสร้างส่วนผสมที่ต่างกันส่งผลให้ความแข็งมีความแตกต่างกันไปตามสัดส่วนของปริมาณ alloy ที่มากส่งผลให้เนื้อของโลหะเงินชมพูแข็งและเปาะควรมีการเจือธาตุรองเพื่อเพิ่มความเหนียวในการทดลองต่อไป



บรรณานุกรม

1. สมนึก วัฒนศรีกุล. **การทดสอบวัสดุ**. เอกสารประกอบการสอน มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.
2. Mark F. Grimwade. "Basic Metallurgy for Goldsmiths : Working and Annealing." *Jour Gold Technology* Issue No. 2. (June 1990) : 17-20.
3. Aldo M. Reti. "Understanding Sterling Silver." *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology*. Santa Fe, New Mexico, 1997 : 339-356.
4. Richard V. Carrano. "Sterling Silver Casting Problem." *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology*. Santa Fe, New Mexico, 1990 : 91-128
5. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพรและคณะ. **โครงการการปรับปรุงคุณภาพเงินสเตอร์ลิงโดยการเติมธาตุซิลิกอน**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2546.

