รายงานผลการวิจัย

การวิจัยปัญหาในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่

Research for casting problems and solutions on the development of modern jewelry casting

ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณปี พ.ศ. 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โครงการวิจัย : การวิจัยปัญหาในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่

ผู้วิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริศนา บุญศักดิ์

Email : prissanaboonsak@gmail.com

บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ กระบวนการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับที่สำคัญ คือการหล่อ (casting) โดยวิธีที่เป็นที่นิยมใช้กัน ได้แก่ การหล่อแทนขี้ผึ้ง (lost – wax casting) มักพบประเด็นปัญหาพิเศษโดยเฉพาะในเรื่องของเสีย เช่น ผิวชิ้นงานเครื่องประดับมัวหมอง ผิวงานเป็นรูตามด ผิวงานเป็นคราบน้ำ เป็นต้น โดยประเด็นปัญหาเหล่านี้ ไม่มีการวิเคราะห์หาสาเหตุอย่างจริงจัง จะเป็นการทำงานประจำวันของผู้ผลิตที่แก้ปัญหาเฉพาะหน้า เมื่อมีของเสียจากกระบวนการหล่อ จะนำมาหล่อใหม่ โดยไม่คำนึงถึงต้นทุนแรงงาน พลังงาน และเวลาที่เพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาปัญหาการผลิต ข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการหล่อ ของสถานประกอบการอุตสาหกรรมที่เป็นกลุ่มตัวอย่างการวิจัย 10 ราย เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางในการแก้ไขปัญหาการผลิตและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานการหล่อ เพื่อนำไปดำเนินการแก้ไขให้ได้ผล และรวบรวมปัญหาการผลิต ข้อบกพร่องในชิ้นงานการหล่อ ตลอดจนแนวทางการแก้ไข สำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาชิ้นงานหล่อที่เกิดขึ้น และเป็นแนวคิดในการหาทางป้องกันปัญหาข้อบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อลดของเสีย ลดต้นทุนการผลิต และพัฒนาคุณภาพชิ้นงาน ซึ่งเป็นการพัฒนากระบวนการหล่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากผลการวิจัยพบว่า ปัญหาการผลิตส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นหลัก ปัญหาเครื่องจักร/อุปกรณ์ และปัญหาวัตถุดิบเป็นปัญหาอันดับรองลงมาตามลำดับ โดยปัญหากระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาหลัก คือ การทำแม่พิมพ์หล่อและการหล่อโลหะ กรณีการฉีดเทียนและติดต้น การทำต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง เป็นปัญหาลำดับรองลงมาตามลำดับ สำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการหล่อที่พบมาก เป็นข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานหล่อ มีถึง 6 ลักษณะ ข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานเทียน และข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง โดยข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละลักษณะ อาจเกิดจากสาเหตุหลากหลายกรณี ปัญหาที่พบในงานวิจัยครั้งนี้มากที่สุดคือ ปัญหารูจากการหดตัว ปัญหารูพรุนจากงานหล่อ ปัญหารูจากฟองอากาศ ปัญหางานแตกร้าว ปัญหางานหล่อไม่เต็ม และปัญหางานเป็นฝ้า

Research project : **Research for casting problems and solutions on the development of modern jewelry casting.**
Researcher : **Assistant Professor Prissana Boonsak**
Email : **prissanaboonsak@gmail.com**

Abstract

Thailand's gem and jewelry industry is widely considered one of the greatest potential markets in the world. One of the important processes is producing the body jewellery or casting. The lost-wax castingtechnique is a popular technique used widely. However, it can also be a source of many defects such as porosity, tarnishing, incomplete form filling and water stain. There is not finding causes of problems affecting the cost of production, labor, energy and time increased. This research aims to study the production problems and deficiencies of work piece in the actual work from10 casting industriesto identifying and preventing all these problems. This study will be helpful to entrepreneurs gems and jewelry industry to use as guidelines to prevent defects, reduce waste, reduce production costs and improve the casting process for the piece even more quality.

The study found that most of the production process is the main the machinery / equipment and material problems the problem of secondary respectively by this process, the main problem is the casting and foundry molds the injection and the candles prototype and mold making rubber the order is a minor respectively work piece for defects in castings are very common a flaw was found in the specimens I have a 6 specimen defects found in wax and defects found in rubber molds and prototypes the defect occurs in each style be caused by a wide variety of cases. Problems encountered in this study the most hole of the shrinkage problem, problem of casting porosity, the hole of the bubble, the cracking problem, the cast is not full, the problem is the ceiling.

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ

- ภูมิหลัง 1
- วัตถุประสงค์ 2
- ขอบเขตของโครงการ 3
- ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย 3
- คำสำคัญ 3
- วิธีดำเนินการวิจัย 3
- ระยะเวลาการวิจัย 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ขั้นตอนการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
- เอกสารการหล่อเครื่องประดับ 6
- เอกสารการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย 30
- เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

- การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง 43
- การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 43
- การเก็บรวบรวมข้อมูล 44
- การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล 44

บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล

- วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องประดับจากการเก็บรวบรวมภาคสนามโดยการสัมภาษณ์เชิงลึก 45
- การวิเคราะห์วัสดุต่างๆ และวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย 46
- การออกแบบเครื่องประดับที่ได้จากศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูล 48
- การเลือกตัวอย่างโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อรูปแบบเครื่องประดับ 49
- การผลิตชิ้นงานเครื่องประดับเพื่อทดลองหาปัญหาที่เกิดในงานหล่อ 50
- ปัญหาที่พบในงานหล่อ 56

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 67

บรรณานุกรม 72

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 74

ภาคผนวก ข รูปแบบเครื่องประดับ 79

ภาคผนวก ค เอกสารขอความอนุเคราะห์ข้อมูล 81

ประวัติย่อผู้วิจัย 82

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ 1 แผนภูมิแสดงกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย 6
ภาพประกอบ 2 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเสด็จพระราชดำเนินพร้อมด้วย สมเด็จพระนางเจ้าฯพระบรมราชินีนาททอดพระเนตรการขุดค้นที่บ้านเชียง เมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2515 8
ภาพประกอบ 3 ใบหอกสำริด เป็นเครื่องสำริดชิ้นที่เก่าแก่ที่สุดของบ้านเชียง 9
ภาพประกอบ 4 เบ้าดินเผาสำหรับใช้ในงานหล่อ 9
ภาพประกอบ 5 กำไลสำริด 9
ภาพประกอบ 6 แบบพิมพ์หินทราย และ งานหล่อขวานสำริด 9
ภาพประกอบ 7 กระพรวนสำริด (Bronze Bells) 10
ภาพประกอบ 8 การให้ความร้อนโดยใช้เปลวไฟสัมผัสโดยตรงกับโลหะ โดยใช้สูบลมแบบโบราณ ในงานตีเหล็ก 11
ภาพประกอบ 9 ตัวอย่างงานหล่อที่ทำโดยวิธีขี้ผึ้งหายของบ้านปะอาว 12
ภาพประกอบ 10 รูป (ก) (ค) กำไลสำริด,(ข) กำไลแขนและ (ง) ลูกกระพรวน หรือหมากหิ่งสำหรับสวมใส่ขาบริเวณข้อเท้า 13
ภาพประกอบ 11 เครื่องหล่อแบบเหวี่ยง 15
ภาพประกอบ 12 เครื่องหล่อแบบสุญญากาศ 15
ภาพประกอบ 13 ส่วนต่างๆ ของเครื่องหล่อโลหะโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 16
ภาพประกอบ 14 ส่วนต่างๆ ของเครื่องหล่อโลหะโดยใช้ระบบสุญญากาศ 17
ภาพประกอบ 15 ส่วนประกอบของเครื่องหล่อโลหะโดยใช้ระบบสุญญากาศ 17
ภาพประกอบ 16 แผนภูมิขั้นตอนการหลอม 26
ภาพประกอบ 17 แผนภูมิขั้นตอนการหล่อ 27
ภาพประกอบ 18 ทองเหลือง 30
ภาพประกอบ 19 ทองเหลืองในงานอุตสาหกรรม 32
ภาพประกอบ 20 ทองเหลืองในงานเครื่องประดับ 33
ภาพประกอบ 21 ทองแดง 33
ภาพประกอบ 22 โลหะเงิน 36
ภาพประกอบ 23 โลหะเงิน 925 38
ภาพประกอบ 24 รูปแบบเครื่องประดับ (Sketch Design) แหวน 48
ภาพประกอบ 25 กราฟประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับรูปแบบของเครื่องประดับ 49
ภาพประกอบ 26 การผ่าพิมพ์ยางด้วยใบมีด 51
ภาพประกอบ 27 การฉีดเทียน 51
ภาพประกอบ 28 การติดต้นเทียน 52
ภาพประกอบ 29 ต้นเทียน 52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ 30 การเทปูนหุ้มผิวต้นเทียน 53
ภาพประกอบ 31 กระบอกที่เทปูนหุ้มผิวต้นเทียน 53
ภาพประกอบ 32 การอบกระบอกปูน 54
ภาพประกอบ 33 เทเม็ดโลหะลงใบเบ้าหลอม 54
ภาพประกอบ 34 นำกระบอกปูนเข้าเครื่องหล่อ 54
ภาพประกอบ 35 นำกระบอกปูนออกจากเครื่องหล่อ 54
ภาพประกอบ 36 การขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย 55
ภาพประกอบ 37 การขัดเงาโดยใช้ล้อขัดผ้าสักหลาด 55
ภาพประกอบ 38 ตัวอย่างชิ้นงานที่หล่อเสร็จสมบูรณ์ที่เกิดปัญหา 56
ภาพประกอบ 39 ตัวอย่างชิ้นงานที่หล่อเสร็จสมบูรณ์ 56

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาและด้วยความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ฉลอง อาชวากร อาจารย์เพ็ญศรี ทองนพคุณ ที่ได้ให้ความกรุณากับผู้วิจัยเป็นอย่างยิ่งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านได้กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือ แนะนำต่างๆ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้เชี่ยวชาญที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งเพื่อตรวจเครื่องมือในการวิจัย จนทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณสำนักงานวิจัยและพัฒนาที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนวิจัย ตลอดจนผู้ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้านของงานวิจัยฉบับนี้ที่ไม่อาจใส่ชื่อได้หมดทุกท่าน

ปริศนา บุญศักดิ์

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

มนุษย์รู้จักนำแร่ธาตุต่างๆ ทั้งโลหะ และรัตนชาติ มาทำเครื่องประดับตกแต่งร่างกายมานานนับพันปี ในสมัยโบราณเครื่องประดับอาจเป็นเครื่องบ่งบอกถึงตำแหน่ง ยศถาบรรดาศักดิ์ของผู้สวมใส่เครื่องประดับ ปัจจุบันลักษณะและจุดประสงค์การใช้เครื่องประดับต่างไปจากเดิม โดยจะมุ่งเน้นการประดับร่างกายเพื่อความสวยงามเป็นข้อใหญ่ แต่เริ่มแรกงานเครื่องประดับเริ่มจาก ฝีมือช่างเพียงอย่างเดียว จนปัจจุบันได้มีวิธีการผลิตเครื่องประดับโดยใช้เครื่องจักรกลเข้ามามีส่วนช่วยในการผลิตเป็นอย่างมาก และอีกประการสำคัญเครื่องประดับเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างชื่อเสียง และสร้างรายได้เข้าประเทศจำนวนมาก โดยลักษณะของเครื่องประดับในปัจจุบัน เน้นความพึงพอใจของผู้สวมใส่ รวมทั้งรูปแบบที่แปลกใหม่ดูน่าสนใจ

เครื่องประดับเป็นสินค้าอุสาหกรรม และเป็นสิ่งที่ได้รับความนิยม ซึ่งเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยจำนวนมาก จึงถือเป็นหัวใจสำคัญในการสร้างรายได้เมื่อพิจารณาถึงภาวะการค้าอัญมณีและเครื่องประดับในช่วง 9 เดือนแรกปี 2552 พบว่าสามารถกลับมาได้เปรียบดุลการค้าอีกครั้ง จึงต้องมีการพัฒนาคุณภาพของเครื่องประดับด้วย

สำหรับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อภาวะการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับไทยในช่วงปีที่ผ่านมา ประกอบด้วย

ภาวะวิกฤติเศรษฐกิจโลก โดยเฉพาะตลาดสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และยุโรป ที่ทำให้ผู้บริโภคต้องประหยัดการใช้จ่ายลง โดยมีทั้งกลุ่มที่ชะลอหรือไม่ซื้อเลย และกลุ่มที่หันไปซื้อสินค้าเครื่องประดับที่มีราคาไม่แพงมากนักแทน อาทิ เครื่องประดับเงิน และเครื่องประดับเทียม ส่งผลให้ผู้ประกอบการหลายรายประสบปัญหาสภาพคล่องทางการเงิน

การปรับตัวของราคาทองคำและราคาเงิน ในช่วงครึ่งแรกปี 2552 ทั้งทองคำและเงินซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตสินค้าเครื่องประดับอัญมณีต่างปรับราคาเพิ่มขึ้นสูงอย่างต่อเนื่องและผันผวนอย่างรุนแรง ทำให้ต้นทุนการผลิตเครื่องประดับของไทยสูงขึ้น

นอกจากนี้เครื่องประดับที่ใช้วัสดุอื่นมาทดแทนวัสดุที่มีราคาแพงยังมีบทบาทกับการส่งออกและนำรายได้เข้าสู่ประเทศได้เหมือนกัน

ประเทศไทยได้ตั้งเป้าหมายในปี 2558 จะเป็นผู้ส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับติดอันดับ 1 ใน 10 ของโลก (ปัจจุบันอยู่อันดับ 14) และมีส่วนแบ่งตลาดโลกไม่ต่ำกว่า 4% (มูลค่าตลาดอัญมณีและเครื่องประดับโลกปัจจุบันประมาณ 3.2 ล้านล้านบาท/ปี) (สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ. (2553). คู่มือพัฒนาผู้ประกอบธุรกิจด้านอัญมณีและเครื่องประดับไทยเชิงอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่น)

อย่างไรก็ตาม บรรดาผู้ประกอบการเองก็ได้มีการปรับตัวอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการกระจายความเสี่ยงด้วยการเสาะแสวงหาตลาดใหม่ๆในประเทศจีน อินเดีย และตะวันออกกลาง ที่สามารถพลิกฟื้นจากวิกฤติเศรษฐกิจในครั้งนี้ได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะส่งผลให้ผู้ประกอบการมีค่าใช้จ่ายในการขายและบริหารสูงขึ้นก็ตาม แต่หากไม่เร่งปรับปรุงกลยุทธ์ก็อาจจะยิ่งส่งผลร้ายต่อกิจการมากขึ้นก็เป็นไปได้ นอกจากนี้ผู้ประกอบการบางรายก็มุ่งขยายจากการเป็นผู้ผลิตสินค้าเครื่องประดับอัญมณีกลุ่มกลาง-สูง (Medium-High End) ให้กับแบรนด์ระดับโลก มาเป็นบริษัทแบรนด์เครื่องประดับโลก (World Class Jewelry

Brand Company) ซึ่งมีฐานการจัดจำหน่ายและค้าปลีกกระจายไปตามภูมิภาคที่สำคัญของโลก เช่นเดียวกัน และเพิ่มตลาดแบรนด์สินค้าของตนเอง (Own Brand Manufacturing: OBM) ในตลาดเอเชีย เป็นต้น ขณะที่ภาครัฐบาลเองก็ได้ให้การสนับสนุนส่งเสริมมากขึ้นด้วยการยกเลิกการเก็บภาษีมูลค่าเพิ่มของพลอยดิบนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเหลือเพียงการเก็บภาษีหัก ณ ที่จ่ายที่ระดับร้อยละ 1 เท่านั้น ซึ่งก็จะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของผู้ประกอบการต่ำลงและมีโอกาสในการแข่งขันเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ ภาครัฐก็ได้พยายามเปิดหาตลาดใหม่ๆเพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้ประกอบการอย่างต่อเนื่องด้วย

หนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจของประเทศคือ อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ด้วยมูลค่าการส่งออกโดยเฉลี่ยสูงกว่าปีละหนึ่งหมื่นล้านเหรียญสหรัฐ นอกจากเม็ดเงินจำนวนมหาศาลที่ไหลเข้าสู่ประเทศแล้ว อุตสาหกรรมนี้ยังก่อให้เกิดการจ้างงานจำนวนมากตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำ อันได้แก่การทำเหมือง อุตสาหกรรมกลางน้ำ เช่น การเจียระไนและปรับปรุงคุณภาพพลอย เรื่อยไปจนถึงอุตสาหกรรมปลายน้ำอย่างการผลิตเครื่องประดับ(โครงการส่งเสริมพัฒนาเอกลักษณ์ธุรกิจด้านอัญมณีและเครื่องประดับไทยสู่สากล, กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, กระทรวงพาณิชย์, “คู่มือพัฒนาผู้ประกอบธุรกิจด้านอัญมณีและเครื่องประดับไทย (เชิงอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่น)” พ.ศ.2454 หน้า 83.)

ปัจจุบันได้มีวิธีการผลิตเครื่องประดับโดยใช้เครื่องจักรกลเข้ามามีส่วนช่วยในการผลิตเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในการหล่อเครื่องประดับที่นำเครื่องจักรเข้ามาช่วยในการหล่อเพื่อผลิตเครื่องประดับให้ได้มากพอกับความต้องการของตลาด และในการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับในปัจจุบันเราใช้วัสดุในการผลิตหลากหลายชนิด เช่นวัสดุเงิน ทองคำ ทองคำขาว รวมทั้งใช้ขั้นตอนและกระบวนการในการหล่อหลายวิธีการที่ทำให้เกิดปัญหาต่างๆให้กับชิ้นงานเครื่องประดับ เช่น การเกิดตามด การเกิดรูพรุน และปัญหาอื่นๆอีกหลายอย่างที่ทำให้การทำงานในขั้นตอนนี้ล่าช้า ซึ่งยังใช้การแก้ไขปัญหาในรูปแบบเดิมไม่มีการพัฒนาหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีใหม่ ปัญหาในงานหล่อนี้ยังส่งผลทำให้กระบวนการผลิตในขั้นตอนอื่น ๆ ที่ต่อจากขั้นตอนนี้เสียเวลาทำให้การส่งงานให้ลูกค้าไม่ทันเกิดการเสียหายกับธุรกิจและวงการอุตสาหกรรมเครื่องประดับเป็นอย่างมาก

ดังนั้นผู้ทำวิจัย จึงมีความสนใจที่จะทำงานวิจัย หัวข้อเรื่อง “การวิจัยปัญหาในงานหล่อ และการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่” เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานหล่อให้เกิดปัญหาน้อยที่สุดหรือไม่เกิดปัญหาอีกในอนาคต และเพื่อช่วยส่งเสริมสินค้าที่เป็นสินค้าส่งออกอันดับต้นๆ ของประเทศช่วยลดต้นทุนในการผลิตเครื่องประดับที่เกิดจากการหล่อที่มีปัญหาและช่วยลดการเสียหายให้กับธุรกิจและวงการอุตสาหกรรมเครื่องประดับเป็นอย่างมาก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่เช่น การเกิดตามด การเกิดรูพรุน ฯลฯ และทดลองทำการหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น
2. เพื่อเป็นแนวทางในการหาวิธีที่เป็นนวัตกรรมใหม่ เพื่อให้ได้การแก้ไขปัญหานอกเหนือจากวิธีการแก้ไขปัญหาแบบเดิมๆ ที่ทำกันอยู่ในปัจจุบัน
3. เพื่อลดต้นทุนในการผลิตเครื่องประดับ
4. เพื่อเป็นข้อมูลในการแก้ไขปัญหางานหล่อของอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. สร้างชิ้นงานเครื่องประดับสมัยใหม่มีวัสดุที่เป็นโลหะเงิน ด้วยวิธีการออกแบบชิ้นงาน ทำการหล่อชิ้นงานในวิธีการต่างๆ ด้วยเครื่องหล่อสุญญากาศ เพื่อใช้เป็นชิ้นงานในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานหล่อ
2. วิธีการและแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในงานหล่อชิ้นงานเครื่องประดับที่ได้มาตรฐานการส่งออก

ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

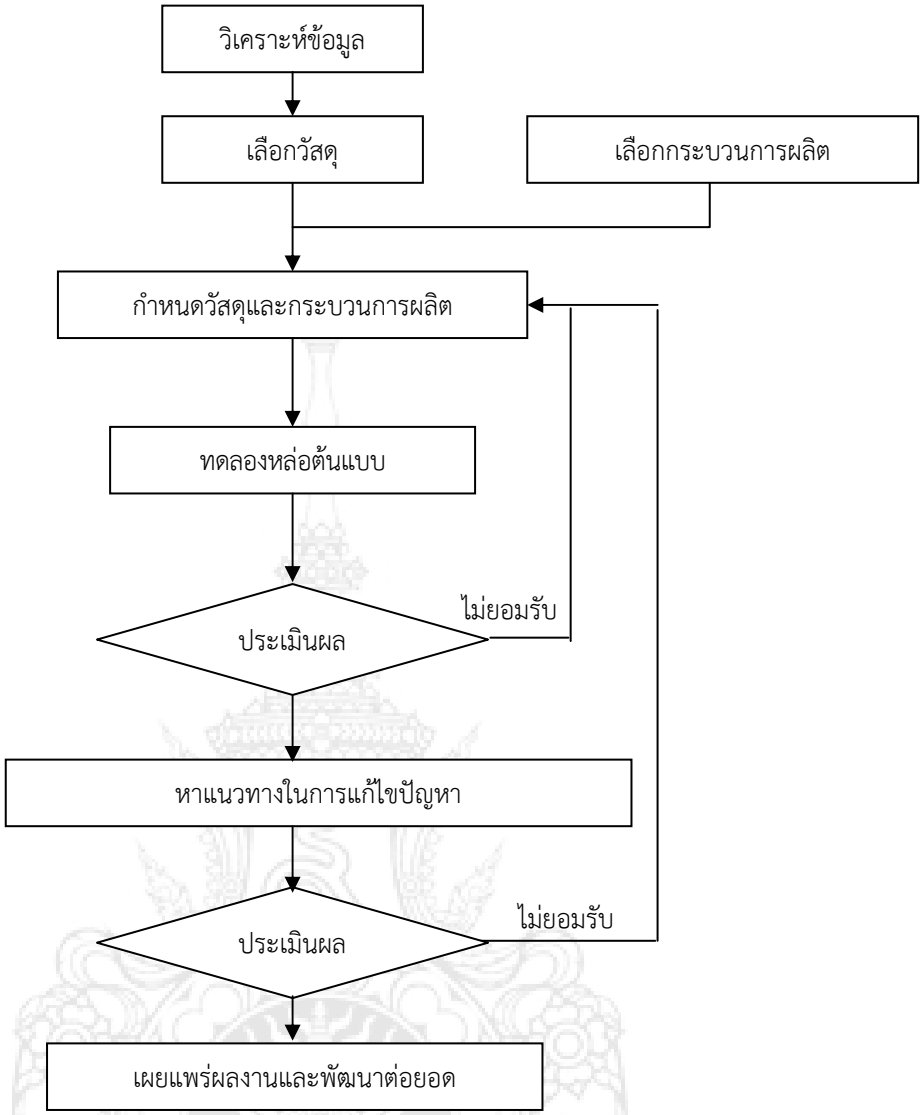
ได้เครื่องประดับสมัยใหม่ที่ใช้วัสดุที่เป็นโลหะเงิน และวิธีการที่เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานหล่อให้เกิดปัญหาน้อยที่สุดหรือไม่เกิดปัญหาอีกในอนาคต และเพื่อช่วยส่งเสริมสินค้าที่เป็นสินค้าส่งออกอันดับต้นๆ ของประเทศและลดต้นทุนในการผลิตเครื่องประดับที่เกิดจากการหล่อที่มีปัญหา สามารถนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเพื่อทำการผลิตเครื่องประดับให้ได้คุณภาพ และมีต้นทุนในการผลิตลดลง และสามารถส่งเสริมให้ผู้ประกอบการทางธุรกิจในอุตสาหกรรมเครื่องประดับมีทางเลือกใหม่ในการใช้เป็นเทคนิคที่สามารถแก้ปัญหาในการหล่อเครื่องประดับอีกหนึ่งวิธีนอกจากวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

คำสำคัญ (Keywords) ของโครงการวิจัย

1. ปัญหาและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหา (problems and solutions on the development)
2. งานหล่อเครื่องประดับ (Casting jewelry)
3. เครื่องประดับสมัยใหม่ (Modern Jewelry)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมงานและการวิจัย
   1.1 ศึกษาวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่เช่น การเกิดตามด การเกิดรูพรุน ฯลฯ และทดลองทำการหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น
   1.2 ศึกษาและจัดหาวัสดุ เครื่องมือ ที่ใช้ในทดลอง
   1.3 สร้างชิ้นงานเครื่องประดับสมัยใหม่มีวัสดุที่เป็นโลหะเงิน ด้วยวิธีการออกแบบชิ้นงาน ทำการหล่อชิ้นงานในวิธีการต่างๆ ด้วยเครื่องหล่อสุญญากาศ เพื่อใช้เป็นชิ้นงานในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานหล่อ
   1.4 ประเมินปัญหาและสาเหตุต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหล่อ
   1.5 หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในงานหล่อจากสาเหตุต่างๆ
   1.6 ทำการทดลองหล่อต้นแบบเครื่องประดับและผลิตเครื่องประดับชิ้นงานจริงอีกครั้งตามแนวทางการแก้ไขปัญหาที่พบจากสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในการหล่อ
   1.7 สรุปและประเมินผล



แผนผังวิธีดำเนินการวิจัย

2. กระบวนการและเวลาดำเนินการ

2.1 จัดเตรียมวัสดุและตรวจสอบคุณลักษณะ

1) จัดหาวัสดุ

2) ทดสอบคุณสมบัติ

2.2 ศึกษาและทำการทดลองตามกระบวนการผลิต

2.3 ประเมินปัญหาและสาเหตุต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหล่อ

2.4 หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในงานหล่อจากสาเหตุต่างๆ

2.5 ทำการทดลองหล่อต้นแบบเครื่องประดับและผลิตเครื่องประดับชิ้นงานจริงอีกครั้งตามแนวทางการแก้ไขปัญหาที่พบจากสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในการหล่อ

2.7 สรุปและประเมินผล

ระยะเวลาการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย	ระยะเวลา 12 เดือน											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล												
2. จัดหาวัสดุและทดสอบคุณสมบัติ												
3. สร้างชิ้นงานทำการทดลองเพื่อหาสาเหตุของปัญหา												
4. ประเมินปัญหาและสาเหตุต่างๆ												
5. หาแนวทางในการแก้ไขปัญหา												
6. ทำการทดลองครั้งที่ 2 ตามแนวทางการแก้ไขปัญหา												
7. สรุปและประเมินผล												

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เอกสารการหล่อเครื่องประดับ
2. เอกสารวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย
3. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาพประกอบ 1 แผนภูมิแสดงการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เอกสารการหล่อเครื่องประดับ

1.1 บทบาทและความสำคัญของงานหล่อโลหะ

งานหล่อโลหะ คือ ชิ้นงานโลหะที่ได้จากการ เทน้ำโลหะลงไปในโพรงแบบหล่อ แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงและแข็งตัว จะได้รูปร่างของชิ้นงานหล่อเหมือนกับรูปร่างของโพรงแบบ ซึ่งแตกต่างจากขบวนการอื่นๆที่ขึ้นรูปเพื่อผลิตเป็นชิ้นงานโดยโลหะนั้นไม่ต้องทำให้หลอมเหลว เช่น การตีขึ้นรูป (forging) , การรีดขึ้นรูป (rolling) หรือการรีดดึงขึ้นรูป เป็นต้น ซึ่งวิธีการที่กล่าวมาจะต้องใช้วิธีการทางกล แต่การหล่อไม่ต้องอาศัยวิธีการทางกล ซึ่งแต่ละวิธีการจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป แต่เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วงานหล่อจะมีข้อดี ดังต่อไปนี้

1) สามารถผลิตงานที่มีรูปร่างสลับซับซ้อนทั้งภายในและภายนอกได้ ซึ่งกรรมวิธี การตีขึ้นรูปหรือการเชื่อมทำไม่ได้

2) โลหะบางชนิดไม่สามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีอื่น เนื่องจากมีลักษณะธรรมชาติทางโลหะวิทยาที่แตกต่างไปจากโลหะชนิดอื่น แต่สามารถนำมาขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อได้

3) ชิ้นส่วนบางอย่างถ้าผลิตด้วยวิธีอื่นอาจจะต้องผลิตเป็นหลายชิ้นก่อนนำมาประกอบเป็นชิ้นงาน แต่งานหล่อสามารถหล่อให้ติดกันเป็นชิ้นเดียวกันได้

4) การขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อสามารถผลิตในปริมาณมากๆได้ (mass production) ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่า และ ได้ผลดีกว่า

5) การขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อสามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาดเล็กๆ ไปจนถึงขนาดใหญ่ๆ ได้ง่ายกว่าวิธีอื่น เช่น ปั๊มน้ำ หรือ เครื่องยนต์เรือเดินทะเลที่มีน้ำหนักขนาด 200 ตัน เป็นต้น ในขณะที่กรรมวิธีอื่นจะทำได้ยากกว่า

6) คุณสมบัติบางอย่าง ดีกว่างานที่ได้จากการขึ้นรูปโดยกรรมวิธีอื่น เช่น

- งานหล่อสามารถนำไปตกแต่งด้วยเครื่องมือกลได้ง่าย และมีคุณสมบัติด้านการดูดกลืนแรงสั่นสะเทือนได้ดี
- งานหล่อมีคุณสมบัติสม่ำเสมอกันดีตลอดทั้งชิ้นงาน เมื่อเปรียบเทียบกับงานตีขึ้นรูปจะมีคุณสมบัติที่ไม่สม่ำเสมอ
- งานหล่อกลุ่มโลหะเบา ที่ต้องการความแข็งแรงสูงและมีน้ำหนักเบาสามารถผลิตได้ด้วยกรรมวิธีการหล่อเท่านั้น
- สามารถผลิตงานหล่อที่ใช้ทำชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นแบริ่ง ให้คุณสมบัติด้านการหล่อลื่นที่ดี
- การผลิตโดยวิธีการหล่อสามารถควบคุมส่วนผสมทางเคมีและคุณสมบัติได้ ง่ายกว่า

1.2 การหล่อเครื่องประดับ

ประวัติการหล่อโลหะ

จากหลักฐานที่ปรากฏทางประวัติศาสตร์สมัยโบราณและสมัยกลาง ยืนยันได้ว่ามนุษย์ รู้จักวิธีการหลอมโลหะ และการทำแบบหล่อ เพื่อผลิตชิ้นงานหล่อมาใช้งาน ดังเช่น เมื่อประมาณ 5,000 ปี มนุษย์ได้ผลิตงานหล่อเป็นหัวขวาน ที่ทำจากทองแดงโดยวิธีการหลอมและเทลงในแบบที่ขุดลงในหินทราย และต่อมามีการพัฒนาโดยการทำไส้แบบ และ การทำแบบเป็นสองชั้น

การหล่อบรอนซ์นั้นกระทำกันครั้งแรกในเมโสโปเทเมีย ประมาณ 3,000 ปีก่อนคริสตศักราช (หริส สูตะบุต,หล่อโลหะ หน้า 1) และเทคนิคนี้ได้รับการถ่ายทอดมาสู่เอเชียกลาง อินเดีย และจีน เมื่อประมาณ 2,000 ปีก่อนคริสตศักราช ในประเทศจีนสมัย ยิน ประมาณ 1,500-1,000 ปี ก่อนคริสตศักราช ก็ได้มีการหล่อภาชนะที่มีขนาดใหญ่ๆ และคุณภาพดีได้สำเร็จ

การถ่ายทอดเข้าไปสู่ยุโรปประมาณ 1,500-1,400 ปีก่อนคริสตศักราช โดยผลิตเป็น ดาบ หัวหอก เครื่องประดับ ภาชนะต่างๆ และเครื่องตกแต่งที่ใช้ในงานศพเป็นต้น กลุ่มประเทศที่ผลิตงานหล่อในยุคนั้น คือ สเปญ สวิสเซอร์แลนด์ เยอรมันนี ออสเตรีย นอร์เวย์ เดนมาร์ค สวีเดน อังกฤษ และ ฝรั่งเศส

เทคนิคการหล่อบอนซ์ในอินเดียและจีน ได้มีการเผยแพร่เข้าไปสู่ญี่ปุ่นและเอเชียอาคเนย์ ในญี่ปุ่นมีพระพุทธรูปสวยๆที่ได้สร้างขึ้นในระหว่าง คริสตศักราช 600-800

เหล็กถูกค้นพบและนำมาใช้งานในยุคต่อมาโดยเริ่มต้นจากการนำมาตีให้เป็นแผ่นเช่นเดียวกับทองแดง ชาวอัสสิเรียนและชาวอียิปต์ใช้เครื่องมือ ที่ทำด้วยเหล็กประมาณ 2,800-2,700 ปีก่อนคริสตศักราช ต่อมาประมาณ 800-700 ปีก่อนคริสตศักราช จีนได้ค้นพบวิธีการทำเหล็กหล่อจากเหล็กปิก (pig iron) ซึ่งมีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ และ มีปริมาณเฟอรัสผสมอยู่ปริมาณมาก โดยผลิตโดยใช้เตาแบบแบน (plane bed) และ เทคนิคการผลิตเหล็กหล่อโดยวิธีนี้ได้แผ่ขยายไปในประเทศแถบทะเลเมติเตอร์เรเนียน ในกรีซราว 600 ปีก่อนคริสตศักราช ตัวอย่างงานที่ทำจากเหล็กหล่อเช่น อนุสาวรีย์ของ เอปามินอนตาส และ เฮอร์คิวลีส ตลอดจนอาวุธและเครื่องมือต่างๆที่เป็นชิ้นงานหล่อ

ต่อมา ในประเทศอินเดีย ได้มีการผลิตเหล็กปิก และส่งไปขายที่อียิปต์และยุโรป แต่ในสมัยนั้นยังไม่มีการผลิตเหล็กหล่อจากเหล็กปิกกันจริงๆ จังๆ จนกระทั่งในนคริสตศตวรรษที่ 14 ในเยอรมันนี และ อิตาลี่ ได้ทำการหล่อด้วยเตา บลาสต์ (blast furnace) มีรูปทรงเป็นทรงกระบอกแทนเตาแบน วิธีการหลอมนำแร่เหล็กเทใส่ลงไปในเตาสลับกับถ่านถ่านไม้ งานที่หล่อในสมัยนั้น เช่น ปืนใหญ่ ลูกปืนใหญ่ เตาอบ ท่อ เป็นต้น (สุริยา โชคสวัสดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

วิธีการหล่อในสมัยนั้นใช้การเทโลหะเหลวที่ได้จากแร่ลงไปโดยตรงที่แบบ ไม่มีการทำเหล็กปิกก่อนแล้วจึงนำเหล็กปิกมาหลอมเป็นงานหล่อโดยการเทลงไปแบบหล่อดังเช่นที่ทำอยู่ในปัจจุบัน

ต่อมาได้ค้นพบถ่านโค๊กและนำมาใช้แทนถ่านไม้ ในอังกฤษในคริสตศวรรษที่ 18 และมีการหล่อชิ้นงานที่ได้จากเหล็กปิกและพัฒนาเตาให้มีขนาดเล็กลง เป็นครั้งแรกที่ประเทศฝรั่งเศส สำหรับเตาคล้ายคลึงกับเตาคิวโปล่า (cupola) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันซึ่งสร้างขึ้นเป็นครั้งแรกในอังกฤษ ตั้งแต่นั้นมาก็ได้มีการผลิตงานหล่อ โดยวิธีการนำเหล็กปิกมาหลอมอีกครั้ง และยังมีการทำสืบต่อกันมาจนถึงปัจจุบัน

สมัยต่อมาได้มีการพัฒนาเหล็กหล่อได้เป็นเหล็กเหนียวหล่อ (cast steel) โดยวิธีการทำเหล็กเหนียวหล่อจากเหล็กปิก โดย H.Bessemer หรือ W.Siemens หลังคริสตศวรรษที่ 19 ซึ่งในสมัยโบราณได้รู้จักวิธีมีการตีเหล็กเหนียวมาก่อน

ต่อมางานอลูมิเนียมหล่อผสมได้มีขึ้นในตอนปลายคริสตศวรรษที่ 19 หลังจากที่มีการค้นพบวิธีการทำอลูมินัมบริสุทธิ์ โดยการแยกด้วยไฟฟ้า (electrolysis)

ประวัติงานหล่อโลหะในประเทศไทย จากหลักฐานทางโบราณคดีได้มีการขุดค้นพบหลายแห่ง และที่เก่าแก่ที่สุด คือ ที่บ้านเชียงซึ่งมีการพิสูจน์และระบุไว้ชัดเจนที่สุด โดยกรมศิลปากร (กรมศิลปากร,มรดกโลกบ้านเชียง, 2541 หน้า 22-24)

ภาพประกอบ 2 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเสด็จพระราชดำเนินพร้อมด้วยสมเด็จพระนางเจ้าฯพระบรมราชินีนาท ทอดพระเนตรการขุดค้นที่บ้านเชียง เมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2515

จากหลักฐานดังกล่าวทำให้ทราบว่า การโลหะกรรมที่ค้นพบที่บ้านเชียงอยู่ในสมัยก่อนประวัติศาสตร์เริ่มต้นโดย การใช้สำริดเมื่อช่วงเวลาเมื่อ 4,000 ปีผ่านมาแล้ว หลังจากนั้นเมื่อราว 2,700-2,500 ปีมาแล้วจึงเริ่มมีการใช้เหล็ก ในทางโลหะวิทยานั้น “สำริด” (Bronze) หมายถึงโลหะผสมที่มีทองแดง (Cu) และมีดีบุก (Sn) เป็นส่วนผสมหลัก ดีบุกช่างโลหะตั้งใจเติมลงไปในปริมาณตั้งแต่ 1 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป แต่โดยทั่วไปนั้น สำริดชนิดที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้ทำเครื่องมือ เครื่องใช้จะมีดีบุกผสมอยู่ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ (Coghlan 1975 : 81)

วัตถุที่เกี่ยวข้องกับการทำสำริดที่พบที่บ้านเชียงมีทั้งเบ้าดินเผาสำหรับหลอมโลหะ และแม่พิมพ์หินทรายสำหรับหล่อโลหะ ซึ่งหลักฐานแสดงว่ามีการหล่อโลหะขึ้นเองที่บ้านเชียง ส่วนวัตถุสำริดที่ผลิตขึ้นนั้นมีทั้งใบหอก หัวขวาน หัวลูกศร กำไลข้อมูล กำไลข้อเท้า เบ็ดตกปลา เป็นต้น

วัตถุสำริดที่มีความเก่าแก่ที่สุดที่พบที่บ้านเชียง คือ ใบหอก ที่พบที่หลุมฝังศพหลุมหนึ่งของระยะที่ 3 ของบ้านเชียงสมัยต้น ซึ่งเป็นหลุมฝังศพที่มีอายุราว 4,000 ปีมาแล้ว การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบหอกนี้ พบว่าเป็นสำริด ที่มีดีบุกผสมอยู่ประมาณ 3 % ซึ่งจัดว่าเป็นดีบุกที่อยู่ในระดับต่ำ ต่ำกว่าในสำริดชนิดสามัญ ส่วนการวิเคราะห์ลักษณะผลึกของโครงสร้างภายในของใบหอกสำริดนี้ พบว่า ขั้นตอน

แรกในการผลิต คือ การหล่อโดยใช้แม่พิมพ์ชนิด 2 ชิ้นประกบกัน จากนั้นก็มีการนำใบหอกที่หล่อได้ไปตีขึ้นรูปในขณะที่เย็น เพื่อตกแต่งรูปร่างให้สมบูรณ์ แต่เนื่องจากการตีในขณะที่โลหะเย็นนั้น ทำให้โครงสร้างเดิมของโลหะเกิดการบิดเบี้ยว และคุณสมบัติของโลหะสำริดเปลี่ยนไปเป็นมีความเปราะมากขึ้น จึงมีการนำเอาใบหอกชิ้นนี้ไปลดความเปราะที่เกิดขึ้นเนื่องจากการตีขณะเย็นโดยการเผาใบหอกให้ร้อนจนเป็นสีแดง แล้วทิ้งให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ กรรมวิธีการใช้ความร้อนช่วยในการลดความเปราะและทำให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้นแก่โลหะสำริด เช่นนี้ เรียกว่า วิธี “แอ็นนิลลิ่ง”(annealing)

ภาพประกอบ 3 ใบหอกสำริด เป็นเครื่องสำริดชิ้นที่เก่าแก่ที่สุดของบ้านเชียง

จากร่องรอยของผลึกโลหะที่แสดงชัดเจนว่าใบหอกสำริดชิ้นนี้ทำโดยผ่านกรรมวิธีแอ็นนีลลิ่งด้วยนั้น ชี้ให้เห็นว่าช่างสำริดรุ่นแรกของบ้านเชียงมีความรู้และความเข้าใจในเทคนิคของการโลหะกรรมสำริดเป็นอย่างดี และนอกเหนือจากการหล่อสำริดด้วยแม่พิมพ์ชนิด 2 ชิ้นประกบกันแล้ว ช่างสำริดสมัยแรกๆของบ้านเชียงเมื่อระหว่าง 3,000-4,000 ปีมาแล้ว ยังทำการหล่อโลหะด้วยวิธี หล่อแบบขี้ผึ้งหาย “Lost-wax casting” อีกด้วย กำไลสำริดแบบที่มีลูกกระพรวนประดับ ซึ่งเป็นเครื่องประดับที่พบมาตั้งแต่ช่วงระยะท้ายๆ ของวัฒนธรรมบ้านเชียงสมัยต้นล้วนแต่หล่อขึ้นมาด้วยวิธีนี้ทั้งสิ้น

ภาพประกอบ 4 เบ้าดินเผาสำหรับใช้ในงานหล่อ

ภาพประกอบ 5 กำไลสำริด

ภาพประกอบ 6 แบบพิมพ์หินทราย และ งานหล่อขวานสำริด

โลหะสำริดของบ้านเชียงตั้งแต่ช่วงระยะปลายของสมัยต้นนั้น ส่วนใหญ่เป็นชนิดสามัญ ซึ่งหมายถึงสำริดที่มีทองแดงผสมอยู่ราว 85-90 % และมีดีบุกราว 10-15% นอกจากนี้ยังมีสำริดชนิดที่ผสม ตะกั่วเพิ่มลงไปเป็นองค์ประกอบหลักชนิดที่ 3 นอกจากทองแดงและดีบุก การผสมตะกั่วลงไปในสำริดนั้นเป็น

วิธีการทางโลหะวิทยาที่ทำให้โลหะสำริดหลอมเหลวได้ง่ายขึ้น โลหะเหลวมีความหนืดลดลง ทำให้การไหลตัวของโลหะเหลวเข้าในแม่พิมพ์ได้ดีขึ้น และยังช่วยลดฟองอากาศในโลหะเหลว ทำให้วัตถุที่หล่อมีคุณภาพดีขึ้น อย่างไรก็ตาม สำริดที่มีตะกั่วผสมอยู่ด้วยจะมีความแข็งน้อยกว่าสำริดชนิดที่ที่มีเฉพาะทองแดงและดีบุกเป็นส่วนผสม จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำเครื่องมือ หรือ อาวุธที่ต้องการความแข็ง แต่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาทำเครื่องประดับ โดยเฉพาะที่มีลักษณะรูปร่างที่ซับซ้อนและลวดลายที่สวยงาม เช่น กำไลที่มีลูกกระพรวนประดับ ซึ่งผลิตโดยกรรมวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย

ภาพประกอบ 7 กระพรวนสำริด (Bronze Bells)

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหลอมหล่อที่บ้านเชียง คือ ทองแดงและดีบุก คณะผู้ศึกษาได้รายงานว่า ที่บ้านเชียงและบริเวณใกล้เคียงไม่มีแหล่งแร่ทั้งสองชนิด โดยไม่มีร่องรอยของการทำเหมืองแร่ และทำกระบวนการถลุงแร่ที่บริเวณบ้านเชียง นั่นหมายความว่าช่างหล่อโลหะจะต้องนำเอาวัตถุดิบมาจากแหล่งอื่น โดยสันนิษฐาน ว่าอาจจะมีการซื้อขายแลกเปลี่ยนกับชุมชนอื่นที่เป็นผู้ผลิตโลหะโดยเฉพาะ

ต่อมาในราวประมาณ 2,700-2,500 ปีมาแล้ว จึงเริ่มปรากฏมีการใช้เหล็กทำเครื่องมือเครื่องใช้และอาวุธ เช่น หัวขวาน ใบหอก มีด หัวลูกศร เป็นต้น ในช่วงนี้สำริดก็ยังคงเป็นที่นิยมใช้อยู่แต่เปลี่ยนนำมาทำเป็นเครื่องประดับกันเป็นส่วนใหญ่

ผลจากการวิเคราะห์เหล็กที่นำมาใช้กันในสมัยก่อนประวัติศาสตร์ที่บ้านเชียง พบว่าเป็นเหล็กที่ได้มาจาก การถลุงสินแร่เหล็ก (iron ores) ด้วยวิธีการถลุงเหล็ก แบบที่เรียกว่า กระบวนการถลุงโดยตรง (direct smelting process) วิธีการนี้ต่างจากการถลุงเหล็กสมัยโบราณในประเทศจีน ซึ่งนิยม การถลุงด้วยกระบวนการทางอ้อม (indirect smelting process)

ในการถลุงเหล็กตามกระบวนการถลุงโดยตรงนั้น จะต้องนำแร่เหล็กที่ขุดมาจากเหมืองและนำมาทำความสะอาดให้ดีแล้วนำมาผสมคลุกเคล้ากับกับถ่านในสัดส่วนที่ถูกต้องบรรจุลงในเตาถลุง จากนั้นจึงจุดไฟเติมถ่านเป็นระยะๆ และสูบลมเพื่อให้ไฟร้อนแรงอยู่ตลอดเวลาทำให้อุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้น และมีก๊าซคาร์บอนมอนน๊อกไซด์มากพอที่จะทำให้เกิดปฏิกริยาทางเคมีที่ทำให้แร่เหล็กที่อยู่ในสภาพของเหล็กออกไซด์ เป็นไปเป็นเหล็กบริสุทธิ์ (metallic iron) นอกจากนี้ในเตาถลุงยังต้องมีการเติมเชื้อถลุง (flux) ซึ่งในกรณีของการถลุงเหล็กนั้น ได้แก่ สารประเภทแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งสามารถได้มาจากปูนขาว กระดูกป่น หรือเปลือกหอยป่น เป็นต้น เชื้อถลุงจะเป็นตัวช่วยดึงเอาสิ่งหรือธาตุมลทินต่างๆที่ปนอยู่ในแร่รวมตัวกันเป็นขี้ตะกรัน (slag) (สุริยา โชคสวัสดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

วิธีการถลุงดังที่กล่าวมาจะไม่ทำให้เหล็กหลอมเหลว แต่จะเกิดการรวมตัวกันเป็นเป็นก้อนดลหะ ที่มีรูพรุนขนาดเล็กๆ มากมายในโครงสร้างที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่น้อยกว่า 0.5 % จัดเป็นเหล็กอ่อน (wrought iron) ซึ่งเกือบเป็นเหล็กบริสุทธิ์ สามารถนำไปตีขึ้นรูปเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ได้โดยง่าย

ภาพประกอบ 8 การให้ความร้อนโดยใช้เปลวไฟสัมผัสโดยตรงกับโลหะ โดยใช้สูบลมแบบโบราณ ในงานตีเหล็ก
(อาจารย์สุริยา โชคสวัสดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

วิธีการทำเครื่องมือจากโลหะกลุ่มเหล็กในสมัยโบราณประกอบด้วยการตีขึ้นรูปในขณะที่เหล็กยังร้อน (Hot working) กรรมวิธีการตีเหล็กทำได้โดย การนำเหล็กมาเผาในเตาให้ร้อนแดงก่อน แล้วจึงนำมาตีด้วยพะเนินบีบ และรีดด้วยเหล็กให้มีการเปลี่ยนรูปร่างลักษณะตามที่ต้องการ หากเหล็กเย็นตัวลงต้องนำกลับมาเผาให้ความร้อนแดงใหม่อีกครั้งก่อนนำมาตีซ้ำอีกทำสลับกันอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้จะได้รูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงนำมาทำกรรมวิธีในขั้นตอนสุดท้าย คือ “การชุบ” ขั้นตอนนี้โดยการนำเครื่องมือเหล็กมาเผาให้ร้อนแดงอีกครั้งก่อนนำไปจุ่มแช่ลงในน้ำเย็นทันที การทำเช่นนี้ทำให้โครงสร้างภายในเปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นหลักการทางโลหะวิทยาที่นำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลขอลเหล็กกล้าให้มีความแข็งเพิ่มสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์เครื่องมือเหล็กรุ่นแรกๆของบ้านเชียง แสดงให้เห็นว่าช่างเหล็กสมัยก่อนประวัติศาสตร์ในประเทศไทย มีความรู้ในด้านเทคนิคกรรมวิธีการตีเหล็ก และการชุบเหล็กตามวิธีการที่กล่าวมาข้างต้นเป็นอย่างดี

พัฒนาการด้านโลหะกรรมที่สำคัญอีกประการหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงสมัยก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายเมื่อราว 2,500-2,300 ปีมาแล้ว คือ การทำสำริดชนิดที่มีดีบุกผสมในปริมาณสูง (high tin bronze) หมายถึงสำริดที่มีดีบุกผสมอยู่มากถึง 20 % ปริมาณของธาตุดีบุกที่มีสูงมากๆมีผลทำให้ โลหะผสมมีความแข็งและเปราะมาก มีสีออกสีคล้ายทอง และสีเงิน โดยขึ้นกับปริมาณดีบุกที่ผสม คุณสมบัติด้านความแข็งแต่เปราะของโลหะผสมชนิดนี้เป็นข้อจำกัดที่ไม่สามารถผลิตชิ้นงานเครื่องมือเครื่องใช้ให้ได้คุณสมบัติตรงตามที่ต้องการใช้งานได้ยากโดยวิธีการหล่อแบบธรรมดา แต่จะต้องประยุกต์เอาวิธีการตีขึ้นรูปแบบเดียวที่ใช้กับเหล็กมาใช้ร่วมด้วย จึงจะได้งานที่คุณสมบัติตรงตามที่ต้องการใช้งาน คือ มีความแข็ง แต่ไม่เปราะ วิธีการดังกล่าวคือ การเผาให้ร้อนแดงและตีในขณะที่ร้อน ทำสลับกันระหว่างการเผาและการตีทำต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้รูปร่างตามที่ต้องการ และรอบสุดท้ายจึงนำไปชุบลงไปในน้ำเย็นทันที วิธีการทำด้วยเทคนิคนี้ ทำให้ช่างโลหะสามารถทำเครื่องประดับและภาชนะสำริดที่มีความแข็งมาก มีความทนทาน และมีสีสวยงามกว่าสำริดธรรมดา (สุริยา โชคสวัสดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

จากผลการศึกษาวิเคราะห์ของตัวอย่างที่ขุดพบที่บ้านเชียง บ่งชี้ให้เห็นถึงพัฒนาการทางด้านการโลหะกรรมของคนสมัยก่อนประวัติศาสตร์ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นอย่างดีดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

พัฒนาการของงานหล่อในประเทศไทย ปัจจุบันงานหล่อแบบโบราณ โดยวิธีขี้ผึ้งหายได้มีวิวัฒนาการมาตามลำดับเพื่อให้งานที่ผลิตออกมามีคุณภาพดี และตรงตามความต้องการของตลาดมากขึ้น งานที่พบเห็นเป็นจำนวนมากตั้งแต่อดีต จนถึงปัจจุบัน คือ งานหล่อพระพุทธรูป และเครื่องสังฆภัณฑ์ ต่างๆเช่น กระถางธูป เชิงเทียน แจกัน กระดิ่ง ระฆัง เป็นต้น โดย วิธีการทำด้วยแบบหล่อถาวร, แบบหล่อแบบปูนปาสเตอร์ หรือบางครั้งใช้แบบหล่อทรายชื้น มีการนำเอาเทคโนโลยีมาช่วยในการผลิตในแต่ละขั้นตอนของการผลิต การหล่อทองเหลือง และสำริด แบบโบราณโดยวิธีขี้ผึ้งหาย ที่ยังคงมีการทำสืบทอดกันตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน และมีแห่งเดียวในประเทศไทย โดย กลุ่มหัตถกรรมหล่อทองเหลืองบ้านปะอาว ตำบลปะอาว อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี งานหล่อที่ทำส่วนมากเป็นกระดิ่ง ที่มีขนาดตั้งแต่เล็กๆ ประมาณ 2 เซนติเมตร จนถึงขนาดโตที่มีน้ำหนัก หลายร้อยกิโลกรัม ที่น่าสนใจ คือ กรรมวิธีที่ทำ เป็นวิธีเดียวกับที่ทำอยู่ที่บ้านเชียง เมื่อ 4,000 ปีมาแล้ว ดังที่ได้กล่าวในเบื้องต้น

สำหรับงานหล่อแบบขี้ผึ้งหายในปัจจุบันมีการพัฒนากระบวนการผลิตให้ทันสมัยเพื่อให้ได้สามารถผลิตงานได้ทั้งปริมาณและคุณภาพตามที่ต้องการ สามารถหล่อได้ทั้งงานที่เป็นโลหะกลุ่มที่เป็นเหล็กและไม่ใช่เหล็ก ตัวอย่างเช่น หัวไม่ตีกอร์ฟ ชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ของเครื่องบิน และอากาศยานต่างๆ เครื่องมือ ทางการแพทย์ และอุตสาหกรรมการทำเครื่องประดับเป็นต้น

เตาหลอมที่ใช้ในการหลอมหล่อในปัจจุบัน มีการนำเอาเชื้อเพลิงชนิดต่างๆมาใช้ให้เหมาะสมกับ ชนิดของวัตถุดิบที่นำมาหลอมหล่อ (ขึ้นกันจุดหลอมเหลว) ซึ่งมีทั้ง ไฟฟ้า แก๊ส ถ่านโค้ก และถ่านไม่ เป็นต้น จึงทำให้ข้อจำกัดในการผลิตงานหล่อลดน้อยลง สามารถหลอมหล่องานได้หลากหลายมากขึ้น

เทคโนโลยีในงานหล่อ ได้มีการสร้างและพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อมาใช้กับกระบวนการทำงานหล่อมากขึ้น เช่น เทคโนโลยีการออกแบบงานหล่อ การออกแบบเตา เทคโนโลยีในขั้นตอนการทำแบบหล่อทราย การควบคุมคุณภาพของน้ำเหล็ก การตรวจสอบงานหล่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน ก่อนการนำส่งลูกค้า เป็นต้น ทำให้การทำงานหล่อมีความง่ายสะดวก สะอาด ได้งานที่มีความเที่ยงตรงสูง มีของเสียต่ำ การทำงานมีความปลอดภัยสูงรวมทั้งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่ำ

รูปที่ 9 ตัวอย่างงานหล่อที่ทำโดยวิธีขี้ผึ้งหายของบ้านปะอาว

การหล่อโดยกรรมวิธีแบบขี้ผึ้งหาย (Lost Wax Casting Processes) เริ่มต้นขึ้นเมื่อใด และ ณ แห่งใด ยังไม่มีหลักฐานบันทึกและแสดงไว้ชัดเจน สำหรับในประเทศไทยมีหลักฐานที่แสดงอย่างชัดเจนว่ามนุษย์

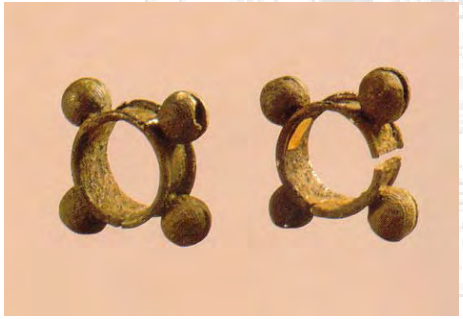
รู้จักการทำเครื่องประดับโดยกรรมวิธีนี้มาเป็นเวลายาวนานตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ ดังหลักฐานที่ปรากฏที่บ้านเชียง จังหวัดอุดรธานีซึ่งมีอายุประมาณ 4,500 ปีมาแล้ว โดยในยุคแรกๆมนุษย์รู้จักการนำเอาทองแดงผสมมาใช้ในงานหลอมหล่อ โดยใช้แบบพิมพ์หินทรายขุดเป็นโพรง 2 ซีกปะกบกันก่อนเทน้ำโลหะลงไปในแบบหล่อ เมื่อปล่อยให้โลหะแข็งตัวจึงแกะแบบพิมพ์แยกออกจากกันนำเอางานหล่อที่ได้มาใช้งาน ลักษณะงานหล่อโดยแบบหล่อชนิดนี้ส่วนมากจะเป็นการหล่อจำพวก อาวุธ หอก ขวาน เป็นต้น (ที่มา : จากการหล่อเครื่องประดับโดยวิธีขี้ผึ้งหายสุริยา โชคสวัสดิ์ ภาควิชาวิสวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

หลังจากนั้นมนุษย์ยุคนั้นได้พัฒนาวิธีการผลิตมาตามลำดับ จนรู้จักการนำขี้ผึ้งมาขึ้นรูปเป็นแบบหล่อหรือเรียกว่ากระสวนในปัจจุบัน โดย นำ ขี้ผึ้งมาหุ้มดิน ซึ่งเรียกว่าดินแกน ภาษาอีสานคำว่าแกนหมายถึงอยู่ในตำแหน่งภายในตรงกลาง ซึ่งในภาษาช่างหล่อในปัจจุบันเรียกว่าไส้แบบ และช่างหล่อในสมัยนั้นยังค้นพบต่อไปอีกว่า ต้องนำเอาดินมาห่อหุ้มเป็นเปลือกนอกอีกชั้นหนึ่ง เมื่อจะเทหล่อโลหะเข้าไปก็นำแบบไปเผาโดยคว่ำปากเทลงเพื่อให้ขี้ผึ้งละลายไหลออกมานออกเข้า ก่อนที่จะเทน้ำโลหะเข้าไปแทนที่ขี้ผึ้ง จึงเป็นที่มาของคำว่า ขี้ผึ้งหาย หรือแทนที่ขี้ผึ้ง

เครื่องประดับเป็นงานหล่อที่ช่างหล่อสมัยนั้นนิยมนำเอากรรมวิธีแบบขี้ผึ้งหายมาใช้ ตัวอย่างหลักฐานที่ค้นพบในประเทศไทยที่บ้านเชียง

(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

ภาพประกอบ 10 รูป (ก) (ค) กำไลสำริด,(ข) กำไลแขนและ (ง) ลูกกระพรวน หรือหมากหิ่งสำหรับสวมใส่ขาบริเวณข้อเท้า

ในปัจจุบันกรรมวิธีการหล่อแบบมีวิวัฒนาการมาก สามารถผลิตงานได้อย่างประณีตสวยงาม และผลิตได้ในปริมาณมากโดยใช้เวลาไม่มากนัก มีการนำเอาเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการผลิต ตั้งแต่เริ่มต้นงานออกแบบ จนจบกระบวนการผลิต รวมทั้งการตลาดและการขายได้นำเอาเทคโนโลยีสารสนเข้ามาช่วยในการบริหารจัดการ ทำให้ธุรกิจ สามารถพัฒนาได้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของตลาด อัญมณี และ

เครื่องประดับ (ที่มา : จากการหล่อเครื่องประดับโดยวิธีขี้ผึ้งหายสุริยา โชคสวัสดิ์ ภาควิชาวิสวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

1.2 คุณสมบัติต่างๆ

1.2.1 คุณสมบัติสำหรับการหล่อโลหะ

วิธีหล่อ (Castting) เป็นวิธีที่ใช้กันแพร่หลายอีกวิธีหนึ่ง โดยเฉพาะเครื่องประดับที่ต้องการผลงานเหมือนๆ กันหลายๆ ชิ้น และที่นิยมมาก คือการหล่อแหวน เหตุที่วิธีหล่อเป็นที่นิยม เนื่องจากสามารถเก็บรายละเอียดต่างๆ ของผลงานได้ทั้งหมด และยังได้ ผลงานเหมือน ๆ กันโดยไม่ต้องเสียเวลามาก การหล่อเครื่องประดับจะต้องมีการใช้แม่พิมพ์ มีการทำหุ่น ที่จะเป็นแม่พิมพ์ไว้ก่อน แม่พิมพ์ที่ใช้มีทั้งชนิดถาวรและชั่วคราว แม่พิมพ์ถาวรเป็นที่นิยมในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากการทำหุ่นสำหรับสร้างแม่พิมพ์ ทำได้จากวัสดุหลายอย่าง เช่น การทำแม่พิมพ์จากหิน การทำแม่พิมพ์จากกระดูก การทำแม่พิมพ์จากปูนพลาสเตอร์ การทำแม่พิมพ์ จากถ่านชาร์โคล

1.2.2 คุณสมบัติทั่วไปสำหรับการหล่อด้วยวิธีต่างๆ

- สามารถผลิตได้ทั้งประเภทรูปร่างธรรมดาและรูปร่างซับซ้อน
- การผลิตงานด้วยวิธีการต่างๆ สามารถใช้วิธีหล่อเข้ามาแทนได้
- สามารถหล่องานออกมาได้ตามขนาด
- สามารถเลือกโลหะผสมชนิดต่างๆ ได้
- สามารถลดเศษเสียจากการตัดแต่งด้วยเครื่องจักรได้มาก

1.2.3 การออกแบบควรคำนึงถึงหัวข้อต่อไปนี้

- รูปร่างของงานควรให้เหมาะสมกับการผลิตโดยวิธีหล่อ
- พิจารณาเลือกกรรมวิธีในการหล่อให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน

1.2.4 การเลือกวิธีหล่อเพื่อให้เหมาะสมกับงาน

- รูปร่างสลับซับซ้อนเพียงใด
- ปริมาณของงานที่ทำการผลิต
- ความประณีตของผิวงาน ความแข็งแรงทนทานของงาน

1.3 อุปกรณ์ และเครื่องจักรที่ใช้ในการหล่อ

1.3.1 อุปกรณ์ประกอบการทำเครื่องประดับ

เครื่องประดับส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์มาประกอบ จึงจะทำให้ผลงานมีความสวยงาม และสมบูรณ์ด้านประโยชน์ใช้สอย เช่น ต่างหู ต้องมีแป้นต่างหูมาติด หลังจากที่ทำต่างหูเสร็จแล้ว สร้อยคอต้องมีห่วง ตะขอ หรือเข็มกลัดติดเสื้อต้องมีเข็มกลัดด้านหลัง จึงจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นต้น (ที่มา: จากหนังสือ "ศิลปะเครื่องประดับ" โดย วรรณรัตน์ อินทร์อ่ำ)

1.3.2 เครื่องจักรที่ใช้ในการหล่อมี 2 แบบ คือ

1) เครื่องหล่อแบบเหวี่ยง

เบ้าจะถูกเคลื่อนย้ายจากเตาเผาและถูกวางในแนวนอนภายในตัวเครื่อง ตัวเบ้าหลอมจะถูกวางในแนวเดียวกันกับเบ้า ช่างหล่อจะหลอมโลหะที่อยู่ในเบ้าหลอม และเฝ้าดูจนกว่าโลหะจะหลอมจนได้สภาพที่เหมาะสม จากนั้น ช่างหล่อก็จะเริ่มเดินเครื่องโดยปล่อยให้เบ้าเริ่มเคลื่อนไหวไปตามแรงเหวี่ยงของเครื่อง แรงขับดันที่เกิดขึ้นจากแรงเหวี่ยงจะเป็นตัวที่ดันให้โลหะไหลเข้าสู่โพรงที่ตัวแม่พิมพ์

ภาพประกอบ 11 เครื่องหล่อแบบเหวี่ยง

2) เครื่องหล่อแบบสุญญากาศ

สำหรับวิธีการทำงานของเครื่องหล่อสุญญากาศ เบ้าจะถูกเคลื่อนย้ายจากเตาเผาและนำมาวางไว้ในตัวแม่พิมพ์ที่มีช่องเปิดด้านบนโลหะจะถูกทำให้ละลายในเบ้าหลอมแล้วจึงไหลลงสู่แม่พิมพ์ที่เปิดไว้ ในขณะเดียวกัน ระบบสุญญากาศก็เริ่มทำงาน ซึ่งจะทำการสูบอากาศออกจากแม่พิมพ์และดูดโลหะที่หลอมเหลวแล้วกลับเข้าไปในโพรงที่ตัวแม่พิมพ์

ภาพประกอบ 12 เครื่องหล่อแบบสุญญากาศ

1.4 กรรมวิธีการหล่อเครื่องประดับ

การทำงานหล่อมีขั้นตอนการทำที่แตกต่างกันไปตามชนิดของแบบหล่อ ในเบื้องต้นถ้าเป็นการทำโดยใช้แหล่อทรายชื้นซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในประเทศ เริ่มต้นจาก การออกแบบงานหล่อ และ การสร้างกระสวน ให้ได้รูปร่างตามที่ได้ออกแบบไว้ (ในขั้นตอนนี้งานหล่อทุกชนิดจะต้องมีกระสวน) ก่อนนำมาใช้ในการขึ้นรูปเป็นแบบทรายหล่อ เพื่อให้ได้แบบหล่อที่พร้อมที่จะเทหล่อ หากลักษณะงานที่ต้องการให้มีโพรงจะต้องมีขั้นตอนการทำไส้แบบเพิ่มมาอีก และก่อนเทจะต้องประกอบไส้แบบเข้ากับแบบทรายหล่อให้เรียบร้อย ในขั้นตอนการเตรียมน้ำโลหะ จะต้องมีการควบคุมคุณภาพของน้ำโลหะให้ได้ส่วนผสมตามที่กำหนดเสียก่อน จึงนำไปเทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ เมื่อเทหล่อแล้ว ปล่อยให้งานหล่อแข็งตัวสมบูรณ์และเย็นตัวลงดีเสียก่อนจึงทำการลื้อแบบหล่อในขั้นตอนต่อไป งานหล่อที่ได้จะต้องผ่านการตรวจสอบ

เบื้องต้นด้วยตา และนำมาทำความสะอาด ตัดรูล้น หัวป้อน และหากต้องการตัดแต่งด้วยเครื่องมือกล จะต้องทำให้เสร็จเรียบร้อยเสียก่อน ที่จะจัดส่งให้กับลูกค้าต่อไป

การหล่อโลหะ คือ การทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว แล้วเทลงในแม่พิมพ์ ปล่อยให้โลหะเย็นตัว และคืนสภาพเป็นของแข็ง

1.4.1 ในกรรมวิธีการหล่อเครื่องประดับแบ่งออกได้เป็น 2 กรรมวิธีดังนี้

1) การหล่อเครื่องประดับโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

2) การหล่อเครื่องประดับโดยใช้สุญญากาศ

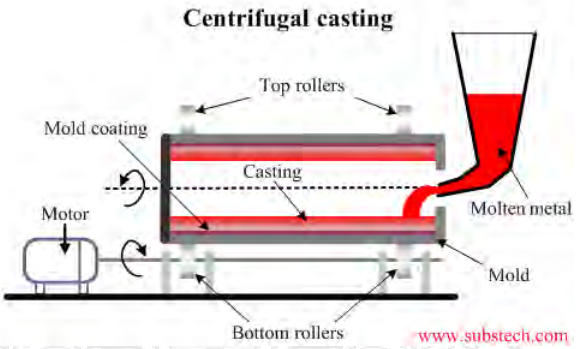
1) การหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Casting Process)

แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force)

● เครื่องหล่อจะทำเป็นคานตรง มีจุดหมุนที่กึ่งกลาง ปลายคานด้านหนึ่งจะติดแม่พิมพ์ที่มีโพรงแบบภายใน ถัดมาเป็นเบ้า (Crucible) ใส่น้ำโลหะปลายอีกด้านหนึ่งมีน้ำหนักสำหรับถ่วงคานให้สมดุล

● ทำการหล่อโดยหมุนคานนี้โดยแรง แรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นจะทำให้น้ำโลหะที่เป็นของเหลวพุ่งเข้าไปในโพรงแบบ ซึ่งทิศทางที่น้ำโลหะพุ่งเข้าไปในโพรงแบบ คือทิศทางที่หนีออกจากศูนย์กลาง

ส่วนต่างๆ ของเครื่องหล่อโลหะโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Casting Process)



ภาพประกอบ 13 ส่วนต่างๆ ของเครื่องหล่อโลหะโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

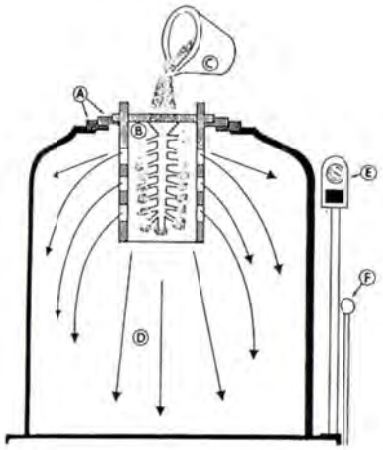
2) การหล่อเครื่องประดับโดยใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum Casting Process)

การหล่อโลหะแบบใช้ระบบสุญญากาศเข้ามาช่วยให้การหล่อมีประสิทธิภาพมากขึ้น

● การหล่อจะอาศัยแรงดึงดูดของโลกดึงให้น้ำโลหะไหลลงไปในโพรงแบบจะเหมาะกับชิ้นงานขนาดใหญ่ที่ไม่มีลวดลายซับซ้อนและขนาดเล็กและมีลวดลายละเอียดซับซ้อน

● มีการประยุกต์นำระบบสุญญากาศมาช่วย โดยดูดอากาศที่มีอยู่ภายในโพรงแบบออกให้มีสภาพเกือบเป็นสุญญากาศ หรือแรงดันภายในโพรงแบบเกือบเป็นศูนย์ ขณะที่บรรยากาศภายนอกมีแรงดันปกติ คือ 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งเมื่อเทน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบ น้ำโลหะจะไหลไปตามรายละเอียดเล็กๆ ได้ดี เพราะไม่มีแรงดันอากาศต้านจากภายในโพรงแบบและไม่มีแรงดันอากาศต้านการไหลของน้ำโลหะทำให้น้ำโลหะไหลลงไปในโพรงแบบด้วยแรงดึงดูดของโลกและแรงดันจากบรรยากาศภายนอก ที่มีมากกว่าในโพรงแบบการหล่อแบบนี้จึงเหมาะกับชิ้นงานเครื่องประดับที่มีขนาดเล็กและมีลวดลายละเอียดซับซ้อน

ส่วนต่างๆ ของเครื่องหล่อโลหะโดยใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum Casting Machines)



ภาพประกอบ 14 ส่วนต่างๆ ของเครื่องหล่อโลหะโดยใช้ระบบสุญญากาศ

A: บ่าของเครื่องต้องแนบสนิทกับปีกของกระบอกหล่อ

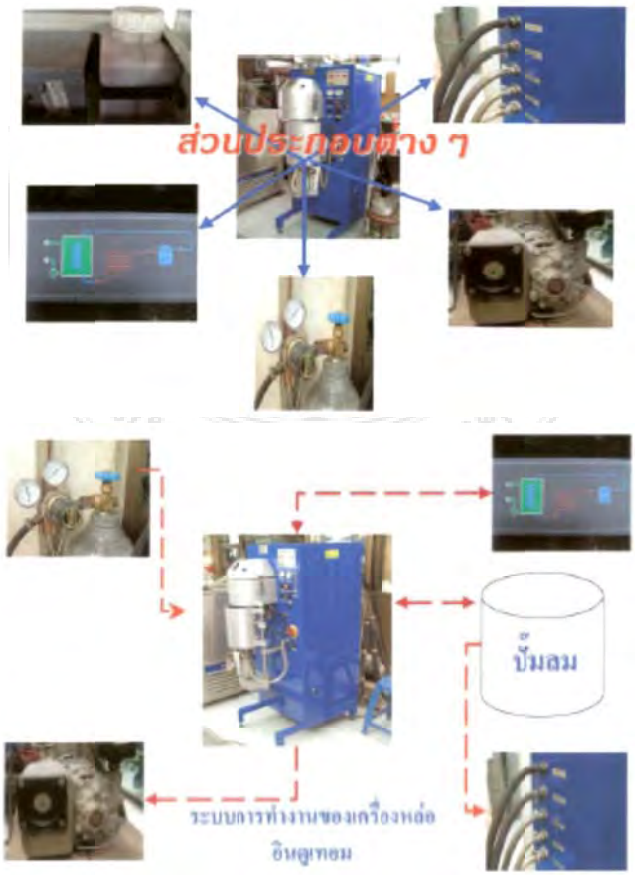
B: แม่พิมพ์ปูนหล่อ

C: เบ้าหลอมโลหะและโลหะหลอมที่จะเทลงในแม่พิมพ์

D,E : ห้องสุญญากาศ และหน้าปัดแสดงความดันอากาศภายใน

F: คานสำหรับเปิด-ปิด

ส่วนประกอบของเครื่องหล่อโลหะโดยใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum Casting Machines)



ภาพประกอบ 15 ส่วนประกอบของเครื่องหล่อโลหะโดยใช้ระบบสุญญากาศ

1.4.2 ทฤษฎีขั้นตอนการหล่อเครื่องประดับ

1.4.2.1 กระบวนการข้นรูปด้วย Rapid Prototype Machine

Rapid Prototyping (RP) คือความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว จากแบบสามมิติ (3 Dimensional CAD Model) โดยตรง วิธีการหนึ่งที่นำมาใช้คือ กระบวนการขึ้นรูปวัตถุอย่างอิสระ Solid Freeform Fabrication (SFF) Process ซึ่งในปัจจุบันนี้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีการผลิตแบบเลเยอร์ด้วยวิธีการนี้แบบสามมิติของชิ้นงานจะถูกจัดเรียงใหม่ในรูปแบบของเลเยอร์ตัดขวาง (Cross sectional layer) แล้วใช้กระบวนการขึ้นรูปโดยค่อยๆ เติมเนื้อวัสดุให้ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่ต้องการทีละเลเยอร์ วิธีการนี้สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็น กระบวนการเสริมวัสดุ (Material Additive Process)

Rapid Prototype (RP) เป็นระบบที่ช่วยให้เราสร้างชิ้นงานต้นแบบในเวลาอันรวดเร็ว โดยมีหลักการพื้นสามขั้นตอนดังนี้ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่อง RP จะรับไฟล์ข้อมูลชิ้นงานประเภท STL ที่ได้จากการแปลโดยโปรแกรมออกแบบแบบสามิติ (3D CAD Model) แล้วจะทำการประมวลผลและแบ่งซอยข้อมูลของชิ้นงานเป็นชั้นๆ ตามค่าความหนาที่กำหนด เพื่อคำนวณหาข้อมูลพื้นที่ภาคตัดขวางในแต่ละชั้นของชิ้นงาน แล้วจึงส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังเครื่อง RP เครื่อง RP จะทำการสร้างชิ้นงานจากข้อมูลที่ได้รับ โดยจะทำการสร้างเนื้อวัสดุให้เต็มพื้นที่ภาคตัดขวางขึ้นมาทีละชั้น เริ่มสร้างจากชั้นล่างสุดก่อน เสร็จจากชั้นล่างแล้วจึงจะสร้างชั้นบนถัดไปจนกระทั่งได้ชิ้นงานต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์

1.4.2.2 การติดต้นเทียน

การนำตัวแบบเทียน มารวมกันให้เป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบโดยนำไปติดกับที่ต้นเทียน เพื่อสามารถหล่อชิ้นงานได้ครั้งละจำนวนมาก เป็นการหล่อระบบอุตสาหกรรมลักษณะการติดต้นเทียนแบ่งออกเป็นหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของงานที่จะนำมาติด ถ้างานมีชิ้นใหญ่ก็จะติดแบบสลับฟันปลาหรือเรียงกันเป็นแถวในแนวตั้ง ถ้างานชิ้นเล็กก็จะติดเป็นเกรียว หรือเป็นชั้น ๆ ในแนวนอน ทั้งนี้การติดต้นเทียนไม่ว่าจะเป็นแบบไหนทางเดินน้ำโลหะจะต้องทำมุม 30-60 องศา กับต้นเทียน เพื่อให้น้ำโลหะจากการหล่อสามารถเข้าไปในส่วนที่อยู่ลึกที่สุดของต้นเทียนได้สะดวกเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต้นเทียนประกอบด้วย ฐานยางติดต้นเทียน ที่จับฐานยางติดต้นเทียนที่สามารถเอียงและหมุนไปเป็นมุมต่าง ๆ ได้เพื่อความสะดวกสบายในการติดต้นเทียน

1) ฐานยาง เป็นฐานสำหรับใช้ติดหรือประกอบด้วยตัวแบบเทียน การเลือกใช้ฐานยางควรเลือกให้ฐานยางที่มีขนาดสวมเข้ากับกระบอกหล่อได้อย่างพอดี

2) กระบอกหล่อ จะเป็นกรอบในการกำหนดความกว้างและความสูงของกลุ่มเทียน โดยให้ส่วนสูงที่สุดของกลุ่มเทียนจะต้องมีระยะห่างจากขอบด้านบนของกระบอกหล่อไม่น้อยกว่า ½ นิ้ว และตัวแบบเทียนต้องห่างจากผนังกระบอกไม่น้อยกว่า ¼ นิ้ว เพื่อป้องกันไม่ให้ผนังของแม่พิมพ์ปูนหล่อบางเกินไป

3) หัวแร้งไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับละลายเทียนให้ร้อนและติดตัวแบบเทียน

1.4.2.3 การคำนวณหาน้ำหนักของโลหะ

1) ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุต่อน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน ความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วย แต่เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักจากกฎของอาร์คิ-

มีดีส์ที่ว่า “วัตถุใด ๆ เมื่ออยู่ในน้ำ วัตถุนั้นจะสูญเสียน้ำหนักไปเท่ากับน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่วัตถุนั้นเข้าไปแทนที่”

การหาน้ำหนักโลหะ = (น้ำหนักต้นเทียน x ถ.พ.) + (น้ำหนักของเทียน x ถ.พ.) x $\frac{20}{100}$

2) การคำนวณหาปริมาณน้ำโลหะ ในทางปฏิบัติสามารถคำนวณน้ำหนักโลหะที่ต้องการใช้โดยไม่ยุ่งยากมากนัก เนื่องจากได้มีการคำนวณ ค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะชนิดต่าง ๆ ไว้แล้วจึงเพียงแต่นำน้ำหนักของต้นเทียน มาคูณและบวกด้วยส่วนเพิ่มเติมปัจจัยอื่นนี้ จะต้องบวกเพิ่มเข้าไปในน้ำหนักของโลหะที่คำนวณได้ ส่วนเพิ่มเหล่านี้ คือ ส่วนเพิ่มบริเวณปากทางเข้าของโลหะ ในการหล่อปูนทำแม่พิมพ์ปูนหล่อเมื่อปูนเริ่มจับตัวแข็งดีแล้ว จะนำเอาฐานยาก ออกจากแม่พิมพ์ปูน ซึ่งจะเห็นปากทางเข้าของน้ำโลหะ ที่มีลักษณะเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ มีรูปร่างตามแบบฐานยางที่นำออกไป ส่วนของกลุ่มนี้จะไม่มีสัดส่วนในการคำนวณข้างต้น สำหรับการเพิ่มน้ำหนักโลหะส่วนนี้จะบวกเพิ่มจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่คำนวณได้

- ขั้นตอนการปฏิบัติ

* ก่อนทำการติดต้นเทียนให้ชั่งน้ำหนักของฐานยาง และเขียนน้ำหนักของฐานยางไว้ให้ชัดเจน
* ติดต้นเทียนตามหลักการ
* ชั่งน้ำหนักต้นเทียนที่ติดตั้งบนฐานยาง นำน้ำหนักของฐานยางที่บันทึกไว้มาหักลบออก บันทึกไว้
* คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะที่จะใช้หรือเปิดหาจากตารางสำเร็จ
* คำนวณโลหะที่ต้องการใช้ = ถ.พ. ของโลหะ x น้ำหนักของต้นเทียน
* เผื่อน้ำหนักโลหะ 20% = (ถ.พ. ของโลหะ x น้ำหนักของต้นเทียน) x 20/100
* น้ำหนักโลหะทั้งสิ้น = (ถ.พ. ของโลหะ x น้ำหนักของต้นเทียน) + (ถ.พ. ของโลหะ x น้ำหนักของต้นเทียน) x 20/100

- ข้อแนะนำในการติดต้นเทียน

* ตัวแบบเทียนจะต้องติดแน่นไม่หลุดง่าย ทั้งการติดต้นเทียนแบบแนวเดียวกัน และการติดต้นเทียนแบบสลับกัน หากติดตัวแบบไม่แน่นเมื่อนำไปเทปูนหล่อแบบและดูดฟองอากาศออกจากเนื้อปูนตัวแบบเทียนอาจหลุดออกจากฐานที่ติดได้
* การติดต้นเทียนที่ถี่เกินไปอาจทำให้ผนังปูนแตกร้าวถ้าผนังบางเกินไป โดยเฉพาะความหนาของปูนที่ยอดต้นเทียนควรให้หนามากกว่า ½ นิ้ว เพราะแรงดันของน้ำโลหะที่วิ่งไปตามลำต้นเทียนจะชนผนังส่วนนี้ให้แตกร้าวได้
* ก่อนทำการติดต้นเทียน ให้ตกแต่งตัวแบบเทียนให้เรียบร้อยก่อนโดยยึดหลักว่าการตกแต่งเทียนกระทำได้ง่ายกว่าการตกแต่งชิ้นงานโลหะ
* ตัวแบบเทียนทุกตัวที่ติดต้นเทียนจะต้องไม่สัมผัสกัน แต่ต้องอยู่ใกล้เคียงกันที่สุดเพื่อให้มีจำนวนการติดตัวแบบเทียนได้มากที่สุด

1.4.2.4 การทำพิมพ์ปูนหล่อ

หลังจากการเตรียมต้นเทียนเสร็จเรียบร้อย ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำแม่พิมพ์ปูนหล่อ ซึ่งเป็นแม่พิมพ์สุดท้ายที่จะนำไปหล่อโลหะ และเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ หากเกิดเหตุผิดพลาดขึ้นจะไม่สามารถแก้ไขได้ และที่สำคัญผู้ปฏิบัติอาจไม่ทราบว่าอาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งเป็นการสูญเสียแรงงาน ค่าใช้จ่ายและเวลาในการผลิต ทั้งนี้เนื่องจากเทปูนหล่อแบบหุ้มต้นเทียนแล้ว ผู้ปฏิบัติไม่อาจทราบว่าแม่พิมพ์นั้นมีสภาพเป็นอย่างไร เช่น ตัวแบบเทียนอาจหลุดออกจากต้นเทียน หรือตัวแบบ

เทียนอาจถูกปูนหล่อซึ่งมีน้ำหนักมากบีบให้เสียรูปทรง ดังนั้นการหล่อเครื่องประดับจึงต้องการความประณีต ความสวยงาม และลวดลายละเอียดของพื้นผิว แม่พิมพ์ปูนหล่อจะต้องถ่ายทอดลักษณะพิเศษดังกล่าวจากต้นแบบ ไปสู่ชิ้นงานหล่อ ด้วยเหตุนี้การหล่อเครื่องประดับจึงมีผู้ผลิตวัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ปูนขึ้นมาใช้เฉพาะสำหรับการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ

ปูนหล่อ เป็นปูนชนิดที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในการทำแม่พิมพ์โดยเฉพาะ มีลักษณะพิเศษ คือ ทนความร้อนสูง ผิวละเอียด มีความแข็งแรงมาก แต่สามารถทุบทำลายได้ง่าย ซึ่งเป็นลักษณะของแม่พิมพ์ที่ดี ในปัจจุบันมีผู้ผลิตจำนวนมากได้ผลิตปูนหล่อแบบออกจำหน่าย มีข้อดีข้อเสียในการใช้งานแตกต่างกันไป

- สูตรการหาอัตราส่วนของปูนหล่อ

ปริมาตรของกระบอกหล่อ =(V) x 1.2 + (20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปูนหล่อทั้งหมด)

ปริมาตร (CC) = 1.2 CC/ กรัม

20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปูนหล่อทั้งหมด = การเผื่อสำหรับความสูญเสียของส่วนผสมที่เกิดจากการดูดอากาศออกจากเนื้อปูนและส่วนที่ติดกับภาชนะ

- สูตรการหาอัตราส่วนผสมของน้ำ

ปริมาณน้ำ = 37-40 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปูนหล่อ

หมายเหตุ ปริมาณน้ำขึ้นอยู่กับประเภทของปูนหล่อ

- ขั้นตอนการผสมปูนหล่อแบบ

* คำนวณน้ำหนักของปูนหล่อแบบตามสูตรที่ 2.2 และหาอัตราส่วนน้ำตามสูตรที่ 2.3

* เทน้ำสะอาดลงในชามอ่างยางสำหรับผสมค่อย ๆ เทปูนลงในน้ำสะอาด และใช้พายพลาสติกคนผสมให้ทั่วกัน ข้อควรระวังคือ ห้ามเทน้ำลงในปูนขณะผสม เนื่องจากปูนหล่อมีลักษณะเป็นผงละเอียดแห้งสนิท เมื่อเทน้ำลงไปบริเวณหนึ่งของปูนหล่อแบบ ปูนจะซึมซับน้ำไว้อย่างรวดเร็วทำให้ส่วนอื่น ๆ ของปูนที่ไม่ได้รับน้ำจะทำการผสมได้ยาก และส่วนผสมมักจะเสียหาย เนื่องจากน้ำไม่สามารถกระจายไปผสมกับปูนทั้งหมด

* นำส่วนผสมเข้ากวนในเครื่องผสมปูนหล่อใช้เวลา 1-1.30 นาที

* นำส่วนผสมเข้าเครื่องดูดอากาศออกจากภายในเนื้อปูนหล่อ พร้อมทั้งมีการสั่นใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที

* นำส่วนผสมเทลงในกระบอกที่มีต้นเทียนติดตั้งอยู่ภายใน และประกอบกับฐานยางเรียบร้อยแล้ว เทส่วนผสมของปูนลงในกระบอกโดยเทลงทางด้านข้างของกระบอก หากเทลงตรงกลางบนต้นเทียนโดยตรง ปูนหล่ออาจทำให้ต้นเทียนเสียหายได้

* กระบอกที่เทปูนหล่อแล้วเข้าเครื่องดูดอากาศใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที

* เติมส่วนผสมของปูนหล่อให้เต็ม เนื่องจากดูดอากาศออกจากเนื้อปูนทำให้ส่วนผสมของปูนหล่อบางส่วนกระเด็นออกจากกระบอกหล่อ จึงต้องเติมให้เต็ม

* เมื่อมีการเทปูนหล่อแบบลงในกระบอกเรียบร้อยแล้ว ให้นำกระบอกหล่อไปตั้งผึ่งไว้ในที่ร่มเมื่อปูนหล่อเริ่มแห้งให้ตกแต่งปูนหล่อแบบให้เรียบร้อยเสมอขอบกระบอกหล่อ ในการผสมปูนหล่อแบบตามขั้นตอนดังกล่าวมีความสำคัญมากต้องรีบดำเนินการให้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลาประมาณ 10-20 นาที เพราะปูนหล่อแบบจะแห้งและแข็งตัวเร็ว การดูดอากาศออกจากเนื้อปูนหล่อจะกระทำได้ยาก

- ข้อควรระวังในการผสมปูนหล่อ

* อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมปูนหล่อ ควรเลือกอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุที่มีมีเศษหรือเสี้ยนที่จะหลุดเข้าไปผสมกับส่วนผสมของปูน

* การลัดหรือการข้ามขั้นตอน อาจทำให้เกิดความเสียหากต่องานหล่อได้ เช่น การดูดฟองอากาศน้อยเกินไป เป็นต้น

* ในขณะดูดอากาศออกจะต้องมีการสั่นสะเทือนตลอดเวลา เพื่อให้อากาศที่แทรกตัวอยู่ลึก ๆ ถูกกระตุ้นให้ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของส่วนผสมและถูกดูดออกไป

1.4.2.5 การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

เป็นขั้นตอนที่อาจเรียกว่าเป็นการเตรียมแม่พิมพ์สำหรับการหล่อโลหะเพื่อปรับอุณหภูมิของเนื้อปูนหล่อให้เหมาะสมกับน้ำโลหะ

ในการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้มีความเหมาะสมเพื่อรองรับการฉีดน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบ ความผิดพลาดในการควบคุมอุณหภูมิจะก่อให้เกิดรูพรุนขึ้นบนชิ้นงานได้ง่าย หรือเกิดผลอื่น ๆ ทำให้การหล่อไม่สำเร็จ เช่น ถ้าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำเกินไป น้ำโลหะที่ฉีดเข้าสู่โพรงแบบจะแข็งตัวก่อนที่จะแทรกไปตามรายละเอียดของแบบทำให้การหล่อไม่สมบูรณ์ หรือที่เรียกว่าหล่อไม่เต็ม ขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้น้ำโลหะที่ฉีดเข้าไปอยู่ในสภาพของเหลวนานกว่าปกติ จะส่งผลให้เกิดรูพรุนขึ้นบนผิวชิ้นงานได้

- จุดประสงค์ในการอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ

* เพื่อกำจัดตัวแบบเทียน และส่วนของเทียนทั้งหมดออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อทำให้แม่พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงแบบขึ้นภายใน พร้อมมีทางเดินน้ำโลหะ

* เพื่อเตรียมอุณหภูมิของกระบอกหล่อให้เหมาะสมกับอุณหภูมิในการหล่อโลหะ การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อเพื่อขจัดเทียนมักจะใช้ระบบไอน้ำในการละลายเทียนซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซนเซียส เทียบประมาณ 90% ในกระบอกหล่อจะหลอมละลายเทียนและไหลออกมาทางปากแม่พิมพ์ปูนหล่อซึ่งเกิดจากส่วนโค้งนูนของฐานยาง เมื่อกำจัดเทียนจำนวนมากออกแล้วจึงนำแม่พิมพ์เข้าอบในเตาอบต่อไป

- ความร้อนในการอบ

* เพื่อกำจัดตัวแบบเทียน และส่วนของเทียน ทั้งหมดออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อทำให้แม่พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงแบบขึ้นภายใน พร้อมทางเดินน้ำโลหะ

* เพื่อเตรียมอุณหภูมิของกระบอกหล่อให้เหมะสมกับอุณหภูมิในการหล่อโลหะทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในขณะทำการหล่อโลหะ การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ เพื่อขจัดกำจัดเทียน นี้มักจะใช้ระบบไอน้ำในการละลายเทียน ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซนเซียส เทียบประมาณ 90% ในกระบอกหล่อจะหลอมละลายและไหลออกทางปากแม่พิมพ์ปูนหล่อ ซึ่งเกิดจากส่วนโค้งนูนของฐานยาง เมื่อกำจัดเทียนจำนวนมากออกแล้วจึงนำแม่พิมพ์เข้าอบในเตาอบต่อไป

- แหล่งกำเนิดความร้อน

ความร้อนที่ใช้ในการอบมาจากขดลวดไฟฟ้าภายในเครื่องความร้อนนี้นำมาใช้ในการอบสูงสุดถึงประมาณ 1200 องศาเซนเซียส

- ความสมดุลของอุณหภูมิ

* ชิ้นงานบาง เป็นชิ้นงานที่มีโพรงแคบและเล็ก ช่องทางน้ำโลหะจะแทรกเข้าไปได้เต็มโพรงแบบดังนั้นน้ำโลหะจะต้องมีลักษณะหลอมเหลว และต้องเย็นตัวช้าเพื่อให้มีเวลาเพียงพอที่น้ำโลหะแทรกตัวเข้าไปในที่แคบ ๆ ได้ทั่วถึง น้ำดลหะจึงต้องมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นแม่พิมพ์จึงต้องมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย

* ชิ้นงานหนา เป็นชิ้นงานที่มีโพรงแบบดตกว่า น้ำโลหะจะแทรกตัวเข้าไปได้เร็ว อุณหภูมิของน้ำโลหะจึงมีอุณหภูมิต่ำได้ การเตรียมแม่พิมพ์จึงสามารถใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าชินงานที่มีขนาดเล็กและบางกว่า

* อุณหภูมิหล่อของโลหะแต่ละชนิดข้างต้น เป็นอุณหภูมิโดยประมาณเนื่องจากโลหะผสมแต่ละชนิด จะมีสัดส่วนการผสมที่แตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต

* ในการอบเผาแม่พิมพ์ ควรคงที่อุณหภูมิหล่อไว้อย่างน้อย ½ ชั่วโมง ก่อนทำการหล่อเพื่อให้สัดส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์มีความร้อยใกล้เคียงกันมากที่สุด

* อุณหภูมิของแม่พิมพ์ จะขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์และรายละเอียดของแบบว่ามีขนาดและรายละเอียดซับซ้อนเพียงใด โดยชิ้นงานจะต้องการอุณหภูมิสูงกว่าชิ้นงานใหญ่

* ในการหล่อโลหะ ถ้าพบว่าน้ำดลหะเข้าสู่โพรงแบบไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะในส่วนที่มีความละเอียดมาก ๆ ให้เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อน การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำโลหะต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง

* ในการอบเผาแม่พิมพ์ ไม่มีเครื่องมืออุปกรณ์ควบคุมที่ดีพอ ให้สังเกตที่บริเวณปากทางเข้าออกของน้ำโลหะแม่พิมพ์ ถ้าบริเวณนั้นมีจุดสีน้ำตาลเข้มและมีเปลวไฟพุ่งออกมาจากภายในโพรงแบบ แสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้ไม่หมด แต่ถ้าบริเวณปากทางเข้าและออกของน้ำโลหะของแม่พิมพ์มีสีขาวนวล แสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์

* แก๊สหรือควันที่ระเหยออกมา ในขณะอบเผาแม่พิมพ์เป็นแก๊สพิษ ควรหาทางป้องกันและหลีกเลี่ยงการสูดดม

- การใช้เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

* การเปิด-ปิดเครื่อง เตาอบเผาแม่พิมพ์มี 2 ชนิด คือ เตาไฟฟ้าและเตาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง ส่วนประกอบที่สำคัญ คือห้องอบเผาซึ่งมีหลายขนาดตามความต้องการของผู้ใช้ ภายในห้องเผานี้จะมีปล่องสำหรับระบายควันออกจากห้อง ซึ่งมีการต่อปล่องนี้ออกจากห้องปฏิบัติงาน เพราะควันที่ออกจากเตาอบเผาจะเป็นควันพิษ นอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมอุณหภูมิของเตา ซึ่งมีทั้งชนิดที่ควบคุมด้วยมือ และชนิดควบคุมอัตโนมัติ เตาอบเผาแม่พิมพ์นี้จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1200 องศาเซนเซียส ในการใช้งานจะต้องคำนึงถึงส่วนของอุณหภูมิและเวลาในการอบ การควบคุมอุณหภูมิและเวลาจะต้องกระทำไปพร้อมกัน

* การตั้งอุณหภูมิในการอบ อุณหภูมิหล่อโลหะจะต้องมีความสมดุลกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ปูนหล่อ เนื่องจากในการหล่อโลหะแม่พิมพ์ซึ่งจะทำหน้าที่รองรับน้ำโลหะควรมีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากนัก มิฉะนั้นแม่พิมพ์จะแตกเสียหายได้ อนึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิหลอมละลายแตกต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิหล่อหรืออุณหภูมิของแม่พิมพ์ จึงต้องมีความแตกต่างกันตามชนิดของโลหะด้วย อาจสรุปได้ดังนี้คือ SILVER มีอุณหภูมิหล่อประมาณ 426-454 องศาเซนเซียส

* การตั้งเวลาในการอบ ในการอบเผาแม่พิมพ์ มีสูตรการอบเผาหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคผู้ปฏิบัติสรุปหลักการอบเผาอย่างกว้าง ๆ ได้ดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าง ๆ

- ในบางอุณหภูมิที่สำคัญ ๆ หรือในกรณีที่มีกรอบเผาไม่เหมือนกันให้คงอุณหภูมินั้นไว้ เพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึง

- ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์ ปริมาณแม่พิมพ์และประสิทธิภาพของเตาอบเผาแม่พิมพ์

การอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ ในการกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาแต่ละช่วงนั้น ต้องตระหนักถึงอุณหภูมิหล่อและปฏิกิริยาต่าง ๆ สรุปได้ดังนี้

- ทฤษฎีการอบเผาแม่พิมพ์ ในการอบเผาแม่พิมพ์ จะมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

* ในการอบเอาแม่พิมพ์ ควรเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้า ๆ ในระยะแรกจนถึงประมาณ 200 องศาเซนเซียส เนื่องจากในแม่พิมพ์มีน้ำประกอบ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซนเซียส น้ำจะกลายสภาพเป็นไอน้ำ และแทรกตัวออกตามช่องว่างของเนื้อปูนหล่อ หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไอน้ำจะขยายตัว โดยมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่าปูนหล่อ การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้เอง ทำให้เกิดแรงดันภายในปูนหล่อ ลวดลายต่าง ๆ ของแม่พิมพ์จะเกิดความเสียหาย และร้ายแรงที่สุดถึงขั้นทำให้แม่พิมพ์แตกร้าวได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำในแม่พิมพ์ส่วนผสมของสารเคมีจากปูนหล่อ มิใช่อยู่ในรูปของน้ำบริสุทธิ์ ดังนั้นจุดที่น้ำจะกลายเป็นไอ อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซนเซียส ทีเดียว

* ในกรณีที่ไม่มีการนึ่งเทียน ก่อนแต่นำแม่พิมพ์เข้าอบเผาในเตาอบโดยตรงนั้น ไม่ควรนำแม่พิมพ์เข้าอบในขณะที่เตาอบเย็น แต่ควรนำเข้าในขณะที่ภายในเตามีอุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซนเซียส นั่นคือควรทำการอุ่นเตาอบก่อนนำแม่พิมพ์เข้าไปอบเผาเนื่องจากในขณะที่เตาเย็น เมื่อเริ่มต้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซนเซียส เทียนจะเริ่มละลายกลายเป็นของเหลว ส่วนหนึ่งจะเริ่มไหลออกมาทางปากทางเข้า แต่ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่ยังคงอยู่ภายในโพรงแบบ ขณะเดียวกันปูนจะเติมขยายตัวทำให้รูพรุนหรือช่องว่างของเนื้อปูนหล่อโตขึ้น ปูนหล่อจะทำตัวเป็นฟองน้ำดูดซับเทียน ที่มีลักษณะเป็นของเหลวเข้าไปในเนื้อปูนหล่อ และกำจัดออกให้หมดได้ยากแต่ถ้านำแม่พิมพ์เข้าเตาอบในขณะที่เตามีอุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซนเซียส เทียนจะละลายเป็นของเหลวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้น้ำจะหลายเป็นไอน้ำ และขยายตัวดันให้เทียนไหลออกจากแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้นอีกด้วย

* ในการอบเผาแม่พิมพ์ หลักจากเทียนส่วนใหญ่ไหลออกจากทางเข้าและออกของน้ำโลหะจะมีเทียนอีกส่วนหนึ่งที่ถูกเผาจนกลายเป็นขี้เถ้า ซึ่งสามารถกำจัดออกจนหมด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึงประมาณ 700 องศาเซนเซียส โดยในการเผาไหม้ขี้เถ้า ซึ่งมีสถานะเป็นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยาออกซีเจน (0) ในอากาศ ทำให้ได้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สพิษ

* ในการอบเผา เตาจะมีอุณหภูมิเพิ่มเร็วกว่าอุณหภูมิของกระบอกหล่อ โดยเฉพาะภายในโพรงแบบ ซึ่งยังมีส่วนผสมของน้ำอยู่ในเนื้อปูนหล่อ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกระบอกหล่อกับภายในโพรงแบบ อาจแตกต่างกันถึง 50 องศาเซนเซียส ดังนั้นก่อนการหล่อจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิหล่ออย่างน้อย ½ ชั่วโมง ก่อนหล่อโลหะ

* ถ้าแม่พิมพ์ถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซนเซียส ยิปซัมซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของปูนหล่อ จะแตกตัวออกเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดสีผิวโลหะที่หล่อ

- วิธีการใช้อุณหภูมิในการอบแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของแม่พิมพ์

- วิธีการคำนวณเชิงวิชาการ แนวทางการคำนวณคำนึงถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อจะต้องมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้อบเบ้าปูนหล่อ

- สูตรการหาอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อ

อุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อ = จุดหลอมเหลวของโลหะ + 100 องศาเซนเซียส

ข้อควรระวังในการใช้เตาอบแม่พิมพ์อีกประการหนึ่ง คือ ควรเพิ่มอุณหภูมิของเตาอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์เกิดความเครียดและแตกร้าวได้ง่าย การใช้เครื่องกำจัดเทียน จะเป็นการยืดอายุการใช้งานของเตาอีกวิธีหนึ่ง เพราะจะไม่มีคราบเทียนไปเกาะติดอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของเตามากเกินไป การใช้เตาอบเผาเบ้าในขณะที่กำลังอบเผาแม่พิมพ์ ไม่ควรเปิดประตูเตาโดยไม่จำเป็น เพราะอาจเกิดอันตรายจากคลื่นความร้อนจำนวนมากจะพุ่งออกมาจากเตา และทำให้เตาต้องใช้พลังงานอีกมากในการปรับอุณหภูมิให้เท่ากับตอนก่อนที่จะเปิดเตา แต่หากมีความจำเป็นที่ต้องเปิดเตา ผู้ปฏิบัติควรหลบอยู่ด้านข้างประตูเตา นอกจากนี้เตาทั่วไปจะมีช่องสำหรับมองเข้าไปภายในเตาอยู่แล้ว โดยไม่ต้องเปิดเตาโดยตรง

ขั้นตอนหลังการหล่อ

1. หล่อเบ้าหล่อด้วยน้ำเย็น
2. ตัดชิ้นงานหล่อด้วยเครื่องมือตัดที่บริเวณก้าน
3. ทำความสะอาดด้วยกรดเพื่อเอา oxide หรือวัตถุที่เคลือบปูนหล่อออก
4. ตรวจสภาพชิ้นงานที่ได้โดนต้องไม่มีตามด ไม่เป็นโพรง รูพรุน

(ที่มา : จากการหล่อเครื่องประดับโดยวิธีขี้ผึ้งหายสุริยา โชคสวัสดิ์ ภาควิชาวิสวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

ตัวอย่าง การคำนวณน้ำหนักโลหะสำหรับงานหล่อ

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) คืออัตราส่วนของน้ำหนักของวัตถุต่อน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ} = \frac{\text{น้ำหนักของวัตถุ}}{\text{น้ำหนักของวัตถุในอากาศ - น้ำหนักของวัตถุในน้ำ}}$$

- ความถ่วงจำเพาะของน้ำเท่ากับ 1 เสมอ
- ความถ่วงจำเพาะของเทียนเท่ากับ 1 ซึ่งเท่ากับ ความถ่วงจำเพาะของน้ำ
- น้ำหนักโลหะที่แทนที่เทียน = น้ำหนักเทียน x ความถ่วงจำเพาะของโลหะ

ตัวอย่าง การคำนวณ

จงหาน้ำหนักของโลหะที่ต้องใช้ในการหล่อตัวเรือนด้วยทองคำ 18K

น้ำหนักฐานยาง	25 กรัม
น้ำหนักฐานยางพร้อมต้นเทียน	30 กรัม
ถ.พ.ของทองคำ 18K Green	15.90 กรัม

น้ำหนักต้นเทียน = น้ำหนักฐานยางพร้อมต้นเทียน – น้ำหนักฐานยาง

= 30 – 25

= 5 กรัม

น้ำหนักโลหะที่ต้องการ = ถ.พ.ของโลหะ x น้ำหนักต้นเทียน
= 15.9 x 5
= 7.5 กรัม
เผื่อน้ำหนัก 20% = 72.5 x 20/100 = 14.5 กรัม
น้ำหนักโลหะทั้งหมด = 72.5 + 14.5
= 87 กรัม

ตัวอย่าง อุณหภูมิสำหรับแม่พิมพ์ปูนหล่อและโลหะ

ทองคำขาว (White gold)	ชิ้นงานบาง 565-620C
	ชิ้นงานหนา 480-537C
ทองคำสีเหลือง (Yellow gold)	ชิ้นงานบางพิเศษ 565-620C
	ชิ้นงานบางทั่วไป 482-537C
โลหะเงิน ทองเหลือง	ชิ้นงานหนา 426-454C
โลหะผสมจำพวกบรอนซ์	482C

อุณหภูมิในการหล่อโลหะมี 2 ระดับ คือ อุณหภูมิที่จุดหลอมเหลว (Melting point) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่โลหะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว และอุณหภูมิที่จุดไหลของโลหะ (Flowing point) เป็นอุณหภูมิที่เหมาะกับการหล่อ

ทองคำสีเหลือง

	Melting point	Flowing point
9.5-10K	787C	890C
13.5-14K	815C	885C
17.5-18K	882C	935C

ทองคำสีขาว

	Melting point	Flowing point
9.5-10K	885C	1057C
13.5-14K	882C	1000C
17.5-18K	850C	954C
เงินสเตอร์ลิง	857C	900C

1.4.3 หลักการหล่อระบบสุญญากาศ

1) ความสำคัญของระบบสุญญากาศ การหล่อเครื่องประดับโดยใช้ระบบสุญญากาศ การนำระบบสุญญากาศมาใช้ในการหล่อโลหะนี้ เป็นวิธีที่พัฒนามาจากการใช้แรงโน้มถ่วงของโลหะช่วยในการหล่อโลหะซึ่งเป็นกรรมวีเก่าแก่ โดยการเทน้ำโลหะลงในโพรงแบบโดยตรง แรงดึงดูดของโลกจะดึงให้น้ำดลหะไหลลงไปในโพรงแบบ ซึ่งเหมาะกับชิ้นงานขนาดใหญ่ไม่มีลวดลายซับซ้อนมากนัก แต่ไม่เหมาะกับชิ้นงานเครื่องประดับที่มีขนาดเล็ก และมีลวดลายละเอียดซับซ้อนเพราะน้ำโลหะที่ไหลลงสู่โพรงแบบด้วยแรงดึงดูดของโลกจะไม่สามารถไหลแทรกไปตามลวดลายที่ละเอียดเล็ก ๆ ได้ดี การหล่อโลหะลักษณะนี้จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่ดีมากวิธีหนึ่ง

2) การเกิดความร้อน โดยใช้การเหนี่ยวนำ เป็นการหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำจากแม่เหล็กไฟฟ้า วีนี้โลหะจะถูกใส่อยู่ในเบ้าหลอมซึ่งถูกล้อมไว้ด้วยขดลวดตัวนำไฟฟ้าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด

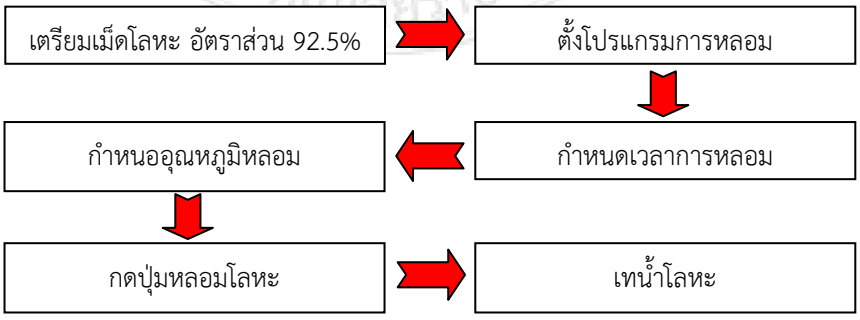
ตัวนำ จะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นสูงมาก สามารถละลายหรือหลอมโลหะได้ภายในระยะเวลาสั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำระบบแก๊สเฉื่อยมาใช้ในการหลอมดลหะลักษณะนี้ เพื่อใช้คลุมผิวหน้าของโลหะขณะหลอมละลายเพื่อป้องกันการเกิด Oxidation ของน้ำโลหะอีกด้วยการหลอมโลหะแบบนี้ได้รับความนิยมจากผู้ผลิตเครื่องประดับที่มีคุณภาพสูงอย่างมากในปัจจุบัน

3) อิทธิพลของสุญญากาศ ระบบสุญญากาศเป็นการประยุกต์นำระบบสุญญากาศเข้ามาช่วยในการหล่อในการหล่อ ลักษณะนี้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยการดูดอากาศที่อยู่ภายในโพรงแบบออกจนภายในมีสภาพเกือบเป็นสุญญากาศ หรือมีแรงดันอากาศโพรงแบบเกือบเป็นศูนย์ ในขณะที่บรรยากาศภายนอกโพรงแบบยังมีแรงดันเป็นปกติคือ 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว ดังนั้นเมื่อเทน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบ น้ำโลหะจะไหลไปตามรายละเอียดเล็ก ๆ ได้ดี เนื่องจากภายในโพรงแบบไม่มีแรงดันอากาศต้านการไหลของน้ำโลหะ ทำให้น้ำโลหะไหลลงไปในโพรงแบบด้วยแรงดึงดูดของโลกและแรงดันจนบรรยากาศภายนอก ที่มีมากกว่าภายในโพรงแบบอิทธิพลจากสิ่งเหมาะนี้มีผลต่อขั้นตอนการหล่อเช่นเดียวกัน

4) ลักษณะการทำงานของเครื่องหล่อระบบสุญญากาศ ส่วนประกอบที่สำคัญเครื่องหล่อโลหะชนิดนี้มี 2 ลักษณะคือ เครื่องหล่อโลหะด้วยสุญญากาศแบบง่าย ๆ กับเครื่องที่มีการประยุกต์ นำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการหล่อมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น สำหรับเครื่องที่ผลิตขึ้นแบบง่าย ๆ จะประกอบด้วยถึงสุญญากาศที่มีช่องสำหรับวางแม่พิมพ์และมีช่องดูดอากาศซึ่งจะต่อกับเครื่องปั๊มอากาศออกจากเครื่อง อุปกรณ์พิเศษอีกชนิดหนึ่งของการหล่อแบบนี้คือกระบอกหล่อ มีลักษณะเป็นกระกอบกลมตรง มีปีกที่บริเวณปากกระบอก ตัวกระบอกจะถูกเจาะให้เป็นรูไว้ตลอดลำตัวของกระบอก การทำงานของเครื่องจะเริ่มด้วยการนำแม่พิมพ์วางลงช่องว่างแม่พิมพ์จากนั้นจะทำการดูดอากาศออกจากห้องจนเป็นสุญญากาศ อากาศภายในห้องรวมทั้งอากาศภายในโพรงแบบจะถูกดูดออกเกือบหมด อากาศภายในโพรงแบบจะถูกดูดออกผ่านผนังของมีพิมพ์ซึ่งเป็นปูนหล่อ ขณะเดียวกันจะทำการหลอมโลหะให้ละลายเป็นของเหลว แล้วนำมาเทลงในแม่พิมพ์น้ำโลหะจะไหลลงในแม่พิมพ์ด้วยแรงดึงดูดของโลหะน้ำหนักของโลหะ และแรงดันบรรยากาศจากภายนอกทำให้น้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบโดยสมบูรณ์ การหล่อวิธีนี้ค่อนข้างสะอาด ไม่มีเศษวัสดุตกค้างมากนัก แต่มีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องคือ ทางเดินน้ำโลหะต้องมีขนาดโตกว่าการหล่อแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และเครื่องดูดหรือปั๊มอากาศต้องมีกำลังแรงมาก จึงจะสามารถดูดอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังเหมาะกับชิ้นงานที่ไม่บางมาก เช่น ชิ้นงานที่มีหนามเตยมาก ๆ หรือที่มีชิ้นส่วนความบางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร เนื่องจากแรงผลักน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบด้วยแรงเหว่างหนีศูนย์กลางจะทำได้ดีกว่า

5) วิธีการหลอมจากระบบสุญญากาศ

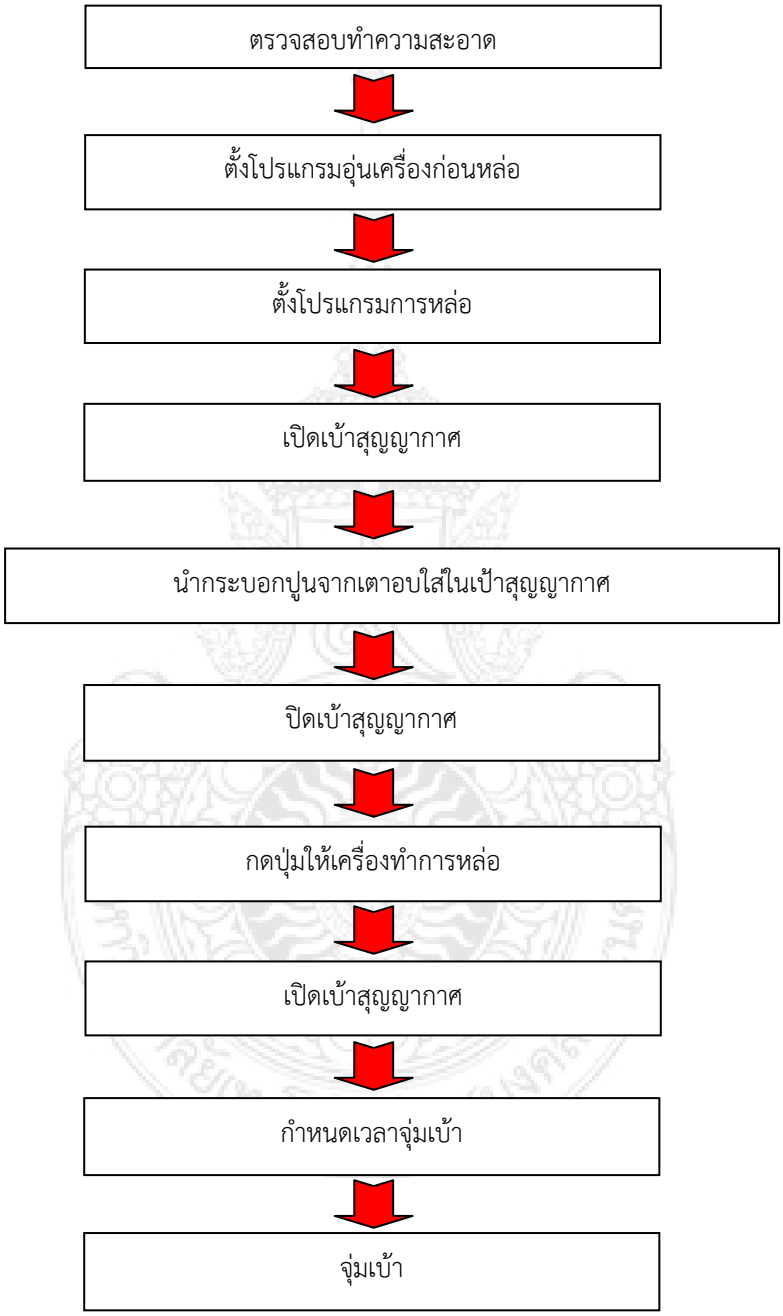
ขั้นตอนการหลอม



ภาพประกอบ 16 แผนภูมิขั้นตอนการหลอม

6) วิธีการหล่อจากระบบสุญญากาศ การเตรียมส่วนผสมสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความบริสุทธิ์ของโลหะ การหล่อจะกระทำได้อย่างแม่ยำกว่าการใช้โลหะที่ผ่านความร้อนมาแล้ว ถ้าหากทำการหล่อโดยใช้โลหะที่ผ่านความร้อนมาแล้วมาหล่ออีกครั้ง การหล่อจะทำได้ยากขึ้น

ขั้นตอนการหล่อ



ภาพประกอบ 17 แผนภูมิขั้นตอนการหล่อ

1.4.4 การควบคุมคุณภาพของชิ้นงานหล่อ

มาตรฐานคุณภาพการตรวจอบด้วยตา สาโรช และ ทวีทรัพย์ (2535 : 123) ได้สรุปมาตรฐานคุณภาพเมื่อดูด้วยตาไว้ดังนี้

1) ผิว เนื่องจากผิวงานหล่อวัดแบบเดียวกับงานกลึงได้ยาก จึง

เปรียบเทียบผิวงานหล่อมาตรฐาน SIS-1 ของ Alloy Casting Institute Surface Indicator Scale ซึ่งเปรียบเทียบด้วยตารางงานหล่อประณีตจะมีผิวเปรียบเทียบได้กับความหยาบประมาณ 150 RMS ความหยาบของผิวรวมเนื้อส่วนเกิน ส่วนขาดหากถูกจำกัดไปได้หมดในขบวนการต่อเนื่อง เช่น การกลึงไส ให้ถือว่าเป็นคุณภาพผิวที่ยอมรับกันได้

2) โลหะส่วนเกิน โดยธรรมชาติของงานหล่อมักจะมีส่วนเกินจาก

การหล่ออันเกิดจากธรรมชาติของเนื้อโลหะเอง หรือลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน หากไม่มีการตกลงไว้ก่อนพิกัดสูง 0.381 ถึง 0.762 mm บนพื้นที่ 3.175 mm x 6.35 mm และมีได้ไม่เกิน 1 จุดใน 645.16 mm2 ตำหนิเล็ก ๆ อาจเกิดได้ทั่ว ยกเว้นบนพื้นที่กำหนดเฉพาะสำหรับงาน

3) หลุม ผิวงานหล่ออาจเกิดหลุมกระจายไม่แน่นอนสำหรับงาน

หล่อประณีตจะมีหลุมลึกไม่เกิน 0.762 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 0.762-1.524 mm ในจำนวนไม่เกิน 1 จุด ต่อ 645.16 mm2 หากไม่กำหนดโดยผู้ซื้อ หลุมที่เล็กกว่าขนาดที่กล่าวข้างต้น อาจเกิดขึ้นได้ทั่วไป หากไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน

4) นอนฟิลล์ (Nonfill) ในงานหล่อบางครั้งมุมต่าง ๆ ที่หล่อได้อาจ

ไม่มีคมเหมือนกับที่กำหนดไว้เป็นที่ยอมรับกันในอุตสาหกรรมหล่อโลหะประณีต ว่ายอมให้เกิดมุมโค้งบนสันต่าง ๆ ที่รัศมีโค้งไม่เกิน 0.381 mm ยกเว้นผู้ซื้อหรือโรงหล่อมีข้อกำหนดเป็นอย่างอื่น

5) ความสะอาดของผิว โดยปกติงานหล่อจะได้รับการทำความ

สะอาดผิวด้วยวิธีพ่นด้วยเม็ดเหล็กหรือเม็ดทราบ เพื่อขจัดคราบที่เกิดจากการหล่อ หรือสนิมเหล็ก อันเกิดจากการอบด้วยความร้อน หากผู้ซื้อต้องการขัดแต่งด้วยวิธีอื่น ๆ ต้องตกลงกับโรงหล่อเป็นกรณี ๆ ไป

6) อื่น ๆ ชิ้นงานมีควรมีตำหนิที่เป็นอันตรายต่อการใช้งาน เช่น

รอยร้าว โพรงหดตัวที่เห็นด้วยตาเปล่า ยกเว้นผู้ซื้อจะมีข้อกำหนดเป็นอย่างอื่น

หริส และ เคนยิ (2533 : 181) สรุปว่าการตรวจสอบชิ้นงานอาจแบ่งออกได้หลายลักษณะดังนี้

1) การตรวจสอบรูปร่างลักษณะ การตรวจสอบประเภทนี้จะพบ

ความไม่เรียบร้อย เช่น การมีวัสดุแทรกในเนื้อโลหะ รอยร้าว ฯลฯ ถ้าเกิดที่ผิวและพบชิ้นส่วนที่มีขนาดนอกเขตที่ยอมรับได้ (ตามมาตรฐานของการตรวจขนาด) ด้วย

2) การตรวจจุดเสียภายใน (ตรวจโดยไม่ทำลาย) การตรวจวิธีนี้จะ

ได้จุดเสียที่อยู่ภายในเนื้อ เช่นจุดโหว่ภายในที่เกิดจากแก๊ส จุดโหว่ที่เกิดจากการหดตัว การแทรกของวัสดุ เช่น ทราย ในเนื้อโลหะ การร้าว ฯลฯ ที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะทั้งนี้โดยไม่ต้องทำลายชิ้นงาน

3) การตรวจสอบวัสดุ จะตรวจการผิดปกติในวัสดุ คือ ส่วนผสมโครงสร้าง และคุณสมบัติทางกล

4) จะต้องที่หักหรือตัดชิ้นส่วนออกเพื่อให้แน่ใจว่ามีจุดเสียจริงตามที่ได้พบตามการตรวจสอบประเภทที่กล่าวมาทั้ง 3 ประเภทหรือไม่

มนัส (2538 : 299-300) ได้สรุปวิธีการตรวจสอบที่ทำกันในงานหล่อในปัจจุบันมี 2 วิธี

1) การตรวจสอบโดยมีการทำลาย (Destructive Testing) คือ

การตรวจสอบโดยการนำเอางานหล่อมาทำการตัดหรือผ่าออก เพื่อตรวจดูลักษณะของ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นภายใน วิธีการเช่นนี้จะทำกับงานหล่อชิ้นเล็ก ๆ และมีการหล่อจำนวนมาก เราจะเก็บตัวอย่างมาจากงานหล่อกลุ่มหนึ่ง หรือล๊อตหนึ่งมาทำการตัดเพื่อตรวจสอบ ถ้ามีข้อเสียหายก็อาจต้องยกเลิก หรือรีเจคต์งานหล่อล๊อตนั้นทั้งหมด ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ดีนัก ในทางปฏิบัติมักจะทดลองหล่อเพียงจำนวนน้อยก่อน และทำการตรวจสอบแก้ไขจนไม่มีข้อเสียหายแล้วจึงทำการหล่อจำนวนมาก ๆ ภายหลัง เมื่อได้กำหนดลักษณะวิธีการและทำแบบจำลองไปแล้ว ก็ควรจะได้มีการตรวจสอบซึ่งอีก โดยการเก็บตัวอย่างมาตรวจสอบ และควรกระทำในแบบสถิติ เพื่อความแน่ในคุณภาพของงานหล่อ

2) การตรวจสอบโดยปราศจากการทำลาย (Nondestructive

Testing) เป็นการตรวจสอบโดยใช้ทั้งอุปกรณ์และเทคนิคเป็นการอาศัยหลักทางฟิสิกส์เข้าช่วย เพื่อไม่ให้ชิ้นงานหล่อถูกทำลายสภาพ ภายหลังการตรวจสอบถ้าไม่พบข้อเสียหายงานหล่อจะสามารถส่งออกไปยังลูกค้าได้ การตรวจสอบโดยลักษณะนี้มีหลายวิธีตั้งแต่แบบง่าย ๆ จนถึงแบบที่ใช้อุปกรณ์ราคาแพง ขึ้นอยู่กับความแน่นอนและประสบการณ์ของผู้ทำหน้าที่ตรวจสอบ

การตรวจสอบด้วยสายตาเป็นการตรวจสอบตำหนิงานทั้งด้านในและด้านนอก โดยจะใช้อุปกรณ์ คือ แว่นขยาย เครื่องฉาย เครื่องวัด อุปกรณ์เปรียบเทียบในการตรวจสอบด้วยสายตาไปแสงสว่าง และโบสโคป (Bor Scope) ซึ่งจะมีข้อดี คือ ประหยัดโดยไม่ต้องใช้ความชำนาญ และอุปกรณ์น้อย และยังมีข้อจำกัด คือ ถ้าตรวจสอบภายในต้องมีความชำนาญพอสมควรตามทฤษฎีแล้วการดูด้วยสายตา ในกรณีที่จำเป็น ต้องใช้แว่นขยาย ไม้บรรทัดเว้า (Convex Ruler) เกจชนิดพิเศษ เพื่อวัดขนาดของรอยแตก รอยเหลื่อม (Over Lap) หลุมบ่อต่าง ๆ การตรวจสอบด้วยสายตาเป็นการตรวจที่สามารถกระทำได้โดยทันที และควรจะกระทำก่อนการใช้อุปกรณ์เข้าช่วย เพราะสามารถทำการตรวจข้อเสียที่เกิดขึ้นบริเวณของผิวหล่อได้โดยง่าย เช่น ข้อเสียชนิดรอยแต่ (Hot Tear) รูพรุนอากาศ (Blow Holes) ผิวงานมีทราบเกาะติด (Metal Penetration) เทแบบรั่ว (Runouts) และอื่น ๆ ส่วนข้อเสียที่เกิดขึ้นภายใน หรือบางทีที่เกิดตามผิวแต่มีขนาดเล็กเท่านั้น ที่จะใช้การตรวจสอบด้วยสายตาไม่ได้ ผู้ตรวจสอบที่มีความชำนาญอาจใช้สายตาและการเคราะฟังเสียง ก็อาจจะบอกถึงข้อเสียได้โดยไม่ต้องใช้วิธีการตรวจสอบด้วยอุปกรณ์ให้เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย วิธีการตรวจสอบด้วยสายตายังคงใช้กันอยู่อย่างกว้างขวาง และได้ผลดีสมควร (มนัส, 2538 : 300)

สรุปการตรวจสอบคุณภาพงานหล่อ จัดว่าเป็นงานขั้นสุดท้ายของการผลิตงานหล่อก่อนที่งานจะส่งผ่านไปยังผู้ใช้ หรือนำไปผ่านกรรมวิธีการแปรรูปให้ได้รูปร่างตามต้องการ หรือตกแต่ผิวสำเร็จ งานตรวจสอบจัดว่ามีความสำคัญยิ่ง เราะตามที่ทราบ งานหล่อจะมีข้อเสียอยู่เสมอ ยิ่งเป็นข้อเสียหรือตำหนิเกิดขึ้นภายในด้วยแล้ว การตรวจสอบด้วยตาเปล่าจะไม่มีทางทราบได้ จึงต้องอาศัยอุปกรณ์และเทคนิคเข้าช่วยเพื่อการตรวจสอบอย่างมีประสิทธิภาพ การตรวจสอบที่ขาดความละเอียดถี่ถ้วนย่อมก่อให้เกิดความเสียหายได้มาก ยกตัวอย่างเช่น งานหล่อมีข้อตำหนิอยู่ใต้ผิว ซึ่งอาจจะเป็นรูพรุน หรือการเกิดการหดตัว เราไม่สามารถตรวจได้เพราะขาดอุปกรณ์หรือการตรวจสอบกระทำไปโดยขาดประสิทธิภาพ เมื่องานหล่อถูกส่งไปยังโรงงานแปรรูปหรือตกแต่งผิวสำเร็จ พอแปรรูปหรือตกแต่งผิวสำเร็จได้ระยะหนึ่งก็พบกับข้อเสียหายเข้า จำเป็นทำการซ่อม หรือไม่ก็ต้องส่งเข้าเตาหลอมไปเลย ดังนั้นจึงทำให้ต้องเสียเวลาเสียค่าขนส่งและเสียค่าแรงงาน

2. เอกสารวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ

2.1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทองเหลือง

ภาพประกอบ 18 ทองเหลือง

ทองเหลือง เป็นโลหะผสมที่มีทองแดงและสังกะสีเป็นส่วนประกอบหลัก ปริมาณของสังกะสีนั้นแปรเปลี่ยนไป ระหว่าง 5 - 45 เปอร์เซนต์ ทำให้ได้ทองเหลืองที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป ทองเหลืองแตกต่างจากสำริดตรงที่ สำริดมีส่วนประกอบของทองแดงและดีบุกเป็นหลัก แต่ทองเหลืองบางชนิดก็ถูกเรียกว่า "สำริด" ก็มี

ทองเหลืองยังเคยเป็นโลหะที่เชื่อกันว่าแข็งแกร่งที่สุดในยุคสำริดและความเชื่อนี้ยังตกทอดมาถึงปัจจุบัน กลายเป็นโลหะในตำนานที่ชื่อว่าโอริคัลคุมซึ่งเป็นคำศัพท์ภาษาละตินที่มาจากภาษากรีก ορείχαλκος (ออเรอิฆัลคอส) ซึ่งแปลว่า "ทองเหลือง"

ทองเหลืองนั้นมีสีเหลือง จึงมีลักษณะบางส่วนคล้ายทองคำ มีความต้านทานต่อการเกิดสนิมได้ดีพอสมควร จึงนิยมนำมาทำเป็นเครื่องประดับตกแต่งภายในบ้านเรือน

มนุษย์รู้จักทองเหลืองมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ นานก่อนที่จะค้นพบธาตุสังกะสีด้วยซ้ำ การผลิตทองเหลืองนั้น อาศัยการหลอมละลายทองแดงกับแร่คาลาไมน์ ซึ่งเป็นสินแร่สังกะสีชนิดหนึ่ง ในกระบวนการนี้ สังกะสีจะถูกดูดออกมาจากคาลาไมน์ และผสมเข้ากับทองแดง สำหรับสังกะสีบริสุทธิ์นั้นไม่สามารถผลิตด้วยเทคนิคงานโลหะสมัยโบราณได้ ปริมาณของสังกะสีที่เปลี่ยนไปในทองแดงนั้น ย่อมทำให้ทองเหลืองเปลี่ยนตามไปด้วย ลักษณะโดยทั่วไปของทองเหลืองจะมีสีเหลืองตามชื่อ จึงมีส่วนดูคล้ายเนื้อทองคำ ทองเหลืองมีความทนทานต่อสนิม ทนต่อทุกสภาพอากาศ และทนต่อรอยขีดข่วนจากการใช้งานทองเหลืองแบบปกติ ทำให้นิยมใช้ทำเป็นของตกแต่งภายในบ้าน ทองเหลือง เป็นโลหะที่รู้จักกันมาแต่โบราณและมีการผลิตขึ้นเองด้วย โดยการผลิตทองเหลืองนั้นอาศัยการหลอมละลายระหว่างทองแดงกับแร่คาลาไมน์ซึ่ง มีส่วนผสมของสังกะสีทำให้ได้ทองเหลืองออกมา ทองเหลืองมีหลายประเภท ได้แก่ Admiralty brass Alpha brasses Alpha-beta brass Aluminium brass Arsenical brass Beta brasses Cartridge brass Common brass DZR brass Gilding metal High brass Leaded brass Low brass Naval brass Red brass Rich low brass White brass Yellow brass เป็นต้น ทั้งนี้คุณสามารถซื้อทองเหลืองได้ตามแหล่งซื้อขายทองเหลือง ร้านขายทองเหลือง ร้านรับหล่อทองเหลือง ร้านขายแผ่นทองเหลือง บริษัทรับหล่อทองเหลือง ร้านขายผลิตภัณฑ์ที่ทำจากทองเหลือง ร้านขายเครื่อง

ทองเหลือง ร้านขายฉนวนทองเหลือง ร้านขายทองแดง ร้านขายสังกะสีทั่วไปตามท้องตลาด (ได้รับความสนับสนุนเนื้อหาจาก : Ppm.co.th)

ในปัจจุบันยังมีเครื่องทองเหลืองให้พบเห็นในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น ขันทองเหลือง พานทองเหลือง แจกันทองเหลือง กระทะทองเหลือง และ เครื่องใช้ เครื่องตกแต่งทำด้วยทองเหลือง อีกมากมาย

1) ทองเหลืองประเภทต่างๆ

- Admiralty brass ประกอบด้วย สังกะสี 30% ดีบุก 1% ซึ่งยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา dezincification
- Alpha brasses (Prince's metal) ประกอบด้วยสังกะสีน้อยกว่า 35% ทองเหลือชนิดนี้สามารถตีเป็นแผ่นได้ เหมาะกับการใช้งานอุณภูมิต่ำ
- Alpha-beta brass (Muntz metal หรือ called duplex brass) มีสังกะสี 35-45% เหมาะกับการใช้งานอุณหภูมิสูง ประกอบด้วย α กับ β' phase
- Aluminium brass (Nordic gold) ประกอบด้วยอลูมิเนียม ทนทานการกัดกร่อน ใช้ทำเหรียญยูโร
- Arsenical brass มีส่วนผสมของสารหนู และมักจะใส่อลูมิเนียมด้วย ใช้ทำหม้อของห้องเผาไหม้
- Beta brasses มีสังกะสี 45-50% ใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูง มีความแข็งแรงทนทาน เหมาะกับการหล่อ
- Cartridge brass มีสังกะสี 30% มีคุณสมบัติในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ
- Common brass (rivet brass) มีสังกะสี 37% ราคาถูกและใช้ในที่เย็นได้
- DZR brass มีส่วนผสมของสารหนูเล็กน้อย มีคุณสมบัติต่อต้านปฏิกิริยา Dezincification
- Gilding metal เป็นทองเหลืองที่อ่อนที่สุด มีทองแดง 95% และสังกะสี 5% มักใช้เป็นส่วนประกอบของกระสุน
- High brass มีทองแดง 65% และสังกะสี 35% มีความยืดหยุ่นสูง ใช้ทำสปริง สกรู หมุด
- Leaded brass คล้ายกับชนิด alpha-beta brass แต่ใส่ตะกั่วเพิ่ม มีความสามารถในการขึ้นรูปโหละสูง
- Low brass เป็นโลหะผสมของทองแดงกับสังกะสี มีสังกะสี 20% มีสีทองอ่อนๆ สามารถทำให้เป็นเส้นบางๆได้ดีเยี่ยม ใช้ทำท่อส่งน้ำ/แก๊สที่ยืดหยุ่นสูง
- Naval brass คล้ายกับ admiralty brass มีสังกะสี 40% และดีบุก 1%
- Red brass สูตรคือ CuZnSn มักเรียกว่า gunmetal
- Rich low brass มีทองแดง 85% สังกะสี 15% ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องประดับ
- White brass มีสังกะสีมากกว่า 50% เปราะบาง
- Yellow brass มีสังกะสี 33%

*แมงกานีสจะให้ผลในการเพิ่มกำลังวัสดุของทองเหลืองได้มาก จึงเรียกทองเหลืองที่มีแมงกานีสผสมอยู่นี้ว่าบรอนซ์แมงกานีส (Manganese Bronze)

(http://www.weloveshopping.com/shop/s_showdata.php?shopid=11899&qid=804838)

ในอุตสาหกรรมผลิตทองเหลืองทั่วๆไป จะแยกมาตรฐานออกไปสองกลุ่ม คือ ประเภทรีดเป็น แท่ง หรือเป็นแผ่น (Wrough copper alloys) กับอีกกลุ่มหนึ่งจะเป็นประเภทหล่อ (Cast copper) ซึ่งทั้งสองกลุ่มจะแยกชั้นคุณภาพ จะหารายละเอียดได้จากคู่มือ ASTM หรือ JIS ในการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกล มักจะกล่าวถึงชื่อทองเหลืองที่รู้จักและใช้งานกันอยู่เป็นประจำซึ่งมีอยู่ไม่มากนัก คือ
ทองเหลืองที่ผสมสังกะสีไม่เกิน 5% มีชื่อเรียกทางการค้าว่า Gilding metal ใช้ทำเหรียญ

ทองเหลืองที่ผสมสังกะสี 10% เรียก Commercial bronze หรือบรอนซ์ทางการค้า คุณสมบัติใช้ งานคล้ายคลึงกับ Gilding metal

ทองเหลืองผสมสังกะสี 12.5% เรียก Jewerlry bronze หรือทองเหลืองทำเครื่องประดับ

ทองเหลืองผสมสังกะสี 15% เรียก Red Brasses หรือทองเหลืองแดง

ทองเหลืองผสมสังกะสี 30% เรียก Cartridge brass หมายถึงทองเหลืองที่ใช้ทำปลอกกระสุน ปืน ทำท่อที่ต้องอาศัยการอัดขึ้นรูป (Extrusion)

ทองเหลืองผสมสังกะสี 35% เรียก Yellow brass หมายถึงทองเหลืองที่มีสีค่อนข้างเหลืองจัด คุณสมบัติและการใช้งานใกล้เคียงกับ Cartrige brass

ทองเหลืองผสมสังกะสี 40% เรียก Munts Metal คำว่า Muntz เป็นชื่อทางการค้า

2) คุณสมบัติเชิงกลของทองเหลือง

สังกะสีมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของทองเหลือง โดยเพิ่มทั้งความแข็ง ความเหนียว และความแข็งให้กับทองแดง ในช่วงที่สังกะสีสามารถละลายให้สารละลายของแข็งในทองแดง แต่เมื่อเลยพิกัดการเป็นสารละลายของแข็งไปแล้ว สังกะสีจะให้สารประกอบเชิงโลหะกับทองแดง ซึ่งจะมีความแข็งและเปราะ ในช่วงนี้ความแข็งแรงกับความเหนียวจะค่อยๆลดลง แต่คงจะเพิ่มแต่ความแข็งเท่านั้น (ที่มา : Engineering Designer, v 30, n 3, May–June 2004, 6–9 และ Machinery Handbook, Industrial Press Inc, New York, Edition 24, p. 501)

3) ข้อดีของทองเหลืองที่มีต่ออุตสาหกรรม

ข้อดีของทองเหลืองที่มีต่ออุตสาหกรรม ทั้งผลิตภัณฑ์ทองเหลืองชนิดแผ่นและผลิตภัณฑ์ทองเหลืองชนิดม้วนที่มีขนาดและคุณสมบัติต่างๆ กันนั้น สามารถนำไปใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า ชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิคส์ การผลิตกุญแจ บานพับประตู และป้ายต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำทองเหลืองมาทำเป็นอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ท่อทองเหลือง ข้อต่อทองเหลืองที่นำไปใช้ในระบบระบายความร้อน เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องฉีดยาฆ่าแมลง และอุตสาหกรรมยานยนต์ สามารถใช้ผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ได้หลากหลาย และเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยานยนต์ ที่นำทองเหลืองไปผลิตหม้อน้ำรถยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่นำทองเหลืองไปเป็นชิ้นส่วนไฟฟ้า ใช้ผลิตขาปลั๊กไฟ คัทเอาท์ สวิตช์ไฟ สายเคเบิ้ล Connector อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิค เช่น Heatsink Adapter Leadframe และใช้ในวงการ Stamping ทั่วไป เช่น งานขึ้นรูปดอกกุญแจ ขั้วหลอดไฟ Audio Cassette กระดุม ตาไก่ เป็นต้น ซึ่งคุณสามารถซื้อทองเหลืองได้ตามแหล่งซื้อขายทองเหลือง ร้านขายทองเหลือง ร้านรับหล่อทองเหลือง ร้านขายแผ่นทองเหลือง บริษัทรับหล่อทองเหลือง ร้านขายผลิตภัณฑ์ที่ทำจากทองเหลือง ร้านขายเครื่องทองเหลือง ร้านขายฉนวนทองเหลือง ร้านขายทองแดง ร้านขายสังกะสีทั่วไปตามท้องตลาด

ภาพประกอบ 19 ทองเหลืองในงานอุตสาหกรรม

4) คุณสมบัติทองเหลือง

ทองเหลือง เป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงและสังกะสี ซึ่งสังกะสีจะละลายในทองแดงได้ โดยให้สารละลายเป็นของแข็ง ปริมาณของสังกะสีที่สามารถละลายได้อยู่ที่ 39% ทองเหลืองแต่ละชนิดที่ทำการผลิตออกมาจะมีปริมาณในการผสมสังกะสีลงไปแตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต โดยคุณสมบัติของทองเหลืองที่ดีคือ มีความแข็งแรง ทนทาน มีความเหนียว สามารถทนต่อการถูกกัดกร่อน และทุกสภาพอากาศ อีกทั้งรอยขีดข่วนจากการใช้งานปกติของทองเหลืองด้วย สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตได้แบ่งทองเหลือง ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ทองเหลืองประเภทรีดเป็นแท่ง หรือทองเหลืองประเภทรีดเป็นแผ่น และทองเหลืองประเภทหล่อ ทองเหลืองทั้งสองประเภทนี้สามารถแยกคุณภาพและคุณสมบัติเชิงกลออกได้ตามรายละเอียดคู่มือ ASTM (American Society for Testing and Materials) หรือ JIS (Japanese Industrial-Standards) ที่เป็นมาตรฐานภายใต้ข้อกำหนดที่ตกลงร่วมกันระหว่างผู้ผลิตทองเหลืองภายในประเทศและต่างประเทศเพื่อเป็นการสร้างความเข้าใจให้ตรงกัน ทั้งเรื่องคุณภาพ รูปร่าง น้ำหนัก ฯลฯ ทั้งนี้คุณสามารถขอคำแนะนำเกี่ยวกับทองเหลืองได้ตามแหล่งซื้อขายทองเหลืองทั่วไป ได้แก่ ร้านขายทองเหลือง ร้านรับหล่อทองเหลือง ร้านขายแผ่นทองเหลือง บริษัทรับหล่อทองเหลือง ร้านขายผลิตภัณฑ์ที่ทำจากทองเหลือง ร้านขายเครื่องทองเหลือง ร้านขายฉนวนทองเหลือง ร้านขายทองแดง ร้านขายสังกะสี เป็นต้น (ได้รับความสนับสนุนเนื้อหาจาก : Pirun.ku.ac.th)

ภาพประกอบ 20 ทองเหลืองในงานเครื่องประดับ

2.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทองแดง

ภาพประกอบ 21 ทองแดง

ทองแดง (อังกฤษ: Copper) คือธาตุที่มีเลขอะตอม 29 และสัญลักษณ์คือ Cu ทองแดงอยู่ในตารางธาตุหมู่ 29 เป็นที่ทราบกันว่ามนุษย์ใช้ประโยชน์จากทองแดงมาไม่น้อยกว่า 10,000 ปี พบหลักฐานว่ามนุษย์

สามารถหลอมสกัดทองแดงให้บริสุทธิ์ได้เมื่อประมาณ 5000 ปีก่อนคริสตกาล ซึ่งเป็นช่วงก่อนที่มนุษย์จะรู้จักกับทองคำ โดยมนุษย์รู้จักทองคำ เมื่อประมาณ 4000 ปีก่อนคริสตกาล

1) การถลุงทองแดง

การถลุงทองแดงจากแร่ ขั้นแรกคือการแยกแร่ที่ต้องการออกจากสิ่งเจือปนหรือ กากแร่ อาจใช้วิธีการลอยตัว โดยนำแร่ที่บดละเอียดแล้วผสมเข้ากับน้ำ น้ำมันและสารซักล้างในถังผสม จากนั้นกวนและผ่านอากาศเข้าไปในของเหลวที่อยู่ในถังผสมตลอดเวลา เพื่อทำให้มีฟองเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ฟองอากาศและน้ำมันไปเกาะอยู่กับอนุภาคของแร่และลอยตัวอยู่ด้านบน ส่วนกากแร่จะจมลงอยู่ด้านล่าง เมื่อตักฟองที่ลอยอยู่ด้านบนออกและทำให้แห้ง จะได้ผลแร่ที่มีปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15 โดยมวล ขั้นต่อไปน้ำแร่มาเผาในอากาศ เรียกกระบวนการนี้ว่า การย่างแร่ ไอร์ออน (II) ซัลเฟตบางส่วนจะถูกออกซิไดส์เป็นไอร์ออน (II) ออกไซด์ ดังสมการ

$$2CuFeS_2(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CuS(s) + 2FeO(s) + 2SO_2(g)$$

กำจัดไอร์ออน (II) ออกไซด์ออกไป โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปเผารวมกับออกไซด์ของซิลิคอนในเตาถลุงอุณหภูมิประมาณ 1100 °C ไอร์ออน (II) ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของซิลิคอนได้กากตะกอนเหลวซึ่งแยกออกมาได้ ดังสมการ

$$FeO(s) + SiO_2(s) \longrightarrow FeSiO_3(l)$$

ส่วนคอบเปอร์ (II) ซัลไฟด์เมื่ออยู่ในที่มีอุณหภูมิสูงจะสลายตัวได้เป็นคอบเปอร์ (I) ซัลไฟด์ในสถานะของเหลวซึ่งสามารถแยกออกได้

ในขั้นตอนสุดท้ายเมื่อแยกคอปเปอร์ (I) ซัลไฟด์ในอากาศ บางส่วนจะเปลี่ยนเป็นคอปเปอร์ (I) ออกไซด์ดังสมการ

$$2Cu_2S(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2Cu_2O(s) + 2SO_2(g)$$

และคอปเปอร์ (I) ออกไซด์กับคอปเปอร์ (I) ซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากันโดยมีซัลไฟด์ไอออนทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ ได้โลหะทองแดงและแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังสมการ

$$2Cu_2O(s) + Cu_2S(s) \longrightarrow 6Cu(l) + SO_2(g)$$

ทองแดงที่ถลุงได้ในขั้นนี้ยังมีสิ่งเจือปนจึงต้องนำไปทำให้บริสุทธิ์ก่อน การทำทองแดงให้บริสุทธิ์โดยทั่วไปจะใช้วิธีแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า

4) การประยุกต์

ทองแดงสามารถดัดได้ง่าย จึงใช้แพร่หลายในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น

- สายลวดทองแดง
- ท่อน้ำทองแดง
- ลูกบิด และของอื่น ๆ ที่ติดตั้งในบ้าน
- รูปปั้น เช่นเทพีเสรีภาพ (Statue of Liberty) ซึ่งมีทองแดงถึง 81.3 ตัน
- หลังคา รางน้ำ และท่อระบายน้ำฝน
- แม่เหล็กไฟฟ้า
- เครื่องจักรไฟฟ้า โดยเฉพาะมอเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- เครื่องยนต์ไอน้ำ ของ เจมส์ วัตต์
- รีเลย์ไฟฟ้า และสวิตช์ไฟฟ้า
- รางน้ำบนหลังคาและท่อระบายน้ำ

- หลอดสุญญากาศ หลอดรังสีแคโทด (cathode ray tube) และแมกนีตรอนในเตาอบไมโครเวฟ
- หลอดนำคลื่นไฟฟ้า (Waveguide) สำหรับรังสีไมโครเวฟ
- มีการใช้ทองแดงเพิ่มขึ้นในวงจรไอซีแทนอะลูมิเนียมเนื่องจากนำไฟฟ้าได้ดีกว่า
- ผสมกับนิกเกิล เช่นคิวโปรนิกเกิล (cupronickel) and โมเนล (Monel) ใช้เป็นวัสดุที่ไม่กร่อนสำหรับสร้างเรือ
- เป็นเหรียญกษาปณ์ ในรูปของโลหะคิวโปรนิกเกิลส่วนใหญ่
- ในอุปกรณ์ทำครัว เช่นกระทะ
- อุปกรณ์ที่ใช้บนโต๊ะอาหารส่วนใหญ่ (มีด ส้อม ช้อน) มีทองแดงบางส่วน (นิกเกิล ซิลเวอร์)
- เงินสเตอร์ลิงจะต้องผสมทองแดงเล็กน้อย ถ้าทำเป็นภาชนะสำหรับอาหาร
- เป็นส่วนประกอบของสารเคลือบเงาสำหรับเครื่องเซรามิก และเป็นสีสำหรับกระจก
- เครื่องดนตรี โดยเฉพาะเครื่องดนตรีประเภทแตร
- เป็นพื้นผิวไบโอสแตทิก (biostatic) ในโรงพยาบาล และใช้บุชิ้นส่วนเรือเพื่อป้องกันเพรียงและหอยมาเกาะ เดิมใช้บริสุทธิ์ ปัจจุบันใช้โลหะมันตส์ (Muntz Metal : ทองแดง 60% + สังกะสี 40%) แทน แบคทีเรียจะไม่เจริญเติบโตบนพื้นผิวทองแดงเนื่องด้วยคุณสมบัติไบโอสแตทิก ลูกบิดทองแดงใช้ในโรงพยาบาล เพื่อลดการแพร่กระจายของโรค และโรคลีเจียนแนร์ (Legionnaire's Disease) สามารถหยุดได้ด้วยท่อทองแดงในระบบเครื่องปรับอากาศ
- สารประกอบ เช่น สารละลายเฟห์ลิง (Fehling's solution) มีประโยชน์ใช้ในด้านเคมี
- คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ใช้เป็นสารพิษและสารทำให้น้ำบริสุทธิ์ และใช้ในผลและสเปรย์ฆ่าโรคราน้ำค้าง (mildew)
- เป็นวัสดุในการผลิตฮีตซิงก์สำหรับคอมพิวเตอร์ เนื่องจากระบายความร้อนได้ดีกว่าอะลูมิเนียม ชาวอินูอิต (Inuit) ใช้ทองแดงเพื่อทำใบมีดสำหรับมีดอูลู (ulu) เป็นครั้งคราว

5) บทบาทของทองแดงกับเครื่องประดับ

ทองแดงนั้นเป็นโลหะที่มีคุณประโยชน์นานัปการ โดยเฉพาะทองแดงในวงการของอุตสาหกรรม เช่น สายลวดทองแดง เครื่องจักรต่างๆ ฯลฯ บทบาทของทองแดงกับเครื่องประดับอาจจะไม่เป็นที่ประจักษ์ชัด แต่หลายคนอาจลืมไปว่า โลหะผสมมีค่าหลายชนิด มีทองแดงเป็นส่วนประกอบสำคัญที่จะขาดไปไม่ได้

- นาก ลักษณะเด่นของนาก คือมีสีออกทองแดงผสมทอง โดยมีทองคำผสมอยู่ในอัตราประมาณ 37% และนอกจากนั้นจะเป็นส่วนประกอบของทองแดง และเงิน (ทองแดงกับเครื่องประดับ Massaro, Edward J., ed. (2002). Handbook of Copper Pharmacology and Toxicology. Humana Press. ISBN 0-89603-943-9)
- ทองชมพู ลักษณะเด่นของทองชมพู คือจะมีสีสุกใส ทองอมชมพู สีชมพูอ่อน นั้นได้มาจากการผสมทองแดงในสัดส่วนที่น้อยกว่าทองแดงที่ผสมในโลหะนาก โดยใช้ทองเป็นส่วนผสมประมาณ 75% และโลหะอื่น ๆ เป็นลำดับต่อมา ลำดับสุดท้ายคือ ทองแดง
- เรดโกลด์ ลักษณะเด่นของเรดโกลด์ จะคล้ายคลึงกับทองชมพูมาก มีส่วนผสมของโลหะแต่ละชนิดเหมือนกัน โดยปัจจัยหลักที่ทำให้ทองสองชนิดต่างกันคือปริมาณของทองแดง โดยจะเพิ่มทองแดงในอัตราส่วนที่มากกว่าทองชมพู

2.1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติโลหะเงิน

ภาพประกอบ 22 โลหะเงิน

1) ความเป็นมาของแร่เงิน

แร่เงิน (Silver) คือ ธาตุลำดับที่ 47 เป็นโลหะสีขาวเงิน แร่เงินเป็นแร่ยุคโบราณอยู่ควบคู่กับมนุษย์มาหลายยุคหลายสมัยตั้งแต่ยุค เมโสโปเตเมีย อียิปต์ จีน เปอร์เชียและกรีก ในอดีตแร่ที่มีความสำคัญเป็นอันดับหนึ่งคือ แร่ทองเพราะเป็นเครื่องหมายของความสมบูรณ์ ร่ำรวยทำให้สัญลักษณ์ของทองคือรูปวงกลม เพราะวงกลมจะไม่มีรอยต่อเป็นเส้นเดียวไม่มีเริ่มต้น-ไม่มีสิ้นสุดจึงหมายถึงความสมบูรณ์

ส่วนแร่เงินถึงแม้จะเป็นรองแร่ทองแต่ในยุคก่อนประวัติศาสตร์ก็ได้ให้ความสำคัญกับแร่เงินพอๆกัน โดยมีสัญลักษณ์คือรูปครึ่งวงกลมหรือรูปพระจันทร์เสี้ยว มนุษย์ได้ใช้แร่เงินเป็นเครื่องประดับตกแต่งและเป็นเครื่องใช้ต่างๆมานานแล้ว แร่เงินจึงถือว่าเป็นโลหะที่มีค่าเป็นอันดับสองรองจากทองคำ

นอกจากนี้ยังมีความเชื่อลึกลับเกี่ยวแร่เงิน อาจเป็นเพราะว่ามีสีและประกายเหมือนกับแสงของพระจันทร์คือสีขาวซึ่งเป็นสีของความบริสุทธ์ ดังนั้นพวกนิยายและตำนานพื้นบ้านเกี่ยวกับผีสางพ่อมดแม่มดในยุโรปโดยเฉพาะยุโรปตะวันออก จึงเชื่อว่าแร่เงินหรือโลหะเงินมีอำนาจป้องกันภูตผีปีศาจโดย เฉพาะผีดูดเลือดและมนุษย์หมาป่าได้ โดยการใช้เงินทำเป็นกระจกเงาเพื่อพิสูจน์ว่าใครเป็นผีดูดเลือดหรือมนุษย์หมาป่า หรือใช้ทำอาวุธ เช่น กระสุนเงินฆ่าพวกมนุษย์หมาป่าซึ่งเป็นที่มาของคำว่า Silver bullet

ลักษณะ ของแร่เงินจะมีสีขาวแข็งกว่าทองเล็กน้อย มีลักษณะทึบ ถ้านำเงินไปขัดเงาจะมีประกายเป็นเงาวับ นอกจากนั้นเงินยังเป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้าได้ดีที่สุดมากกว่าโลหะชนิดอื่น เงินคุณภาพดีต้องมีแร่เงินบริสุทธ์ 99.99% โดยเม็กซิโกเป็นแหล่งผลิตเงินส่งออกมากที่สุดโดยประมาณ 15% ของเงินที่ผลิตได้ในตลาดโลก

มนุษย์นำแร่เงินมาใช้ได้หลากหลายประเภท เช่น เครื่องประดับที่ใช้เงินหรือที่เรียกว่า สเตอลิงซิลเวอร์ (Sterling silver) จะมีโลหะเงินอยู่ 92.5% ที่เหลือจะเป็นแร่ชนิดอื่นผสมอยู่ ใช้ทำเครื่องดนตรีที่ให้เสียงไพเราะและมีราคาแพง ใช้ทำเหรียญตราต่างๆ ฯลฯ แม้แต่การถ่ายรูปยังใช้แร่เงินในอุตสาหกรรมฟิล์มถ่ายรูป/ถ่ายหนังมีการใช้ซิลเวอร์ไนเตรทในการทำฟิล์มและกระดาษพิมพ์รูป ใช้ซิลเวอร์ไอโอดายโปรยลงบนก้อนเมฆเพื่อทำฝนเทียม

สมัยก่อนมีการใช้โลหะเงินเป็นยาอีกด้วย ฮิปโปเครติสเคยเขียนไว้ว่าโลหะเงิน สามารถป้องกันและรักษาโรคบางอย่างได้ ชาวฟีนีเชี่ยนเก็บน้ำ เหล้าไวน์ น้ำส้มสายชูไว้ในภาชนะที่ทำด้วยเงิน เมื่อไม่นานมานี้ในปีค.ศ.1900ยัง เชื่อว่าการเอาเหรียญเงินบริสุทธ์ใส่ลงไปในขวดนมสดจะทำให้เก็บไว้ได้นาน ความเชื่อเช่นนี้ยังมีอยู่ในปัจจุบันและก็ยังเชื่อว่าเงินรักษาและป้องกัน โรคได้หลายอย่าง เงินเป็นแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์เช่นกันช่วยในการหมุนเวียนของโลหิต แต่ถ้ามีมากเกินไปจะเกิดการสะสมที่เนื้อเยื่อใน

ร่างกายอาจทำให้ผิวหนัง บริเวณตาและเนื้อเยื่ออ่อนๆมีสีเขียวอมเทาเรียกว่าโรค Agyria ได้แต่พบไม่ค่อยบ่อยนัก

สำหรับ ในประเทศไทย การทำเครื่องเงินมีมาตั้งแต่สมัยสุโขทัย โดยเฉพาะเครื่องประดับเงินในสมัยอยุธยา จะเป็นเครื่องประดับสำหรับชนชั้นกลาง แต่ถ้าเป็นเครื่องเงินที่ใช้เป็นภาชนะใส่ของจะเป็นของใช้สำหรับชนชั้นสูง โดยเฉพาะเจ้าเมืองทางเหนือ

โลหะเงินที่เรารู้จักกันนั้น มีที่มาทั้งจากที่เป็นสินแร่เงินโดยตรง เช่น เป็นเกล็ดเล็กๆ หรือเป็นเลนปนในดินหินทราย เป็นก้อนเงินบริสุทธิ์ และทั้งที่เป็นสารประกอบปนอยู่ในแร่อื่นๆ ในอดีตเราอาจทำโลหะเงินจากแร่เงินโดยตรง แต่ปัจจุบันแร่ที่ให้โลหะเงินโดยตรงเกือบไม่มีแล้ว ต้องใช้วิธีแยกโลหะออกจากการถลุงโลหะอื่น เช่น ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง เป็นต้น

ไม่น่าเชื่อว่าเงินนั้นอาจตีแผ่เป็นแผ่นได้บางถึง 0.00001 นิ้ว เงินหนัก 0.06 กรัมสามารถดึงให้ยาวได้ถึง 400 ฟุต

นอกจากนั้นเงินยังเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีที่สุด ต่อต้านการกัดผุได้แทบทุกชนิด ทนทานต่อการกัดของกรดน้ำส้มได้เป็นพิเศษ แต่ควันหรืออากาศที่มีธาตุกำมะถันผสมจะจับผิวให้คล้ำคำจนมองไม่เห็นเนื้อเงิน

เงินมีประโยชน์มากมายหลายอย่าง ในทางอุตสาหกรรมเงินผสมโลหะอื่นใช้ในการเชื่อมต่อ ใช้ทำส่วนประกอบเครื่องกลต่างๆ และยังใช้เป็นสารประกอบในการทำฟิล์มอีกด้วย ในวงการแพทย์เงินเป็นตัวกันไม่ให้แผลเน่า ใช้ป้องกันสมองแทนชิ้นส่วนของกะโหลกศีรษะที่ถูกตัดทิ้ง ใช้ตามกระดูก ใช้ผสมปรอทและอื่นๆสำหรับอุดฟันได้ดีมาก

เงินหรือโลหะเงินที่เรารู้จักกันนั้นเป็นทั้งเงินบริสุทธิ์ 100% และเงินผสมเพื่อความแข็งแกร่งในการทำรูปพรรณ เงินที่น่าจะกล่าวถึงในที่นี้มี 2 อย่างคือ เงินสเตอร์ลิง (Sterling) หมายถึง เงินที่มีทองแดงผสมไม่เกิน 7.5% เป็นมาตรฐานสากลของเครื่องเงินที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ทั่วไป และเงินอีกชนิดซึ่งความจริงไม่ใช่เงิน คือ เงินเยอรมัน เป็นเงินเทียมที่ประกอบด้วยทองแดงและนิกเกิล ไม่มีเนื้อเงินเลย

วิธีพิสูจน์ความบริสุทธิ์ของเงินนั้น สมัยก่อนใช้ขูดหรือบากเนื้อเงินลงไปดื้อๆ ดังจะเห็นได้จากรอยบากที่เงินพดด้วง แต่สมัยนี้ใช้น้ำกรดดินประสิว ถ้าเป็นเงิน 100% ก็จะขาวนวลไม่เปลี่ยนแปลงถ้าเป็นเงิน 92.5% จะมีสีเขียวนิดๆ ถ้าปลอมปนมากก็จะเขียวมากตามสัดส่วน

เงินแท้บริสุทธิ์นั้น เมื่อถูกควันบางชนิดจะดำดังได้กล่าวแล้วเงินไม่บริสุทธิ์ที่ผสมโลหะอื่นมากเกินมาตรฐานนั้นเมื่อทิ้งไว้จะไม่ดำแบบเงินแท้ แต่จะออกเหลืองหรือแดงตามสีโลหะที่ผสม เงินที่เก็บไว้อย่างมิดชิดในตู้ที่ปิดแน่นหรือในถุงพลาสติกจึงไม่ดำง่าย แต่ความดำของเงินนั้นสามารถล้างออกได้หลายวิธี เช่น ต้มน้ำร้อนบีบมะนาว ขัดถูด้วย แป้งดินสอพอง ใช้น้ำยาหรือครีมขัดโลหะหรือล้างด้วยกรด ซึ่งวิธีนี้จะขาวขุ่นมากเกินไป

สำหรับนิกเกิลซึ่งมีสีขาววาวคล้ายเงินนั้น เป็นโลหะเนื้อแข็งไม่มีราคา จึงมักจะถูกนำมาใช้แทนเงินในกรณีที่ต้องการทำสิ่งของราคาถูก เช่น เครื่องประดับหรืออื่นๆ แต่นิกเกิลนั้นมีความใสวาวมากกว่าเงินแท้ซึ่งขาวนวลมากกว่า

ไทยไม่มีแร่เงินของตนเอง แต่โบราณสมัยที่ยังใช้โลหะเงินทำเป็นเงินตรา เราก็นำโลหะเงินเข้ามาจากจีนโดยแลกกับข้าว ต่อมาเมื่อเริ่มใช้เหรียญกษาปณ์ พวกเงินตราเก่าๆ ก็กลายเป็นที่มาของเงินที่นำมาหลอมสกัดเอาเนื้อเงินมาทำเครื่องใช้ จนแม้ไม่นานมานี้เหรียญเงินรูปีบ้าง เหรียญเงินอินโดจีนบ้าง ก็ยังเป็นเนื้อเงินหลักของช่างทำเงิน

ในปัจจุบัน เหรียญเก่าๆ เกือบไม่มีแล้ว ความต้องการโลหะเงินมาใช้ในลักษณะสินค้าส่งออกมีมากขึ้น เงินแท่งจากที่ต่างๆ ทั้งพม่าและตามแนวชายแดนต่างๆ เป็นที่มาสำคัญ กิจการขนาดเล็กจะหาเงินจากร้านค้าทองในรูปแบบของเงินแท่งบ้าง เงินบริสุทธิ์เป็นเม็ดๆ บ้าง หรือเป็นแผ่นตามมาตรฐานความหนาบางและความบริสุทธิ์เท่าที่ต้องการ กิจการใหญ่ๆ ต้องสั่งเข้าเนื้อเงินบริสุทธิ์เป็นเม็ดๆ จากต่างประเทศโดยตรงเช่นจากสวิสและอื่นๆ ระบบภาษีและมาตรการทางศุลกากรมีผลต่อราคาเครื่องเงินเป็นอย่างมาก

2) เงิน 92.5%

ภาพประกอบ 23 โลหะเงิน 925

เงิน 92.5% หรือ Sterling Silver คือ โลหะผสมเงินที่มีส่วนผสมของเงินอยู่ 92.5% ที่เหลือ 7.5% จะเป็นแร่ชนิดอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะเป็นแร่ทองแดง ในวงการเครื่องประดับจำเป็นต้องใช้เงิน 92.5% ในการผลิตสินค้า สาเหตุเนื่องมาจากเงินแท้ 100% จะมีความอ่อนตัว ไม่แข็งแรงทนทาน ดังนั้นจึงต้องใช้โลหะเงินผสมในการทำ โดยปัจจุบันนี้ เงิน 92.5% เป็นมาตรฐานสากลทั่วโลกในการทำเครื่องประดับ

คำว่าสเตอร์ริง มาจากชื่อ เอสเตอร์ริง (Estering) ซึ่งเป็นชื่อของบริษัท Eastern Germans ที่ได้รับการว่าจ้างจากพระเจ้าเฮนรี่ที่ 2 ของอังกฤษ ในการผลิตเหรียญกษาปณ์ในศตวรรษที่ 12 และบางครั้งสเตอร์ริงก็จะหมายถึงเงินบริสุทธิ์ 92.5 % คอยน์ซิลเวอร์ (COINSILVER) คือเหรียญที่ทำด้วยโลหะเงินผสม ก่อนปี ค.ศ. 1966

สหรัฐอเมริกาได้นำโลหะเงินมาผลิตเหรียญกษาปณ์มาใช้ในประเทศ โดยใช้เงินบริสุทธิ์ผสม 90% และทองแดง 10% แต่ในปัจจุบันในสหรัฐอเมริกาใช้เงินบริสุทธิ์เพียง 40% เท่านั้น โลหะเงินได้นำมาใช้ทำเครื่องประดับเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีต่างๆ ของมัน เป็นโลหะมีค่าที่ราคาไม่แพง แต่เมื่อผลิตแล้วจะสามารถจำหน่ายได้ด้วย คุณค่าของเครื่องประดับนั้นๆ

ในวงการเครื่องประดับ เครื่องประดับเงินถือว่าเป็น”เครื่องประดับเทียม” เนื่องจากเงินเป็นวัสดุที่มีราคาถูก แต่หากประดับด้วยอัญมณีแท้แล้ว (มักจะเป็นพลอยเนื้ออ่อน)จะเรียกว่าเป็น “เครื่องประดับแท้”

เครื่องประดับเงินเป็นที่นิยมกันมากในประเทศญี่ปุ่น โดยบริษัทเครื่องประดับหลายๆ แห่งในประเทศไทย ก็ได้ทำงานเหล่านี้ส่งออกไปขายครับ โดยมากมันจะเป็นงานสไตล์ Street ware เป็นส่วนใหญ่

ซึ่งสีดำที่เห็นอยู่ในเครื่องประดับ เป็นการนำกำมะถันมาต้มให้อุ่น แล้วนำมาแต้มที่ชิ้นงานเพื่อให้เป็นสีดำ เหมือนที่เราไปเที่ยวน้ำพุร้อนแล้ว เครื่องประดับเงินของเราเปลี่ยนสีกลายเป็นสีดำ

3) คุณสมบัติทั่วไปทางกายภาพโลหะเงิน

- คุณสมบัติทางฟิสิกส์ เงินเป็นโลหะที่เสถียรมาก มีสมบัติอยู่ระหว่างกลางของทองแดง และทองคำ มักเกิดเป็นเส้นแผ่นบาง ๆ คล้ายกิ่งไม้และเป็นก้อน สีขาวหรือเหลืองซีด สีผงละเอียดสีขาวเงิน แต่มักมัวเป็นสีน้ำตาลหรือสีเทาดา ความถ่วงจำเพาะ 10.5 ความแข็ง 2.5-3 สามารถทุบเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ เนื้อโลหะมีความวาว

- คุณสมบัติทางเคมี สูตรเคมี Ag มักปนกับทองและทองแดง ละลายในกรด HNO ถ้ากรด HCI จะให้ตะกอนขาว (AgCI) แต่ถ้าทิ้งไว้จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงละลายใน NH OH

- คุณสมบัติทางกลของเงิน โลหะผสมระหว่างเงินและทองแดงที่ใช้ในการค้าส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงไฮโปยูเทคติค ซึ่งมีปริมาณทองคำต่ำกว่า 28.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยโลหะผสมเงินและทองแดงที่ใช้กันมานานอย่างกว้างขวาง คือ โลหะสเตอร์ริงที่มีส่วนผสมของเงินบริสุทธิ์ 92.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและที่เหลือ 7.5

- ลักษณะเด่น ทุบด้วยค้อนตีเป็นแผ่นและดึงเป็นเส้นได้ง่าย ถ้าผิวมัวหมองจะมีสีคล้ำ คะเนด้วยมือจะรู้ว่าหนักพอควร

- จุดหลอมเหลวของเงิน เงินบริสุทธิ์ มีจุดหลอมเหลว 961 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,210 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 10.49 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและจะมีความหนาแน่นลงลง เมื่อได้รับความร้อนธาตุเงินมีโครงสร้างผลึกแบบ FCC (Face – Centered cubic) ส่วนเงินสเตอร์ลิงมีจุดหลอมเหลว 896 องศาเซลเซียส

- ประโยชน์ ในสมัยโบราณใช้ทำภาชนะต่าง ๆ เพราะเงินสามารถทำเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ง่ายและสึกกร่อนได้ยาก แต่สำหรับเครื่องใช้ที่ทำด้วยเงิน ผิวเงินจะกลายเป็นสีดำได้ง่าย เนื่องจากมีกำมะถันอยู่ในอากาศมาก ปัจจุบันใช้ทำดลหะผสมเพื่อทำเครื่องประดับในวงการอัญมณี เงินที่ใช้ในการทำเครื่องประดับทั่วไป คือ เงิน 92.5% หรือเงินสเตอร์ริงนั่นเอง จะมีสีเขียวนิด ๆ ซึ่งมีส่วนผสมของเงินบริสุทธิ์ 92.5% และทองแดง 7.5% ทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ยังคงมีความอ่อนตัวอยู่ทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่าย จึงเป็นที่นิยมนำมาทำเครื่องประดับ และใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าเพราะเงินบริสุทธิ์สามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีที่สุด แต่เนื่องจากมีราคาแพงจึงไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ในด้านนี้มากนัก

- การทดสอบโลหะเงินให้ตะไบชิ้นงานให้เป็นรอยบากและหยดกรดไนตริกลงไปแล้วสังเกตผลของปฏิกิริยาดังนี้

เงินสเตอร์ริง จะกลายเป็นสีครีมมัว
นิกเกิลซิลเวอร์ จะกลายเป็นสีเขียว
คอยน์ซิลเวอร์ จะกลายเป็นสีดำ

โลหะเงินเมื่อจุ่มลงในกรดซัลฟูริกที่ร้อนจะเป็นสีขาววาว ขณะที่นิกเกิลซิลเวอร์จะเป็นสีเท่ามืด ๆ นอกจากนี้สเตอร์ริงซิลเวอร์ เมื่อเผาให้ร้อนจะเป็นสีแดงและเมื่อเย็นลงจะเป็นสีขาว ขณะที่คอยน์ซิลเวอร์เมื่อเย็นลงจะเป็นสีดำ จุดหลอมเหลวของโลหะเงิน

เงินบริสุทธิ์	961 องศาเซลเซียส
สเตอร์ริงซิลเวอร์	896 องศาเซลเซียส
คอยน์ซิลเวอร์	879 องศาเซลเซียส

4) ค่าความบริสุทธิ์ของเงิน (Ag)

เงิน 1000 ส่วน เทียบเป็น 100 % เงิน925ส่วน เทียบเป็น 92.5 % หรือเรียกว่า Sterling Silver ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานที่ขายกันทั่วโลก

ตัวเลขที่บอกค่าความบริสุทธิ์ของ Pt บนตัวเรือนเครื่องประดับ

SV999, SV925, SV500 ใช้กัน เป็นสากลนิยมทั่วไปหากมี % ความบริสุทธิ์ต่ำกว่า 50 จะไม่ เรียกเป็นเงิน

และมีบทความมากมายทำทายว่า อนาคต เงินจะมีค่าแพงมากกว่า ทอง เนื่องด้วยการค้นพบที่ยากขึ้น และประชากรที่มากขึ้นทำให้ความต้องการในการบริโภคมากขึ้น และเหมาะในการลงทุนในอนาคต เช่นเดียวกับทองคำ

5) ข้อดีและข้อเสีย

เงินแท้ที่ไม่ต้องชุบ อาจจะหมอง หรือดำง่าย แต่ก็เป็นคุณสมบัติพื้นฐานของเงิน ที่จะทำปฏิกิริยากับอากาศได้ง่าย โดยเฉพาะอากาศในเมืองไทย ที่ร้อนชื้น แต่ไม่ต้องเป็นกังวลเงินแท้ ดูแลง่ายมาก ล้างด้วยน้ำยาล้างจานที่มีส่วนผสมของน้ำมะนาว แช่น้ำอุ่นไว้ และใช้แปรงอ่อน แปรงทำความสะอาดก็สามารถขจัดคราบดำที่ผิวออกได้หมด นอกจากนี้เงินแท้จะไม่ระคายเคืองกับผิว เป็น hypoallergenic ยกเว้นเงินที่ผ่านการชุบ โรเดียม หรือนิเกิล อาจทำให้ผิวระคายเคืองได้สำหรับคนที่เป็นโรคภูมิแพ้ แต่ปัจจุบันมีการหลีกเลี่ยงการชุบที่ทำให้เกิดอาการแพ้ โดยเปลี่ยนไปปรับปรุงส่วนผสมของเงิน ก่อนขึ้นรูป ให้ป้องกันการหมองและดำ(http://en.wikipedia.org, http://www.swu.ac.th, http://www.oknation.net, http://th.wikipedia.org)

3. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพ็ญศรี ทองนพคุณ วิจัยเรื่อง การวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการหล่อในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ

ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ กระบวนการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับที่สำคัญ คือการหล่อ (casting) โดยวิธีที่เป็นที่นิยมใช้กัน ได้แก่ การหล่อแบบอินเวสต์เมนต์ (investment casting) หรือการหล่อแทนขี้ผึ้ง (lost – wax casting) มักพบประเด็นปัญหาพิเศษเฉพาะในเรื่องของเสีย เช่น ผิวชิ้นงานเครื่องประดับไม่ผุดผ่อง มัวหมอง ผิวงานผุ เป็นรูตามด ผิวงานเป็นคราบน้ำ เป็นต้น โดยประเด็นปัญหาเหล่านี้ ไม่มีการวิเคราะห์หาสาเหตุอย่างจริงจัง จะเป็นการทำงานประจำวันของผู้ผลิตที่แก้ปัญหาเฉพาะหน้า เมื่อมีของเสียจากกระบวนการหล่อ ก็นำมาหล่อใหม่ โดยไม่คำนึงถึงต้นทุนแรงงาน พลังงาน และเวลาที่เพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาสภาพการผลิต ปัญหาการผลิต ข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการหล่อ ของสถานประกอบการอุตสาหกรรมที่เป็นกลุ่มตัวอย่างการวิจัย 40 ราย เพื่อที่จะวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางในการแก้ไขปัญหาการผลิตและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานการผลิต ในแต่ละกรณีตามสภาวะแวดล้อมของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมแต่ละราย เพื่อนำไปดำเนินการแก้ไขให้ได้ผล และรวบรวมปัญหาการผลิต ข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิต ตลอดจนแนวทางการแก้ไข รวมทั้งจัดทำตัวอย่างกรณีศึกษา สำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาชิ้นงานหล่อที่เกิดขึ้น และเป็นแนวคิดในการหาทางป้องกันปัญหาข้อบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อลดของเสีย ลดต้นทุนการผลิต และพัฒนาคุณภาพชิ้นงาน ซึ่งเป็นการพัฒนากระบวนการหล่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากผลการวิจัยพบว่า ปัญหาการผลิตส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นหลัก ปัญหาบุคลากร ปัญหาเครื่องจักร/อุปกรณ์ และปัญหาวัตถุดิบ เป็นปัญหา

อันดับรองลงมาตามลำดับ โดยปัญหากระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาหลัก คือ การทำแม่พิมพ์หล่อและการหล่อโลหะ กรณีการฉีดเทียนและติดต้น การทำต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง เป็นปัญหาลำดับรองลงมาตามลำดับ สำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตที่พบมาก เป็นข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานหล่อ มีถึง 12 ลักษณะ ข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานเทียน 6 ลักษณะ และข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง 2 ลักษณะ โดยข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละลักษณะ อาจเกิดจากสาเหตุหลากหลายกรณี รวมทั้งได้จัดทำตัวอย่างกรณีศึกษาสำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตลักษณะต่าง ๆ รวม 25 กรณีศึกษา ในงานวิจัยนี้

รองศาสตราจารย์สมนึก วัฒนศรียกุล และคณะ วิจัยเรื่องศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของสังกะสีที่มีผลต่อคุณภาพงานหล่อตัวเรือนเครื่องประดับโลหะเงิน

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาวิเคราะห์ปริมาณของสังกะสีและอุณหภูมิของน้ำโลหะที่มีผลต่อการเกิดสิ่งบกพร่องในงานหล่อโลหะเงินเจือทองแดง - สังกะสี โดยเป็นการใช้เทคนิคหล่อเหวี่ยงด้วยเตาหล่อเหวี่ยงแบบสัมผัสบรรยากาศปกติที่ให้ความร้อนด้วยหัวเผา (Torch) การศึกษาวิจัยนี้เป็นการหลอมโลหะเงิน + ทองแดง (5%) คงที่+สังกะสีแปรผันที่อัตราส่วนผสมต่างๆ เพื่อนำมาทำการทดลองหล่อเหวี่ยงขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 950, 1000 และ1050 องศาเซลเซียส โดยให้ความเร็วรอบหล่อเหวี่ยงและมุมทางเดินน้ำโลหะที่ทำกับรูเทเป็นตัวแปรคงที่ ชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปนี้จะนำไปศึกษาวิเคราะห์และตรวจสอบข้อบกพร่องภายนอกและภายใน การทดสอบหาส่วนผสมทางเคมี การทดสอบหาค่าความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคผลการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของปริมาณการผสมสังกะสีที่มีผลต่อแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่องภายนอกสภาพหล่อขึ้นรูป และข้อบกพร่องภายในสภาพหลังขัดเงา พบว่า ปริมาณการผสมสังกะสีตั้งแต่ 2.0 wt% - 2.5 wt% มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดข้อบกพร่องทั้งภายนอกสภาพหล่อขึ้นรูปและภายในสภาพหลังขัดเงา มีแนวโน้มลดลงมาก ยกเว้นการเกิดโพรงอากาศของชิ้นทดสอบ ซึ่งพบว่าการเกิดข้อบกพร่องที่ผิวของชิ้นงานทั้งสภาพหล่อขึ้นรูปและหลังขัดเงา มีเปอร์เซ็นต์การตรวจพบใกล้เคียงกัน และสำหรับผลการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่องภายนอกสภาพหล่อขึ้นรูป และข้อบกพร่องภายในสภาพหลังขัดเงา พบว่าชิ้นทดสอบที่มีปริมาณการผสมสังกะสีทุกอัตราส่วนผสม ของทุกอุณหภูมิหล่อ มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดข้อบกพร่องที่ผิวของชิ้นงานทั้งสภาพหล่อขึ้นรูปและหลังขัดเงา ลักษณะต่างๆใกล้เคียงกัน สังกะสีสามารถละลายในเงินได้ในลักษณะสารละลายของแข็ง แต่เพิ่มความแข็งให้กับโลหะเงินสเตอร์ลิงได้ไม่มากนัก เนื่องจากปริมาณของสังกะสีที่ผสมอยู่ในชิ้นทดสอบมีปริมาณเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 0 - 1.97%wt เท่านั้น สำหรับโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปมีลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรท์ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรน ที่เกิดจากการเย็นตัวในสภาวะที่เร็วกว่าสมดุล และนอกจากนี้เม็ดเกรนที่ได้ยังมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งผลให้ส่วนผสมภายในไม่สม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบนี้มีผลทำให้สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบไม่ดีเท่าที่ควร

อภิรัฐ โกสิตานนท์ และคณะ วิจัยเรื่องอิทธิพลของอุณหภูมิหล่อและความเร็วรอบในการเหวี่ยงที่มีผลต่อความสามารถในการไหลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะสังกะสีผสมในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิหล่อและความเร็วรอบในการเหวี่ยงที่มีผลต่อความสามารถในการไหลและโครงสร้างจุลภาคในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงของโลหะสังกะสีผสม Zn-4.0Al-3.1Cu-0.5Mg ในการทดลองออกแบบแม่พิมพ์เป็นรูปเกลียววนแบบขดหอย (Spiral

Test) ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิหล่อที่ 420, 440, 460 และ 480 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการเหวี่ยง 200, 300, 400 และ 500 รอบต่อนาที

ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิหล่อ 480 องศาเซลเซล และความเร็วรอบในการเหวี่ยง 500 รอบต่อนาที ทำให้โลหะหลอมเหลวไหลไปได้ไกลที่สุด การเพิ่มอุณหภูมิหล่อส่งผลให้มีระยะห่างของแขนเดนไดรต์มากขึ้นในขณะที่การเพิ่มแรงเหวี่ยงไม่ส่งผลต่อระยะห่างของแขนเดนไดรต์ สรุปได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิหล่อส่งผลให้ความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวมากขึ้น และระยะห่างของแขนเดนไดรต์มีขนาดมากขึ้น ส่วนการเพิ่มความเร็วในการเหวี่ยงส่งผลให้ความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวมากขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อระยะห่างของแขนเดนไดรต์

บรรเลง ศรนิล วิจัยเรื่องการพัฒนาการหล่อโลหะให้ผิวเรียบโดยกรรมวิธี Lost Foam

เนื่องจากประเทศไทยประสบปัญหาขาดดุลย์การค้าเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการนำเข้าสินค้าทุน อันได้แก่ เครื่องมือ เครื่องจักรกล มาใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ มีเครื่องมือเครื่องจักรกลหลายรายการที่น่าจะสามารถผลิตขึ้นใช้เองในประเทศ และสามารถพัฒนาต่อไปเป็นสินค้าส่งออกได้ ปัญหาสำคัญในการผลิตเครื่องจักรกล ก็คือ การผลิตชิ้นส่วนประกอบให้มีความละเอียดแม่นยำ และต้นทุนต่ำ มีชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหลายรายการสามารถผลิตได้โดยการหล่อโลหะ ซึ่งสามารถทำได้รวดเร็ว ประหยัดเวลาในการตัดเฉือน (Machining) แต่คุณภาพในงานหล่อในประเทศไทยในปัจจุบันยังไม่ได้คุณภาพเท่าที่ควร สำหรับงานหล่อผิวเรียบที่ทำกันมาดั้งเดิมใช้กรรมวิธีหล่อขี้ผึ้ง (Lost Wax) หรือ Investment Casting แต่ก็มีปัญหาในเรื่องความคงรูป เนื่องจากอุณหภูมิสูง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเอาโฟมมาทำกระสวนแทนขี้ผึ่ง ซึ่งมีความทนต่ออุณหภูมิได้สูงกว่า มีความคงรูปดีกว่า ซึ่งเรียกว่า หล่อโดยวิธี Lost Foam งานวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาหาเทคนิควิธีที่เหมาะสมในการนำโฟมมาทำกระสวนหล่อผิวเรียบเพื่อนำผลเผยแพร่สู่ภาคอุตสาหกรรมหล่อโลหะต่อไป ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ การ พัฒนาการ หล่อ โลหะ ให้ ผิว เรียบ โดย กรรมวิธี Lost Foam เนื่องจากประเทศไทยประสบปัญหาขาดดุลการค้าเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการนำเข้าสินค้าทุน อันได้แก่ เครื่องมือ เครื่องจักรกล มาใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ มีเครื่องมือเครื่องจักรกลหลายรายการที่น่าจะสามารถผลิตขึ้นใช้เองในประเทศ และสามารถพัฒนาต่อไปเป็นสินค้าส่งออกได้ปัญหาสำคัญในกาผลิตเครื่องจักรกลก็คือ การผลิตชิ้นส่วนประกอบให้มีความละเอียด แม่นยำ และ ต้นทุนต่ำมีชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหลายรายการสามารถผลิตได้โดยการหล่อโลหะซึ่งสามารถทำได้รวดเร็ว ประหยัดเวลาในการตัดเฉือน (Machining) แต่คุณภาพในงานหล่อในประเทศ ไทยในปัจจุบัน ยังไม่ได้คุณภาพเท่าที่ควรสำหรับงานหล่อผิวเรียบที่ทำกันมาดั้งเดิมใช้กรรมวิธีหล่อขี้ผึ้ง (Lost Wax) หรือ Investment Casting แต่ก็มีปัญหาในเรื่องความคงรูป เนื่องจากอุณหภูมิสูง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเอาโฟมมาทำกระสวนแทนขี้ผึ้ง ซึ่งมีความทนต่ออุณหภูมิได้สูงกว่ามีความคงรูปดีกว่า ซึ่งเรียกว่าหล่อโดยวิธี Lost Foam งานวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาหาเทคนิควิธีที่เหมาะสมในการนำโฟมมาทำกระสวนหล่อผิวเรียบเพื่อนำผลเผยแพร่สู่ภาคอุตสาหกรรมหล่อโลหะต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการกลุ่มตัวอย่าง
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ ประชากรที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ แบบร่างเครื่องประดับ แหวนเลี้ยง และกำไลข้อมือ

1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ แบบร่างเครื่องประดับ ที่ได้จากผู้วิจัยในรูปแบบ 2 มิติ ซึ่งประกอบไปด้วย แหวนเกลี้ยง และกำไลข้อมือ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการหล่อในรูปแบบ 3 มิติ ได้จำนวนอย่างละ 15 วง

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประกอบการศึกษาวิจัย โดยมีขั้นตอนการสร้างเครื่องมือดังนี้

2.1 การสัมภาษณ์

ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านรูปแบบเครื่องประดับ และผู้เชี่ยวชาญทางด้านการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ ที่มีชื่อเสียงจำนวน 2 ท่าน เพื่อใช้ในการวิจัยเรื่อง การวิจัยปัญหาในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่ ในประเด็นตามความมุ่งหมายของการวิจัย แบ่งเป็น 2 ประเด็น ดังนี้

ประเด็นที่ 1 รูปแบบของเครื่องประดับที่ใช้ในการหล่อเครื่องประดับ

ประเด็นที่ 2 ปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับ

2.2 การประเมินรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยดำเนินการให้ผู้เชี่ยวชาญเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง รูปแบบที่ออกแบบและได้จากการวิเคราะห์ที่ใช้ทำเครื่องประดับทดลองงานหล่อเพื่อหาปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการหล่อในงานวิจัย

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษา ดังนี้

3.1 เก็บข้อมูลภาคเอกสาร จากการสืบค้นและเก็บรวบรวมข้อมูลเอกสาร จากหนังสือ ตำรา วิชาการ วารสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2 เก็บข้อมูลภาคสนาม จากการลงพื้นที่สำรวจ การสัมภาษณ์ และการถ่ายภาพนิ่ง การถ่ายภาพเคลื่อนไหว และการแจกแบบสอบถาม

4. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคเอกสาร และข้อมูลภาคสนามมาจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับขั้นตอนดังนี้

4.1 นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคเอกสาร มาจัดกระทำข้อมูล

4.2 นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม มาวิเคราะห์และจัดกระทำระบบข้อมูล

4.3 ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีการหล่อเครื่องประดับ

4.4 การวิเคราะห์รูปแบบเครื่องประดับที่ใช้ในการทดลองหล่อ

4.5 การวิเคราะห์วัสดุและวัตถุดิบงานวิจัย

4.6 ปฏิบัติการออกแบบเครื่องประดับจากการวิเคราะห์รูปแบบ และจากการวิเคราะห์วัสดุและวัตถุดิบ

4.7 นำแบบให้ผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์และเลือกรูปแบบ

4.8 นำไปทำการหล่อเป็นชิ้นงานเครื่องประดับเพื่อทดสอบหาปัญหาและข้อบกพร่อง

4.9 วิเคราะห์หาปัญหาที่เกิดในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับ

4.10 สร้างแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อรูปแบบเครื่องประดับ

4.11 สร้างแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เรื่อง การวิจัยปัญหาในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่

4.12 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

บทที่ 4
การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการออกแบบเครื่องประดับ วิเคราะห์หาปัญหาที่เกิดจากการหล่อ และพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่ ตามความมุ่งหมายที่วางไว้ข้างต้น

1. วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องประดับรูปแบบเครื่องประดับ จากการเก็บรวบรวมภาคสนาม โดยการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบเครื่องประดับ (Designer) ซึ่งมีประสบการณ์เป็นเวลากว่า 10-30 ปี จำนวน 4 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญทางด้านการหล่อเครื่องประดับ ซึ่งมีประสบการณ์ในการหล่อเครื่องประดับเป็นเวลากว่า 20 ปี โดยวิเคราะห์ข้อมูลตามความมุ่งหมายของการวิจัย แล้วนำเสนอข้อมูลเชิงบรรยาย และทำการวิเคราะห์รูปแบบต่างๆ โดยแบ่งออกเป็นประเภทของเครื่องประดับที่มีจำนวนในการวิเคราะห์แบบรวมทั้งหมด 30 วง ในเชิงลึก 2 ประเด็นดังนี้
   1.1 ด้านรูปแบบของเครื่องประดับที่ใช้ในการหล่อเครื่องประดับ
   1.2 ด้านปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับ
2. วิเคราะห์วัสดุที่ใช้ทำเครื่องประดับในงานวิจัย คือ ทองแดง ทองเหลือง และเงินบริสุทธิ์
3. ออกแบบเครื่องประดับที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์รูปแบบ กระบวนการวิเคราะห์ด้านวัสดุ
4. ทำการหล่อเป็นชิ้นงานเครื่องประดับเพื่อทดสอบหาปัญหาและข้อบกพร่อง
5. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องประดับที่ทำการหล่อเป็นชิ้นงานเครื่องประดับเพื่อหาปัญหาและข้อบกพร่อง
6. วิเคราะห์หาปัญหาที่เกิดในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับ

1. วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องประดับจากการเก็บรวบรวมภาคสนาม โดยการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview)

ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์นักออกแบบเครื่องประดับที่มีชื่อเสียงของประเทศไทย ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ฉลอง อาชวากร ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบเครื่องประดับมากกว่า 30 ปี ซึ่งได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องประดับสมัยใหม่ และนางเพ็ญศรี ทองนพคุณ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการหล่อเครื่องประดับ ซึ่งได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องประดับที่จะทำการทดลองหล่อเพื่อวิเคราะห์หาปัญหาและพัฒนาแนวทางในการแก้ไขปัญหาในงานหล่อ ในประเด็นตามจุดมุ่งหมายของการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1.1 ด้านรูปแบบของเครื่องประดับที่ใช้ในการหล่อเครื่องประดับ

อาจารย์ฉลอง อาชวากร ได้กล่าวไว้ว่า เครื่องประดับสมัยใหม่สามารถออกแบบได้ หลายประเภท โดยอาศัยการจัดองค์ประกอบที่ลงตัว จะต้องคำนึงถึงวัตถุดิบและความเป็นไปได้ในขั้นตอนการผลิต (การหล่อ) จากนั้นจะใช้ศิลปะเข้ามาช่วยในการออกแบบ หรือเริ่มต้นด้วยความคิด จากนั้นก็เรื่องของรูปทรงต่างๆ และขั้นตอนสุดท้าย ก็จะเป็นขั้นตอนการผลิต (การหล่อ) ว่ามันควรจะออกมาในรูปแบบไหนที่จะทำให้งานนั้นดูลงตัวมากที่สุด และมีปัญหาในขั้นการผลิต (การหล่อ) น้อยที่สุด

นางเพ็ญศรี ทองนพคุณ ได้กล่าวไว้ว่า การออกแบบเครื่องประดับควรออกมาเป็นแบบเรียบๆ ไม่ซับซ้อนจนเกินไปมีความเป็นไปได้มากในขั้นตอนการผลิต สามารถนำไปผลิตเป็นเครื่องประดับได้จริงและมีปัญหาในขั้นการผลิต (การหล่อ) น้อยที่สุด ซึ่งในการผลิตเครื่องประดับจะต้องออกแบบเครื่องประดับโดยคำนึงถึงการผลิต (การหล่อ) ด้วยการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์แบบง่าย ประหยัดเนื้อวัสดุ

ด้านลวดลายของเครื่องประดับไม่ควรมีลวดลาย และไม่ควรซับซ้อนจนเกินไปจะทำให้เครื่องประดับอาจเกิดปัญหาหลายอย่างในขั้นการผลิต (การหล่อ) ได้

วัสดุและวัตถุดิบที่ใช้

จากการสัมภาษณ์การเลือกใช้วัสดุหรือวัตถุดิบในการทำเครื่องประดับสมัยใหม่นั้นส่วนใหญ่จะใช้วัสดุที่มีค่าประเภท เนื้อเงินบริสุทธิ์ ในการทำเครื่องประดับ โลหะเงินที่ใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์ของเนื้อเงินไม่น้อยกว่า 92.5% มีโลหะอื่นผสมอยู่ได้แต่ต้องไม่เกิน 7.5%

1.2 ด้านปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับ

ปัญหาการผลิตส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นหลัก ปัญหาบุคลากร ปัญหาเครื่องจักร/อุปกรณ์ และปัญหาวัตถุดิบ เป็นปัญหาอันดับรองลงมาตามลำดับ โดยปัญหากระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาหลัก คือ การทำแม่พิมพ์หล่อและการหล่อโลหะ กรณีการฉีดเทียนและติดต้น การทำต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง เป็นปัญหาลำดับรองลงมาตามลำดับ สำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตที่พบมาก เป็นข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานหล่อ มีถึง 12 ลักษณะ ข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานเทียน 6 ลักษณะ และข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง 2 ลักษณะ โดยข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละลักษณะ อาจเกิดจากสาเหตุหลากหลายกรณี

2. การวิเคราะห์วัสดุต่างๆ และวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

2.1 การวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

2.1.1 จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์วัสดุและวัตถุดิบ คือ ทองแดง ทองเหลือง เงินบริสุทธิ์ เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องประดับ และทำการหล่อเป็นชิ้นงานเครื่องประดับเพื่อทดสอบหาปัญหาและข้อบกพร่อง ดังนี้

2.1.2 ทองเหลือง

ทองเหลือง เป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงและสังกะสี ซึ่งสังกะสีจะละลายในทองแดงได้ โดยให้สารละลายเป็นของแข็ง ปริมาณของสังกะสีที่สามารถละลายได้อยู่ที่ 39% ทองเหลืองแต่ละชนิดที่ทำการผลิตออกมาจะมีปริมาณในการผสมสังกะสีลงไปแตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต โดยคุณสมบัติของทองเหลืองที่ดีคือ มีความแข็งแรง ทนทาน มีความเหนียว สามารถทนต่อการถูกกัดกร่อน และทุกสภาพอากาศ อีกทั้งรอยขีดข่วนจากการใช้งานปกติของทองเหลืองด้วย สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตได้แบ่งทองเหลือง ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ทองเหลืองประเภทรีดเป็นแท่ง หรือทองเหลืองประเภทรีดเป็นแผ่น และทองเหลืองประเภทหล่อ ทองเหลืองทั้งสองประเภทนี้สามารถแยกคุณภาพและคุณสมบัติเชิงกลออกได้ตามรายละเอียดคู่มือ ASTM (American Society for Testing and Materials) หรือ JIS (Japanese Industrial-Standards) ที่เป็นมาตรฐานภายใต้ข้อกำหนดที่ตกลงร่วมกันระหว่างผู้ผลิตทองเหลืองภายในประเทศและต่างประเทศเพื่อเป็นการสร้างความเข้าใจให้ตรงกัน ทั้งเรื่องคุณภาพ รูปร่าง น้ำหนัก ฯลฯ ทั้งนี้คุณสามารถขอคำแนะนำเกี่ยวกับทองเหลืองได้ตามแหล่งซื้อขายทองเหลืองทั่วไป ได้แก่ ร้านขายทองเหลือง ร้านรับหล่อทองเหลือง ร้านขายแผ่นทองเหลือง บริษัทรับหล่อทองเหลือง ร้านขาย

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากทองเหลือง ร้านขายเครื่องทองเหลือง ร้านขายฉนวนทองเหลือง ร้านขายทองแดง ร้านขายสังกะสี เป็นต้น (ได้รับความสนับสนุนเนื้อหาจาก : Pirun.ku.ac.th)

2.1.2 ทองแดง

ทองแดงนั้นเป็นโลหะที่มีคุณประโยชน์นานัปการ โดยเฉพาะทองแดงในวงการของอุตสาหกรรม เช่น สายลวดทองแดง เครื่องจักรต่างๆ ฯลฯ บทบาทของทองแดงกับเครื่องประดับอาจจะไม่เป็นที่ประจักษ์ชัด แต่หลายคนอาจลืมไปว่า โลหะผสมมีค่าหลายชนิด มีทองแดงเป็นส่วนประกอบสำคัญที่จะขาดไปไม่ได้

- นาก ลักษณะเด่นของนาก คือมีสีออกทองแดงผสมทอง โดยมีทองคำผสมอยู่ในอัตราประมาณ 37% และนอกจากนั้นจะเป็นส่วนประกอบของทองแดง และเงิน (ทองแดงกับเครื่องประดับ Massaro, Edward J., ed. (2002). Handbook of Copper Pharmacology and Toxicology. Humana Press. ISBN 0-89603-943-9)
- ทองชมพู ลักษณะเด่นของทองชมพู คือจะมีสีสุกใส ทองอมชมพู สีชมพูอ่อน นั้นได้มาจากการผสมทองแดงในสัดส่วนที่น้อยกว่าทองแดงที่ผสมในโลหะนาก โดยใช้ทองเป็นส่วนผสมประมาณ 75% และโลหะอื่น ๆ เป็นลำดับต่อมา ลำดับสุดท้ายคือ ทองแดง
- เรดโกลด์ ลักษณะเด่นของเรดโกลด์ จะคล้ายคลึงกับทองชมพูมาก มีส่วนผสมของโลหะแต่ละชนิดเหมือนกัน โดยปัจจัยหลักที่ทำให้ทองสองชนิดต่างกันคือปริมาณของทองแดง โดยจะเพิ่มทองแดงในอัตราส่วนที่มากกว่าทองชมพู

2.1.3 โลหะเงิน

แร่เงินจะมีสีขาวแข็งกว่าทองเล็กน้อย มีลักษณะทึบ ถ้านำเงินไปขัดเงาจะมีประกายเป็นเงาวับ นอกจากนั้นเงินยังเป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้าได้ดีที่สุดมากกว่าโลหะชนิดอื่น เงินคุณภาพดีต้องมีแร่เงินบริสุทธ์ 99.99% โดยเม็กซิโกเป็นแหล่งผลิตเงินส่งออกมากที่สุดโดยประมาณ 15% ของเงินที่ผลิตได้ในตลาดโลก

เงินหรือโลหะเงินที่เรารู้จักกันนั้นเป็นทั้งเงินบริสุทธิ์ 100% และเงินผสมเพื่อความแข็งแกร่งในการทำรูปพรรณ เงินที่น่าจะกล่าวถึงในที่นี้มี 2 อย่างคือ เงินสเตอร์ลิง (Sterling) หมายถึง เงินที่มีทองแดงผสมไม่เกิน 7.5% เป็นมาตรฐานสากลของเครื่องเงินที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ทั่วไป และเงินอีกชนิดซึ่งความจริงไม่ใช่เงิน คือ เงินเยอรมัน เป็นเงินเทียมที่ประกอบด้วยทองแดงและนิกเกิล ไม่มีเนื้อเงินเลย

เงิน 92.5% หรือ Sterling Silver คือ โลหะผสมเงินที่มีส่วนผสมของเงินอยู่ 92.5% ที่เหลือ 7.5% จะเป็นแร่ชนิดอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะเป็นแร่ทองแดง ในวงการเครื่องประดับจำเป็นต้องใช้เงิน 92.5% ในการผลิตสินค้า สาเหตุเนื่องมาจากเงินแท้ 100% จะมีความอ่อนตัว ไม่แข็งแรงทนทาน ดังนั้นจึงต้องใช้โลหะเงินผสมในการทำ โดยปัจจุบันนี้ เงิน 92.5% เป็นมาตรฐานสากลทั่วโลกในการทำเครื่องประดับ

2.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการประเมินรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยดำเนินการให้ผู้เชี่ยวชาญเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง รูปแบบที่ออกแบบและได้จากการวิเคราะห์ที่ใช้ทำเครื่องประดับทดลองงานหล่อเพื่อหาปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการหล่อในงานวิจัยและได้ทำการสรุปข้อมูลตามประเด็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ออกมาดังนี้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการประเมินรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบเครื่องประดับ (Designer) ซึ่งมีประสบการณ์เป็นเวลากว่า 10-30 ปี จำนวน 4 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญทางด้านการหล่อเครื่องประดับ ซึ่งมีประสบการณ์ในการหล่อเครื่องประดับเป็นเวลากว่า 20 ปี ได้เลือกรูปแบบเครื่องประดับแบบเจาะจงที่จะใช้ในการทดลองหล่อเพื่อหาปัญหาต่างๆ คือ รูปทรงนั้น

จะต้องมีความสวยงาม มีความร่วมสมัย มีความเรียบง่าย และมีความเหมาะสม สามารถตรวจดูเพื่อหาข้อบกพร่อง และหาปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการหล่อเครื่องประดับได้ง่าย และละเอียด

3. การออกแบบเครื่องประดับที่ได้จากศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูล

การออกแบบเครื่องประดับที่จะนำมาทำเป็นต้นแบบการทดลองในงานวิจัย เป็นการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาคเอกสาร และภาคสนาม ตามความมุ่งหมายของงานวิจัยมาออกแบบเป็นเครื่องประดับ และนำเอาแนวคิดทฤษฎีการออกแบบที่ได้จากการศึกษาแนวคิดของ วรรณรัตน์ อินอ่ำ, วัฒนะ จูฑะวิภาต, รุธ นิโวลา ที่มีแนวความคิดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน พอสรุปได้ว่า การออกแบบเครื่องประดับที่ดี เพื่อนำมาทำเป็นต้นแบบการทดลองนั้นจะต้องเน้นที่รูปทรง โดยรูปทรงนั้นจะต้องมีความสวยงาม มีความร่วมสมัย มีความเรียบง่าย และมีความเหมาะสม ดังนั้นผู้วิจัยและออกแบบจึงนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ประกอบกับแนวคิดทฤษฎีที่ได้ศึกษามาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ โดยการออกแบบภาพร่างเพื่อใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างให้ผู้เชี่ยวชาญเลือกรูปแบบเครื่องประดับที่ออกแบบก่อนนำไปผลิตเป็นเครื่องประดับจริง

3.1 รูปแบบเครื่องประดับ (Sketch Design) ที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ การทดลอง และการอิงแนวคิดและทฤษฎีในการออกแบบ

ในการศึกษารูปแบบเครื่องประดับในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สรุปผลในด้านวัสดุที่จะนำมาใช้ทำเครื่องประดับ จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ และจากการศึกษารูปแบบเครื่องประดับที่มีผู้เชี่ยวชาญเลือกคือรูปแบบแหวน เพราะมีรูปแบบที่มีขนาดเหมาะสม ที่จะนำมาทำเป็นต้นแบบการทดลองในงานวิจัย

การออกแบบเครื่องประดับ โดยการนำเอารูปแบบที่ผู้เชี่ยวชาญเลือก มาสร้างเป็นเครื่องประดับเพื่อใช้ในการหล่อ โดยเริ่มจากการร่างเป็นลายเส้นเพื่อให้เห็นรูปร่าง รูปทรง แบบร่างอย่างคร่าวๆ แล้วจึงร่างแบบตั้งแต่รูปเสมือนจริงของชิ้นงาน โดยพยายามสร้างรูปทรงให้เหมาะสมกับการใช้งาน พร้อมทั้งค้นหาความลงตัวของรูปทรงให้เกิดความพอดี

- รูปแบบเครื่องประดับ (Sketch Design) ที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์และการอิงแนวคิดและทฤษฎีในการออกแบบ

ภาพประกอบ 24 รูปแบบเครื่องประดับ (Sketch Design) แหวน

4. การเลือกตัวอย่างโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อรูปแบบเครื่องประดับ

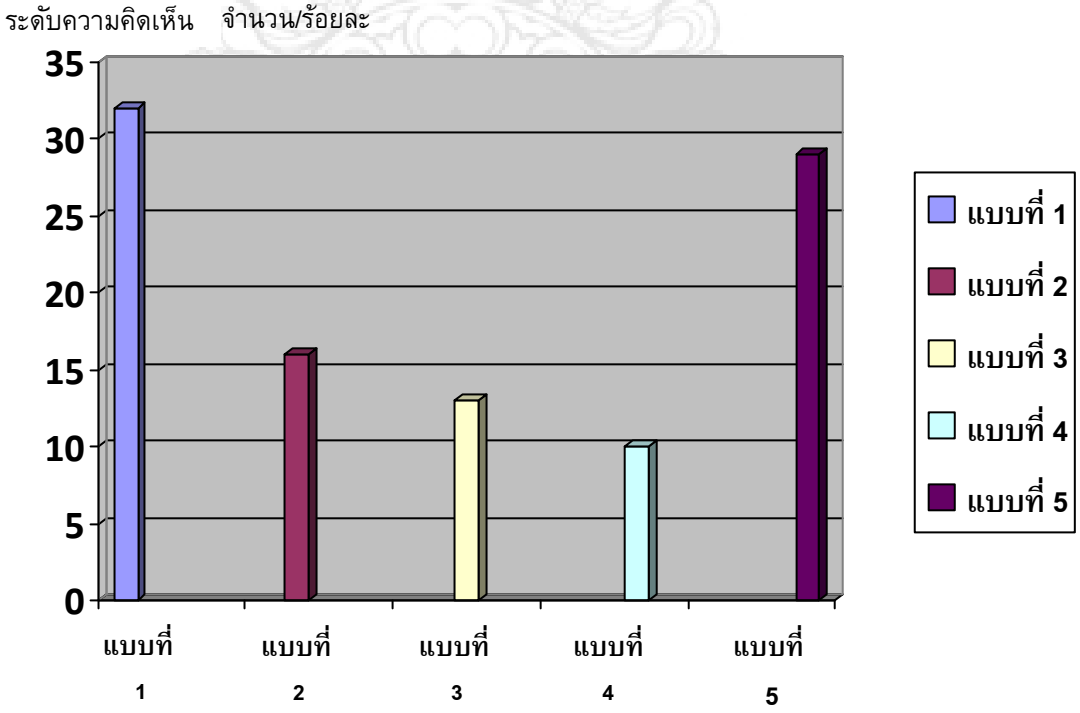
ในการสุ่มเลือกตัวอย่างโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อการออกแบบเครื่องประดับที่ใช้ทำเครื่องประดับทดลองงานหล่อเพื่อหาปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการหล่อในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน เพื่อสุ่มเลือกตัวอย่าง 1 แบบตัวอย่าง จากแบบร่างจำนวน 5 แบบข้างต้น โดยแบบประเมิน ดังนี้

แบบประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับรูปแบบของเครื่องประดับ

ตาราง 1 แสดงจำนวนและร้อยละประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับรูปแบบของเครื่องประดับของผู้ตอบแบบสอบถาม (ผู้เชี่ยวชาญ)

ข้อมูลประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับรูปแบบและลวดลายของเครื่องประดับของผู้ตอบแบบสอบถาม (ผู้เชี่ยวชาญ)	จำนวน	ร้อยละ
แบบที่ 1	32	32.0
แบบที่ 2	16	16.0
แบบที่ 3	13	13.0
แบบที่ 4	10	10.0
แบบที่ 5	29	29.0
รวม	100	100.0

กราฟแสดงจำนวนและร้อยละผลการประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับรูปแบบของเครื่องประดับ



ภาพประกอบ 25 กราฟประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับรูปแบบของเครื่องประดับ

การประเมินรูปแบบและลวดลายของเครื่องประดับ โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญเลือกแบบเครื่องประดับจากรูปแบบแหวนเกลี้ยง อยู่ในระดับมาก ถึงมากที่สุด และในการวิจัยครั้งนี้มีผลการประเมินพบว่า การออกแบบที่ใช้รูปแบบแหวนเกลี้ยง ในการออกแบบมีค่าประเมินสูงมากที่สุดคือ แบบที่ 1 ซึ่งเป็นเครื่องประดับที่มีรูปแบบร่วมสมัย สวยงาม และเหมาะสมสามารถนำไปผลิตเป็นต้นแบบเครื่องประดับที่ใช้ในการทดลองงานหล่อเพื่อหาปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการหล่อ

ซึ่งผลการประเมินพบว่าการเลือกแบบเครื่องประดับจากรูปทรงต่างๆ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญที่เลือกรูปแบบส่วนใหญ่มีอายุ 40 – 55 พนักงานบริษัทเอกชน และผู้เชี่ยวชาญเลือกแบบเครื่องประดับจากรูปแบบแหวนเกลี้ยง อยู่ในระดับมาก ถึงมากที่สุด ซึ่งเป็นเครื่องประดับที่มีรูปแบบมีความสวยงาม มีความร่วมสมัย มีความเรียบง่าย และมีความเหมาะสมสามารถนำไปผลิตเป็นต้นแบบเครื่องประดับที่ใช้ในการทดลองงานหล่อเพื่อหาปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการหล่อ จากนั้นผู้วิจัยได้นำแบบร่างที่ได้จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ มาเขียนแบบเป็น ภาพสามมิติเสมือนจริง เพื่อให้เห็นความเด่นชัดของงานมากขึ้นก่อนนำไปสู่กระบวนการผลิตเพื่อทดลอง

5. การผลิตชิ้นงานเครื่องประดับเพื่อทดลองหาปัญหาที่เกิดในงานหล่อ

ในการผลิตเครื่องประดับครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำรูปแบบที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจากผู้เชี่ยวชาญ มาผลิตเป็นต้นแบบเครื่องประดับเพื่อทดลองหาปัญหาที่เกิดในงานหล่อ โดยมีขั้นตอนในการผลิตดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบ การทำต้นแบบหรือแบบแม่พิมพ์

การทำงานหล่อจะต้องเริ่มต้นที่การออกแบบทุกครั้ง และเมื่อได้แบบงานตามที่ต้องการแล้วจะต้องสร้างต้นแบบเพื่อนำไปทำแม่พิมพ์ยางต่อไป นักออกแบบจะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ด้านงานหล่อเป็นอย่างดีมาก่อนเพื่อที่จะได้เข้าใจในทุกๆ ขั้นตอนของการทำงานซึ่งจะนำเอาความรู้และประสบการณ์จากการเคยทำงานหล่อมาช่วยในการทำงานออกแบบ เพื่อให้ได้แบบที่ดีมีคุณภาพตามที่ต้องการ

การออกแบบจะเริ่มต้นด้วยการล่างแบบด้วยมือ ก่อนที่จะนำไปสร้างต้นแบบด้วยโลหะ ปัจจุบันได้พัฒนานำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ และสามารถ ส่งโปรแกรมไปยัง เครื่องจักรให้ขึ้นรูปงานออกมาตามที่ผู้ออกแบบต้องการ วิธีนี้สามารถช่วยการทำงานออกแบบให้ได้รวดเร็วยิ่งขึ้นขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 การทำแม่พิมพ์ด้วยโลหะ

การทำแม่พิมพ์ส่วนมากจะทำด้วยโลหะ หรือ ถ้าจำเป็นต้องใช้วัสดุชนิดอื่น อย่างน้อยจะต้องสามารถทนความร้อนที่ระดับอุณหภูมิประมาณ 190 องศาเซนเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในขั้นตอนการอัดพิมพ์ยาง

โลหะที่นำมาใช้ทำแม่พิมพ์ส่วนมากจะ ใช้เงินผสมทองแดง ซึ่งจะมีความแข็งมากกว่าแม่พิมพ์ที่ทำจากเงินบริสุทธิ์ ซึ่งเวลาใช้งานจะเสียรูปได้ง่าย ทนแรงขีดข่วนไม่ได้ดีทำให้ดูแลรักษายาก ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญเพราะผิวของแม่พิมพ์จะต้องเรียบไม่มีตำหนิ การสร้างแม่พิมพ์จะต้องเผื่อขนาดให้โตกว่าขนาดจริง 5-7 เปอร์เซ็นต์ เป็นการเผื่อการหดตัวของโลหะและการตกแต่งผิวขั้นสุดท้าย ผิวขั้นสุดท้ายจะต้องเตรียมผิวให้เงาเรียบ โดยวิธีการขัดเงา หรือ อาจจะต้องนำไปชุบเคลือบผิวด้วยทองขาวหรือโครเมียม เพื่อความสวยงามและทนต่อการขีดข่วน

ส่วนประกอบของตัวแม่พิมพ์ นอกจากตัวแม่พิมพ์แล้ว จะต้องสร้างก้านติดมาด้วย ซึ่งก้านจะทำหน้าที่เป็นทางเดินของโลหะเหลว ขนาดของทางเดินน้ำโลหะจะต้องเหมาะสม ไม่เล็กและใหญ่เกินไป ถ้า

เล็กจะทำให้ไม่แข็งแรง และการไหลเข้าของน้ำโลหะไม่สะดวก และถ้าโตเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองเนื้อโลหะ และเสียเวลาในการตัดแต่ง

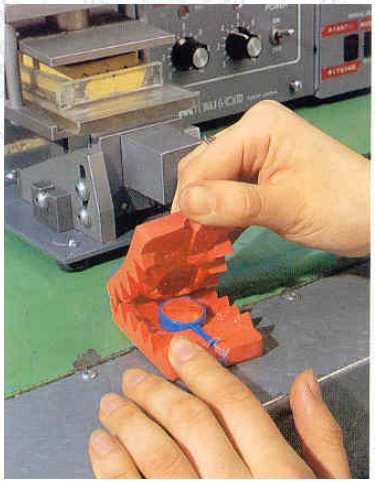
ขั้นตอนที่ 3 การทำแม่พิมพ์ยาง

นำเอาแม่พิมพ์ที่เสร็จแล้วมามาอัดเข้ากับยางทำแบบพิมพ์ ด้วยเครื่องอัดพิมพ์ยาง ยางทำแบบจะถูกตัดเป็นแผ่นรูปสี่เหลี่ยมขนาดพอดีกับบล็อกอลูมิเนียม วางซ้อนกันหลายๆชั้น ให้แบบพิมพ์อยู่ระหว่างกลางปะกบด้วยแผ่นยางดิบทั้งด้านบนและด้านล่าง แผ่นยางดิบจะหลอมละลายติดกันด้วยแรงดันอัดและอุณหภูมิของเครื่องอัด ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 150-160 องศาเซนเซียส ใช้เวลาอบประมาณ 45 นาที หลังจากนั้นนำออกมาวางไว้ให้เย็น ก่อนที่จะนำมาผ่าออกเป็นสองซีกเพื่อเอาแม่พิมพ์ออก ซึ่งจะได้โพรงแบบพิมพ์ยางมีรูปร่างลักษณะและขนาดตามแม่พิมพ์

ภาพประกอบ 26 การผ่าพิมพ์ยางด้วยใบมีด

ขั้นตอนที่ 4 การฉีดเทียน

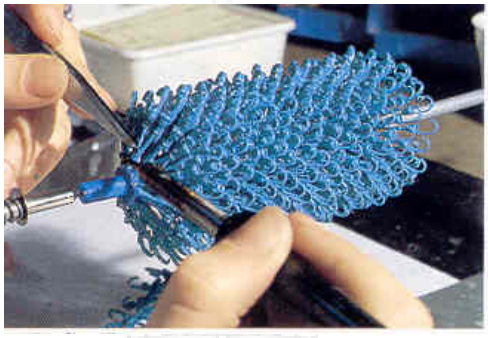
นำเทียนที่จะใช้ในการทำต้นแบบมาต้มในหม้อต้มหรือเครื่องฉีดเทียน ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเทียนประมาณ 60-80 องศาเซนเซียส ซึ่งอุณหภูมิขึ้นกับชนิดของเทียนที่ใช้ อุณหภูมิที่ใช้จะต้องไม่ให้สูงและต่ำเกินไป สังเกตได้จากการสัมผัสหรือดูลักษณะการเกาะติดพิมพ์ยาง ก่อนฉีดจะต้องโรยแป้งหรือซีลีโคนที่ผิวพิมพ์ยางก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้เทียนติดพิมพ์ยางสามารถแกะออกได้ง่าย เมื่อเทียนหลอมละลายและอุณหภูมิได้ที่แล้วจึงฉีดเข้าไปในพิมพ์ยางจนเต็ม แล้วนำมาปล่อยให้เทียนแข็งตัวสมบูรณ์ ดีแล้วจึงแกะเอาแบบเทียนออก



ภาพประกอบ 27 การฉีดเทียน

ขั้นตอนที่ 5 การติดต้นเทียน

ก่อนการติดต้นเทียนจะต้องหล่อแท่งลำต้นก่อนเพื่อใช้เป็นที่ยึดของแบบเทียนที่ฉีดออกมา ขนาดและความสูงควรเป็นไปตามมาตรฐานที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยควบคุมที่ความสูงให้ความสูงของต้นเทียนต่ำกว่ากระบอกเหล็กประมาณ 1 นิ้ว แบบเทียนที่ฉีดออกมาได้จะต้องผ่านการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบ หากมีข้อบกพร่องหรือมีตำหนิจะต้องทำการซ่อมหรือแก้ไข หากมีชิ้นใดที่มีจุดบกพร่องมากและมีขนาดโตเกินกว่าที่จะแก้ไขควรคัดทิ้งไป เพราะหากนำมาใช้ทำแบบต่อไปจะเสี่ยงต่อการได้ชิ้นงานหล่อที่ไม่สมบูรณ์



ภาพประกอบ 28 การติดต้นเทียน

แบบเทียนจะนำมาติดโดยรอบต้นโดยใช้หัวแร้งไฟฟ้าช่วยในการประสาน เมื่อติดต้นเสร็จแล้วก่อนที่จะนำไปสวมประกอบเข้ากับกระบอกเหล็ก ให้ล้างต้นเทียนด้วยน้ำยาล้างจำพวกแป้งและซิลีโคนออก ซึ่งน้ำยาล้างจะทำหน้าที่เคลือบผิวเทียนให้เรียบเงาทำให้ผิวงานหล่อที่ได้มีคุณภาพดี

ภาพประกอบ 29 ต้นเทียน

ขั้นตอนที่ 6 การผสมปูน และการเทปูนหุ้มผิวต้นเทียน

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จะต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษเพราะถ้าเตรียมการไม่ถูกต้องอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นมาได้ ปูนที่ใช้ถ้างานคุณภาพสูงควรเลือกใช้ปูนที่มีคุณภาพและมีความละเอียด

มากๆ การกำหนดส่วนผสมของปูนกับน้ำ มีดังนี้คือ ปูน 100 กรัม ต่อน้ำ 38 ซม3 ถ้าเป็นน้ำกลั่นให้ใช้อุณหภูมิ 35 องศาเซนเซียส โดยจะต้องควบคุมเวลาในระหว่างผสมน้ำดังนี้

- ใช้เวลาในการเทน้ำผสมลงในปูนให้แล้วเสร็จใน 1 นาที
- 3 นาทีต่อมาใช้ในการคนปูนด้วยเครื่องผสมปูน หรืออาจจะใช้เครื่องตีไข่ โดยเริ่มจากความเร็วรอบช้าๆไปหาความเร็วรอบสูง และลดความเร็วลงเมื่อใกล้ครบ 3 นาที
- 2 นาทีต่อมานำปูนผสมน้ำมาเข้าเครื่องโดอากาศออก
- 1 นาทีต่อมา สำหรับการเทปูนลงในกระบอกต้นเทียน
- 3 นาทีสุดท้ายเป็นการเอากระบอกเทียนเทปูนจนเต็มเข้าไปในเครื่องดูดอากาศอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ปูนที่อยู่ในกระบอกไม่มีอากาศแทรกตัวอยู่ภายใน รวมเวลาทั้งหมดให้แล้วเสร็จภายใน 10 นาที
- ปูนที่ดีจะต้องแข็งตัวสมบูรณ์ภายใน 2 นาทีหลังจากที่การผสมและเทแล้วเสร็จ

ภาพประกอบ 30 การเทปูนหุ้มผิวต้นเทียน

ภาพประกอบ 31 กระบอกที่เทปูนหุ้มผิวต้นเทียน

ขั้นตอนที่ 7 ละลายเทียนออกจากกระบอกปูน

เมื่อเทปูนเต็มกระบอกแล้วทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง ก็จะแห้งสนิทดี จากนั้นนำเข้าเตาอบเพื่อให้เทียนละลายออกจากกระบอกปูน โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิในเตาอบ 200 องศาเซนเซียส ใช้เวลาประมาณ 1.30 – 1 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 8 อบกระบอกปูน

นำกระบอกปูนที่อบให้เทียนละลายออกหมดแล้วเข้าในเตาอบอุณหภูมิสูง โดยปรับระดับอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นแบบขั้นบันได จากต่ำไปหาสูง การอบครั้งนี้เพื่อปรับระดับอุณหภูมิของกระบอกปูนไม่ให้ต่ำจนเกินไป เพื่อไม่ให้ระดับความแตกต่างของอุณหภูมิของโลหะเหลวกับแบบปูนมีความแตกต่างกันจนเกินไป อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 400 – 450 องศาเซนเซียส เวลาที่ใช้ในการอบประมาณ 8 ชั่วโมง

ภาพประกอบ 32 การอบกระบอกปูน

ขั้นตอนที่ 9 การหล่อ

หลังจากที่โลหะหลอมละลายอุณหภูมิได้ที่แล้ว ใช้คีมคีบกระบอกปูนที่อยู่ในเตาอบออกจากเตาซึ่งในขณะนั้นจะมีอุณหภูมิประมาณ 450-500 องศาเซนเซียส นำมาวางเข้ากับเครื่องหล่อ พร้อมเบ้าที่จะรองรับน้ำโลหะซึ่งถูกอบให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับน้ำโลหะ จากนั้นนำโลหะเหลวเทลงในเบ้าที่ประกอบไว้ที่เครื่อง

ภาพประกอบ 33 เทเม็ดโลหะลงใบเบ้าหลอม

ภาพประกอบ 34 นำกระบอกปูนเข้าเครื่องหล่อ

ภาพประกอบ 35 นำกระบอกปูนออกจากเครื่องหล่อ

ขั้นตอนที่ 10 การล้างปูนและทำความสะอาด

ในขั้นตอนนี้ก่อนที่จะล้างปูนออกปล่อยให้กระปูนเย็นตัวลงและให้โลหะแข็งตัวสมบูรณ์ โดยทิ้งไว้ประมาณ 3 – 4 นาที ถ้านานกว่านี้ หรือเย็นจนเกินไปจะทำให้ล้างปูนออกจากกระบอกยาก เมื่อได้เวลาใช้คีมคีบกระบอกปูนไปจุ่มลงในน้ำ ปูนจะหลุดออกมา โดยง่าย จากนั้น นำไปล้างด้วยเครื่องฉีดล้างปูนแรงดันสูง จะทำให้ปูนที่ติดอยู่ตามซอกมุมแคบๆหลุดออกหมด

ขั้นตอนที่ 11 การล้างชิ้นงานด้วยสารเคมี

ขั้นตอนนี้เป็นการทำความสะอาดผิว ซึ่งมีสารเคมีหลายชนิดให้เลือกใช้แตกต่างกันไปดังนี้

- การล้างด้วยกรดกัดแก้ว เพื่อให้เศษปูนที่เกาะตามผิวและซอกมุมแคบอยู่หลุดออกไป โดยมีอัตราส่วนผสมดังนี้ คือ กรดกัดแก้ว 1 ส่วน ต่อ น้ำ 100 ส่วน
- การล้างด้วยกรดกำมะถันผสมกับดินประสิว เพื่อกัดผิวโลหะงานออก โดยใช้อัตราส่วนผสมดังนี้ คือ กรดกัดแก้ว 1 ส่วน ต่อ ดินประสิว 2 ส่วน ต่อ น้ำ 10 ส่วน
- การล้างชิ้นงานด้วยกรดโครมมิคผสมกับน้ำ เป็นการล้างงานขั้นสุดท้าย เพื่อช่วยให้ผิวของชิ้นงานสะอาด เป็นเงามันสวยงาม มีอัตราส่วนผสม ดังนี้ คือ กรดโครมิค 1 กรัม ต่อ น้ำ 100 ซีซี

ขั้นตอนที่ 12 การตัดแต่ง

ขั้นตอนนี้เป็นการตัดแต่งเอาเฉพาะงานหล่อออกจากส่วนที่เป็นกิ่งก้าน และรวมไปถึงขั้นตอนการตะไบแต่งผิวส่วนที่ไม่เรียบออกไป

ภาพประกอบ 36 การขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย

ขั้นตอนที่ 13 การขัดผิวละเอียดขั้นสุดท้าย

เป็นขั้นตอนการขัดเงาโดยใช้ล้อขัดผ้าสักหลาด โดยใช้ยาขัดเงา เรียกว่า ยาแดง ยาขาว ซึ่งจะทำให้ผิวเรียบเงาวาว สวยงาม

ภาพประกอบ 37 การขัดเงาโดยใช้ล้อขัดผ้าสักหลาด

ภาพประกอบ 38 ตัวอย่างชิ้นงานที่หล่อเสร็จสมบูรณ์ที่เกิดปัญหา

ภาพประกอบ 39 ตัวอย่างชิ้นงานที่หล่อเสร็จสมบูรณ์

6. ปัญหาที่พบในการหล่อ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ต้องการทดลองหล่อเครื่องประดับเพื่อหาปัญหาที่เกิดขึ้นในงานหล่อ และต้องการการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่ ซึ่งปัญหาที่พบในการทดลองหล่อเครื่องประดับในครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

- ปัญหารูจากการหดตัว
- ปัญหารูพรุนจากงานหล่อ
- ปัญหารูจากฟองอากาศ
- ปัญหางานแตกร้าว
- ปัญหางานหล่อไม่เต็ม
- ปัญหางานเป็นฝ้า

ปัญหารูจากการหดตัว

สามารถเกิดได้จากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. มุมของชิ้นงานที่ติดต้นเทียนไม่เหมาะสม

2. ก้านทางน้ำไม่เพียงพอ

3. อุณหภูมิเตาสูงเกินไป

4. ชิ้นงานอยู่ใกล้กับฐานต้นเทียนเกินไป

5. การติดก้านทางน้ำโลหะ

1. มุมของชิ้นงานที่ติดต้นเทียนไม่เหมาะสม

● แนวทางแก้ไข :

- ติดชิ้นงานเข้ากับต้นเทียนโดยเอียงเป็นมุมประมาณ 45 องศา

2. ก้านทางน้ำไม่เพียงพอ

● แนวทางแก้ไข :

- ใช้ก้านทางน้ำที่ขนาดใหญ่ขึ้นหรือเพิ่มจำนวนก้านทางน้ำควรออกแบบก้านทางน้ำ ให้มีขนาดที่เหมาะสมกับชิ้นงาน ถ้าก้านทางน้ำเล็กเกินไปน้ำโลหะจะเย็นตัวก่อนที่ก้านทางน้ำ และจะทำให้การไหลของน้ำโลหะไม่สะดวกเกิดเป็น Shrinkage ได้

3. อุณหภูมิเตาสูงเกินไป

● แนวทางแก้ไข :

- ให้ใช้อุณหภูมิต่ำ เพราะถ้าอุณหภูมิเตาสูงเกินไปจะทำให้ปัญหารูจากการหดตัวเพิ่มขึ้น ในกรณีที่จำเป็นต้องติดชิ้นงานที่มีน้ำหนักแตกต่างกันติดต้นเดียวกัน ควรให้ชิ้นงานที่หนักกว่าอยู่ด้านล่างและชิ้นงานที่เบากว่าอยู่ตำแหน่งบน

4. ชิ้นงานอยู่ใกล้กับฐานต้นเทียนเกินไป

● แนวทางแก้ไขและข้อแนะนำ

● แนวทางแก้ไข :

- เว้นระยะประมาณ 1 นิ้วจาก Sprue Bottom เนื่องจากหากนำต้นเงินออกจากเบ้าบริเวณฐานต้นที่สัมผัสกับอากาศจะเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้

● ข้อแนะนำ :

- การวิเคราะห์แบบเทียน การติดทางน้ำและการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการผลิตแบบเทียน เพื่อปรับปรุงแบบเทียนให้มีทางน้ำเหมาะสมก่อนนำไปหล่อ เพื่อลดปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการหล่อ

- การตรวจสอบทางน้ำมีความสำคัญมากในการเพิ่มคุณภาพงานหล่อให้ดีขึ้น โดยทางน้ำที่มีขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสม จะทำให้ได้งานหล่อที่มีคุณภาพดี

5. ปัญหาการติดทางเดินน้ำโลหะ

ปัญหาการติดก้านทางเดินน้ำโลหะไม่เหมาะสมกับรูปแบบชิ้นงาน

วิธีการสำคัญที่จะทำให้ได้งานหล่อที่มีคุณภาพดี คือ การติดทางเดินน้ำโลหะที่ถูกต้อง เหมาะสมกับรูปแบบของชิ้นงาน โดยควรมีการเสริมขนาดและปริมาณของทางน้ำให้เหมาะสมกับขนาดและรูปแบบของชิ้นงาน หลักการสำคัญ คือ ต่อก้านทางน้ำตรงส่วนที่หนาที่สุดของชิ้นงาน เพื่อให้น้ำโลหะจากก้านทางน้ำสามารถไหลเข้าไปชดเชยขณะที่โลหะแข็งตัวได้ทันและเพียงพอ และปริมาณของทางน้ำจะช่วยทำให้

สามารถหล่องานที่มีรูปแบบซับซ้อนหรือมีลวดลายได้ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณทางน้ำเป็นหลายทาง เพื่อช่วยให้น้ำโลหะไหลได้งานขึ้น และยังช่วยชดเชยขณะที่น้ำดลหะแข็งตัวอีกด้วย

ขนาดของทางน้ำก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ควรคำนึงถึง ถ้าตำแหน่งที่ติดทางน้ำอยู่ไกลจากต้นเทียนควรเสริมให้ทางน้ำมีขนาดใหญ่ในบริเวณที่ติดกับต้นและมีปลายที่เล็กลงตรงบริเวณที่ต่อกับชิ้นงาน เพื่อช่วยให้การแข็งตัวเป็นไปตามเกณฑ์ทางโลหวิทยา หากติดทางน้ำที่มีขนาดไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน เช่น ทางน้ำมีขนาดเล็กและยาวเกินไป จะเป็นสาเหตุให้งานหล่อเกิดรูพรุนตามดจากการหดตัว และทางน้ำที่เหมาะสมไม่ควรเป็นไปในลักษณะที่มีมุมแหลม อันจะทำให้เกิดปัญหาน้ำโลหะกระแทกปูนหล่นตามมา ก้านทางน้ำนี้ควรเป็นก้านที่เรียวปลาย (Teper) เพื่อให้ชิ้นงานค่อย ๆ เย็นตัวจากส่วนที่บางไปหาส่วนที่หนา โดยส่วนหนาสามารถช่วยชดเชยน้ำดลหะขณะแข็งตัวได้ สามารถลดปัญหารูพรุนที่เกิดจากการหดตัวของน้ำโลหะขณะแข็งตัวได้

ระบบการติดทางน้ำโลหะ

เกณฑ์การพิจารณาประเภททางเดินน้ำโลหะ

- ตำแหน่งทางน้ำโลหะ
- ขนาดทางน้ำโลหะ
- จำนวนทางน้ำโลหะ
- ความซับซ้อนของรูปแบบชิ้นงาน
- รูปแบบของทางน้ำ
- ตำแหน่งทางน้ำโลหะ

ปัญหาติดก้านทางเดินน้ำผิดตำแหน่ง

- แนวทางแก้ไขและข้อแนะนำ
- แนวทางแก้ไข :

* ติดก้านทางเดินน้ำเข้าตรงตำแหน่งที่หนาที่สุด เนื่องจากตำแหน่งที่หนาที่สุดจะเย็นตัวช้าที่สุดจะทำให้น้ำโลหะผ่านเข้าเย็นตัวในจุดที่บางกว่าจนกระทั่งเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งที่สมบูรณ์

- ข้อแนะนำ :

* การวิเคราะห์แบบเทียน การติดทางน้ำ และการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการผลิตแบบเทียน เพื่อปรับปรุงแบบเทียนให้มีทางน้ำที่เหมาะสมก่อนนำไปหล่อ เพื่อลดปัญหาข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการหล่อ

* การตรวจสอบทางน้ำมีความสำคัญมากในการเพิ่มคุณภาพงานหล่อให้ดีขึ้น โดยทางที่มีขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสม จะช่วยแก้ปัญหาการหดตัวของน้ำโลหะระหว่างการเย็นตัวได้ ทำให้งานหล่อไม่เกิดข้อบกพร่องลักษณะรูพรุนจากการหดตัว

- ขนาดทางน้ำโลหะ

ปัญหาก้านทางน้ำมีขนาดเล็กเกินไป

ลักษณะก้านทางน้ำที่มีขนาดเล็กเกินไป จะส่งผลให้งานหล่อเกิดปัญหารูพรุนตามดรอบผิวชิ้นงาน ส่วนใหญ่ปัญหาดังกล่าวมักเกิดร่วมกับการติดทางน้ำผิดตำแหน่งด้วย สามารถแก้ไขได้โดยปรับเปลี่ยนขนาดทางน้ำให้เหมาะสมกับรูปแบบชิ้นงาน

- ความซับซ้อนของรูปแบบชิ้นงาน

ปัญหาติดชิ้นงานใกล้ผนังกระบอกหล่อมากเกินไป

การติดต้นเทียน โดยให้ชิดกระบอกหล่อเกินไปมีผลเสียต่องานหล่อ จะทำให้ผนังปูนบาง เมื่อเทน้ำโลหะลงเบ้าปูน จะเป็นสาเหตุให้ปูนแตกหรือทะลุได้ ดังนั้นควรติดต้นเทียนให้ห่างจากด้านข้างของกระบอกปูนประมาณ 1 เซนติเมตร ด้านบนประมาณ 2 เซนติเมตร และห่างจากฐานยางประมาณ 2 เซนติเมตร และชิ้นงานที่ติดในต้นเดียวกันควรติดห่างกันประมาณ 2 มิลลิเมตร การติดต้นเทียนสำหรับหล่อสุญญากาศ ควรติดให้แบบเทียนเอียงทำมุมกับต้นเทียน 70 – 80 องศา เพื่อให้สามารถดูดอากาศขณะหล่อได้ดีขึ้น ทำให้ได้งานหล่อที่เต็มมากขึ้น ส่วนงานหล่อเหวี่ยงควรติดให้แบบเทียนเอียงทำมุมกับต้นเทียน 45 องศา

ปัญหาที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมในการออกแบบระบบทางเดินน้ำโลหะ

* โลหะที่ไหลต้องไม่เกิดการไหลวนของน้ำโลหะ
* การแข็งตัวภายในโพรงแบบควรมีลักษณะการแข็งตัวแบบมีทิศทาง
* ควรป้องกันสารเจือปนที่ติดมากับน้ำโลหะไม่ให้เข้าไปในโพรงแบบ
* การเชื่อมระหว่างทางเข้าแบบกับแบบหล่อควรจะเรียบเพื่อป้องกันการแยกของแบบ

● ข้อแนะนำในการออกแบบและติดทางน้ำ

* ทางน้ำควรที่จะเป็นส่วนเดียวกับแม่พิมพ์ที่ใช้ในการหล่อเสมอและควรติดอย่างแน่นหนาตัวแม่แบบเสมอ
* ขนาดและตำแหน่งทางน้ำ ควรที่จะอยู่ในความดูแลของช่างหล่อไม่ใช่ผู้ออกแบบ
* การติดทางน้ำควรที่จะติดในส่วนที่สามารถขจัดออกได้ง่ายที่สุดไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับชิ้นงานหล่อ
* ไม่ควรใช้ทางน้ำหลายทางโดยไม่จำเป็น ควรต่อในรูปแบบที่ง่ายที่สุดที่สามารถหล่องานได้
* ควรคำนึงตามหลักเศรษฐศาสตร์ ไม่ควรใช้ทางน้ำใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น

● ข้อแนะนำในการออกแบบต้นเทียนหลัก

* ควรมีที่ว่างเพียงพอสำหรับปริมาณโลหะหลอมเหลวที่จะไหลเข้าไปเติมเต็มแบบหล่อโดยสมบูรณ์
* ต้องเป็นส่วนที่โลหะยังคงอุณหภูมิไว้ได้ดีที่อุณหภูมิที่ต้องการให้กระบวนการแข็งตัวดำเนินไปอย่างเหมาะสม
* ขนาดของต้นเทียนขึ้นอยู่กับวิธีการหล่อที่ใช้
* ควรคำนึงตามหลักเศรษฐศาสตร์ ไม่ควรใช้ต้นเทียนขนาดใหญ่เกินไป

ปัญหารูพรุน (ตามด) จากงานหล่อ

ปัญหารูพรุนตามดที่เกิดขึ้นในงานหล่อ ส่วนใหญ่มี 2 ลักษณะคือ รูพรุนจากการหดตัวของโลหะ และรูพรุนจากฟองก๊าซ

- รูพรุนที่เกิดจากการหดตัวของโลหะ

รูพรุนตามที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มักเป็นรูพรุนในลักษณะนี้ โดยโลหะหดตัวในลักษณะกิ่งไม้หรือที่เรียกกันว่าการผุนั้น มักจะเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนหนาของชิ้นงาน เช่น หัวแหวนหรือบริเวณก้านที่มีความหนามาก ลักษณะรูพรุนแบบหดตัวนี้เกิดขึ้นจากก้านทางเดินน้ำโลหะมีขนาดเล็กเกินไปและติดผิดตำแหน่ง ทำให้น้ำโลหะไหลได้ไม่ดี และขณะที่น้ำโลหะแข็งตัวเกิดการชดเชยของน้ำโลหะไม่พอเพียง บริเวณที่เกิดการหดตัวจึงเกิดโพรงลักษณะรูพรุนขึ้น นอกจากนี้ในบางกรณียังพบ รูพรุนหรือตามดจากการหดตัวตรงส่วนที่บางที่สุดของชิ้นงาน ซึ่งรูพรุนลักษณะนี้เกิดจากตรงบริเวณส่วนที่บางของชิ้นงานเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วทำให้ไปกั้นการไหลของน้ำโลหะที่จะเข้าไปชดเชยตรงบริเวณที่หดตัว ทำให้น้ำโลหะไปชดเชยบริเวณที่หดตัวไม่ทัน จึงเกิดรูพรุนขึ้น

การหดตัวเนื่องจากการแข็งตัวของโลหะ มีลักษณะเป็นช่องว่างที่มีรูปร่างไม่แน่นอนของโครงสร้างแบบกิ่งไม้ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการแข็งตัวของน้ำโลหะ โดยน้ำโลหะถูกปิดกั้นจากโลหะในส่วนบริเวณที่แข็งตัวก่อน ทำให้ไม่สามารถไหลเข้าไปชดเชยในบริเวณที่เกิดการหดตัวทีหลัง ลักษณะเช่นนี้เป็นสมบัติเฉพาะตัวของโลหะ ไม่สามารถหลีกเลี่ยงหรือกำจัดได้โดยสมบูรณ์ แต่สามารถลดปริมาณลงได้ รูพรุนจากการหดตัวของโลหะ มี 2 ลักษณะ คือ การหดตัวแบบโพรง และการหดตัวแบบแพ

ตามดแบบหดตัวหรือ Shrinkage จะแสดงให้เห็นเป็นหลุมโพรงที่มีลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งส่วนมากจะเป็นในรูปแบบของรูปทรงเราขาคณิต

ปัญหาตามดแบบหดตัว จะสามารถหลีกเลี่ยงได้ โลหะผสมแต่ละชนิดจะมีลักษณะพฤติกรรมที่ส่งผลให้เกิดตามดแบบหดตัวที่แตกต่างกัน เช่น งานทองขาว จะมีโอกาสเกิดตามดแบบหดตัวได้มากกว่างานทองสีเหลือง ในขณะที่งานเงิน 92.5 จะมีโอกาสเกิดตามดแบบหดตัวน้อยที่สุด การหลีกเลี่ยงและป้องกันตามดแบบหดตัวนั้น

● แนวทางแก้ไขและข้อแนะนำ

* ควรแก้ไขทางน้ำโลหะ โดยปรับเปลี่ยนและขยายขนาดทางน้ำโลหะสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่

* ควรแก้ไขปรับเปลี่ยนขนาดของน้ำโลหะ จำนวนและตำแหน่งที่ติดทางน้ำให้เหมาะสมกับขนาดและรูปทรงของชิ้นงาน โดยอาศัยหลักการทางด้านโลหะวิทยามาช่วยทำความเข้าใจและพิจารณาถึงการเสริมทางน้ำว่าควรติดทางน้ำอย่างไร จึงจะมีผลต่อการชดเชยการหดตัวของโลหะได้

* ควรติดทางเดินน้ำโลหะโดยอาศัยหลักการที่ว่า “ควรติดทางน้ำตรงส่วนที่หนาที่สุดของชิ้นงาน” เพราะชิ้นงานบริเวณข้างเคียงที่บางกว่าจะแข็งตัวเร็วกว่าบริเวณส่วนหนาและเมื่อบริเวณส่วนที่บางกว่าแข็งตัวจนหมดก็เสมือนเป็นตัวกั้นไม่ให้น้ำโลหะจากก้านหรือจากทางเดินน้ำโลหะเข้าบริเวณส่วนหนาได้ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดรูพรุนหดตัวที่บริเวณส่วนหนานั่นเอง

* การปรับปรุงทางเดินน้ำโลหะสามารถแก้ไขที่แม่พิมพ์โลหะได้ โดยช่างพิมพ์จะเป็นผู้ออกแบบการติดทางน้ำก่อนที่จะไปอัดแม่พิมพ์ยาง โดยก้านทางน้ำที่เสริมเข้ามาควรเป็นก้านกลมทรงกระบอก เพื่อให้น้ำโลหะไหลเข้าโพรงแบบได้ง่าย ซึ่งช่างพิมพ์จำเป็นต้องใช้เวลาในการฝึกฝนและสร้างความชำนาญเพราะรูปแบบของงานเครื่องประดับมีความหลากหลาย

* ต้นเทียนรูปทรงกระบอกปลายเรียว จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชดเชยการหดตัวของน้ำโลหะขณะเย็นตัว ได้ดีกว่าต้นเทียนรูปทรงกระบอก

* ควรทำบันทึกการสั่งหล่อในแต่ละครั้ง โดยในบันทึกควรมีรายละเอียดเกี่ยวกับการหล่อให้ชัดเจน เช่น รูปแบบชิ้นงาน ชนิดของโลหะ อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการหล่อรวมถึงอัตราส่วนปูนต่อน้ำ เพื่อช่วยควบคุมและใช้ตรวจสอบการผลิตในแต่ละขั้นตอนได้ นอกจากนี้แล้วยังสามารถช่วยหาปัจจัยที่เหมาะสมในการหล่อชิ้นงานแต่ละแบบ พร้อมทั้งสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุ หากเกิดปัญหาขึ้นในงานหล่อนั้นได้

- รูพรุนตามดจากฟองก๊าซ

อาจมีสาเหตุจากปัญหาเทียนเดือด และเขม่าเทียนที่เกิดจากเทียนไหลออกหรือเผาเทียนออกไม่หมด การนำเทียนเก่ากลับมาใช้อีก ทำให้มีโอกาสที่น้ำเทียนออกจากแบบไม่หมดและกลายเป็นคราบเขม่าของคาร์บอน ซึ่งเมื่อเทน้ำโลหะหลอมเหลวเข้าไปในโพรงแบบ น้ำดลหะจะสัมผัสกับเขม่าคาร์บอน เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้น ก๊าซที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถไล่ออกจากกระบอกปูนได้ทัน จึงทำให้เกิดปัญหารูพรุนจากฟองก๊าซตามมา โดยรูพรุนนี้จะมีลักษณะเป็นเม็ดกลมเหมือนฟองอากาศที่ค้างอยู่ในเนื้อโลหะ และมักเกิดเป็นเม็ดกลมเล็กๆ ทั่วผิวชิ้นงาน

● แนวทางแก้ไขและข้อแนะนำ

* ควรนึ่งเทียนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.30 – 2 ชั่วโมง เพื่อให้เทียนไหลออกก่อนจะนำกระบอกปูนเข้าเตาอบ แต่ไม่ควรนึ่งเทียนนานเกินไปเพราะจะทำให้ไอน้ำที่ไปเกาะบนปูนและซึมเข้าผนังปูน หากปูนมีน้ำซึมเข้ามากเกินไปจะทำให้ปูนมีความแข็งแรงลดลง และกะเทาะหลุดออกได้ง่าย

* ไม่ควรนำเทียนเก่าใช้ซ้ำอีก เพราะเทียนที่ใช้แล้วมีคุณสมบัติลดลง และมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ทำให้เทียนที่หนืดละลายออกได้ยาก ในบางตำแหน่งจะเกิดเทียนเดือดได้ และมีโอกาสเกิดเป็นเข่าคาร์บอนติดอยู่ เมื่อเทน้ำโลหะเข้าโพรงแบบก็จะเกิดเป็นฟองก๊าซขึ้น

* ควรตรวจดุทางน้ำดลหะให้เหมาะสม เพื่อให้เทียนไหลออกได้สะดวก ลดปัญหาเทียนตกค้างและเกิดเขม่าภายในผนังปูน อันเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหารูพรุนจากฟองก๊าซ

* ควรหลีกเลี่ยงการติดทางน้ำ ที่มีแนวโน้มทำให้เกิดการดักจับอากาศจากการไหลวนของน้ำโลหะ ที่ไหลเข้าไปในโพรงแบบขณะหล่อ อันเป็นสาเหตุให้เกิดรูพรุนจากฟองก๊าซได้

* ไม่ควรนำกระบอกปูนเข้าอบในเตาจำนวนมากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดอากาศในเตาไหลเวียนไม่ดี ไม่ถ่ายเท ซึ่งทำให้เขม่าเทียนไม่สามารถไล่ออกได้หมด เมื่อเทน้ำโลหะไปสัมผัสกับเขม่าจะกลายเป็นก๊าซ ดังนั้นจึงควรวางกระบอกปูนให้อยู่ห่างจากผนังเตาประมาณ 1 นิ้ว และระยะห่างระหว่างกระบอกไม่ควรต่ำกว่า 0.5 นิ้ว

ปัญหารูจากฟองอากาศ

รูเกิดจากฟองอากาศ

ในส่วนของตามดแบบฟองนั้นจะมีลักษณะที่ตรงกันข้ามกับตามดแบบหดตัว คือ ลักษณะของตามดแบบฟองอากาศนั้นจะเป็นลักษณะกลมเหมือนฟองอากาศซึ่งสามารถเห็นได้จากบนผิวของชิ้นงาน ภาพตัดขวางของแท่งโลหะแสดงให้เห็นตามดแบบฟองอากาศอย่างชัดเจน ตามดแบบฟองอากาศหลัก ๆ แล้วจะเกิดจากที่โลหะดูดซับฟองอากาศเป็นจำนวนมากในระหว่างทีโลหะยังเป็นของเหลวอยู่ (ตารางด้านขวาแสดงให้เห็นถึงปริมาณของออกซิเจนในเนื้อโลหะก่อนที่จะละลายและหลังจากละลาย) ดังนั้น ถ้าเงินหลอมเหลวนี้มีปริมาณก๊าสอยู่มากแล้วนั้น (ซึ่งเราจะกล่าวถึงเหตุผลต่อไป) ก๊าสหรืออากาศเหล่านี้จะพยายามที่จะออกมาจากเนื้อโลหะในระหว่างที่เกิดการเย็นตัวตกผลึกและแปรสภาพจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง แต่ส่วนมากก๊าสหรืออากาศเหล่านี้จะถูกกักอยู่ในเนื้อโลหะนั่นเอง และสามารถพบได้หลังจากการขัดแต่งผิวงาน

- ความร้อนน้ำโลหะสูงเกินไป
- ระยะเวลาการอบปูนไม่เพียงพอ
- การไหลของอากาศในเตาอบปูนไม่เพียงพอ
- อุณหภูมิเตาสูงเกินไป
- การผสมเงินเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วหลายครั้ง
- ความร้อนน้ำโลหะสูงเกินไป

● แนวทางแก้ไข :

* ให้ทำการลดอุณหภูมิน้ำโลหะในการหล่อ เนื่องจากถ้าอุณหภูมิสูงจะใช้เวลาการเย็นตัวนานหลังจากที่เทลงเบ้าปูน ซึ่งจะเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิด GAS ดังนั้นควรทำการลดอุณหภูมิลง เพื่อที่จะให้ใช้ระยะเวลาการเย็นตัวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งเร็วขึ้น

- ระยะเวลาการอบปูนไม่เพียงพอ

● แนวทางแก้ไข :

* ให้เพิ่มระยะเวลาการอบปูน เนื่องจากอาจมีการหลงเหลืออยู่ของ Carbon ซึ่งมาจาก WAX ที่ตกค้างอยู่ เมื่อมีการเทน้ำโลหะจะเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิด GAS ซึ่ง GAS เหล่านี้จะทำให้ผิวชิ้นงานเป็นรูได้

- การไหลของอากาศในเตาอบปูนไม่เพียงพอ

● แนวทางแก้ไข :

* เพิ่มการไหลของอากาศในเตาอบให้เพียงพอ ตรวจสอบรอยรั่วต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อระบบการไหลของอากาศในเตาอบและทำการแก้ไข อาจพบรอยวงกลมสีเหลืองหลงเหลืออยู่ทำตาอบหลังใช้งาน หรือกลิ่นคล้ายไข่เน่า หรือคราบสีดำ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเกิดจากการทำปฏิกิริยาในเตาอบซึ่งมาจากการไหลเวียน ของอากาศไม่เพียงพอ

- อุณหภูมิเตาสูงเกินไป

● แนวทางแก้ไข :

* ลดอุณหภูมิเตาอบ (อุณหภูมิสุดท้ายก่อนออกจากเตาที่ต้องการลง เนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาของแคลเซียมซัลเฟอร์ (ปูนเขา) คือ กำมะถัน (ซัลเฟอร์ไดออกไซด์) เมื่อเทน้ำโลหะเข้าสู่เบ้าปูนจะเกิดซับเฟอร์ไดออกไซด์ (กำมะถัน) และเกิดการดูดซึมเข้าสู่ผิวงานซึ่งยังคงสภาพเป็นน้ำโลหะอยู่ทำให้เกิด GAS ดังนี้ต้องแก้ไขโดยการลดอุณหภูมิเตาลงเพื่อเร่งให้น้ำโลหะเย็นตัวเร็วขึ้น

- การผสมเงินเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วหลายครั้ง

● แนวทางแก้ไข :

* ให้ทำการ Refine เงินเก่า หรือผสมเนื้อเงินเก่าไม่เกิน 50% เนื่องจากเงินเก่าจะมีสิ่งที่ไม่บริสุทธิ์ปนอยู่ซึ่งส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิด GASขึ้น

สาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดตามดแบบฟองอากาศ คือ

- ใช้วัตถุดิบโลหะที่มีคุณภาพต่ำ เช่น มาสเตอร์อัลลอยด์ที่มีสิ่งสกปรกเจือปน หรือเงินบริสุทธิ์ ทองบริสุทธิ์ ที่มีสิ่งเจือปนหรือการใช้เศษต้นเก่า ที่มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรก เป็นต้น

- ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดกับปูน เช่น อุณหภูมิที่สูงเกินไป การอบปูนที่ไม่สมบูรณ์หรือการใช้ปูนเก่าเก็บหมดอายุ เป็นต้น

- การใช้อุณหภูมิในการหล่อที่ไม่มีการหล่อที่ไม่ถูกต้องไม่มีการควบคุมบรรยากาศในห้องหลอม หรือการควบคุมไม่ดีพอ เป็นต้น

ปัญหาฟองอากาศในชิ้นงานเทียน

มักพบในชิ้นงานเทียนที่มีการต่อทางน้ำไม่เหมาะสม เช่น การวางทางน้ำผิดตำแหน่งและการใช้ขนาดทางน้ำที่ไม่เหมาะสมกับขนาดชิ้นงาน อันเป็นสาเหตุให้เกิดการไหลวนของน้ำเทียนขณะฉีด เกิดการดักอากาศขึ้น ทำให้เกิดฟองอากาศในชิ้นงานเทียน นอกจากนี้ฟองอากาศที่เกิดขึ้นยังอาจเกิดจากการปรับความดันและอุณหภูมิของเครื่องฉีดเทียนสูงเกินไป หรืออาจเกิดจากการกรีดช่องทางไล่อากาศไม่เพียงพอทำให้อากาศที่ดันเข้าไปในแม่พิมพ์ยางไหลออกไม่ทันจึงเกิดฟองอากาศขึ้น รวมถึงการใช้หัวฉีดเทียนที่ขนาดไม่พอดีกับช่องทางเข้าในแม่พิมพ์ยางทำให้อากาศสามารถไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ยางขณะฉีดเทียนได้

● แนวทางแก้ไขและข้อมูลแนะนำ

* ควรสร้างระบบการวางทางน้ำที่เหมาะสม และสามารถตรวจสอบโดยช่างเทียนที่มีหน้าที่

ติดทางน้ำ เช่น การทำใบงานสำหรับการตรวจสอบทางน้ำพร้อมกับถ่ายเอกสารหรือสเก็ตภาพเพื่อบันทึกตัวอย่างทางน้ำที่ถูกต้องเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขในครั้งต่อไป และลดปัญหาเนื่องจากการขาดบุคลากรที่ชำนาญการ

* ควรมีการให้ความรู้แก่ช่างเทียนในเรื่องของระบบทางเดินน้ำโลหะการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมของเครื่องฉีดเทียน

* ตรวจสอบปริมาณเทียนในเครื่องฉีดเทียน หากมีปริมาณน้อยเกินไปจะเป็นสาเหตุให้เกิดฟองอากาศได้

* ตรวจสอบหัวฉีดกับรูเทแม่พิมพ์ยางให้พอดีกัน หากไม่พอดีจะทำให้อากาศไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ยางขณะฉีดเทียนได้

* ควรมีการนำเครื่องฉีดเทียนที่มีประสิทธิภาพมาใช้ในการฉีดเทียน โดยเฉพาะงานที่มีรูปแบบซับซ้อนและมักเกิดปัญหาขึ้นบ่อย ๆ

ปัญหาแตกร้าว

- ปัญหาชิ้นงานหล่อแตกร้าวเนื่องจากความร้อน

ปัญหาชิ้นงานเกิดการแตกหรือฉีกขาดขณะร้อน เกิดจากใช้ต้นเทียนที่มีขนาดใหญ่เกินไป เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 14 มิลลิเมตร โดยเป็นสาเหตุให้ก้านแหวนแตกซึ่งมักเกิดการใช้ก้านเดี่ยว เพราะสาเหตุเกิดจากการดึงกันในทิศทางตรงข้าม จึงเกิดการฉีกขาดจากความร้อนขึ้น การแตกร้าวในลักษณะนี้มีสาเหตุหลักมาจากต้นเทียนที่มีขนาดใหญ่เกินไปทำให้เมื่อเทน้ำโลหะลงไปในเบ้าปูน ตรงส่วนต้นจะร้อนมากทำให้เกิดความแตกต่างของความร้อนระหว่างก้านและต้น เกิดการดึงกัน ทำให้ตรงรอยต่อก้านและแหวนเกิดการแตกร้าวขึ้น นอกจากสาเหตุดังกล่าวแล้วยังอาจเกิดจากการใช้อัลลอยที่มีธาตุซิลิกอนผสมอยู่ซึ่งมีสมบัติทำให้โลหะแตกและเปราะได้ง่าย

● แนวทางแก้ไขและข้อแนะนำ

* สามารถแก้ได้โดยลดขนาดของต้นเทียนและก้านทางเดินน้ำลง ไม่ใช่ต้นเทียนและก้านทางเดินน้ำโลหะขนาดใหญ่เกินไป

* ไม่ควรติดก้านทางน้ำของชิ้นงานให้ใกล้กับต้นเทียนเกินไป เพราะความร้อนจะส่งผ่านไปยังชิ้นงานเทียน ทำให้ชิ้นงานเทียนแตกจากความร้อนได้

* ลงการใช้อัลลอยด์ที่ส่งผลให้เกิดการแตกเปราะ

ตัวอย่างสำหรับ “การแตก หักจากความร้อน” ในเงิน (Ag) 925 ซึ่งปัญหาลักษณะที่เหมือนกันนี้สามารถพบได้ในการหล่อโลหะอื่นๆ ภาพตัดขวางโครงสร้างของโลหะแสดงให้เห็นถึงบริเวณ รอยแตก หัก ซึ่งพบแค่ตามดเพียงเล็กน้อย เมื่อเราดูที่ผิวของรอยแตกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ตรวจสอบอย่างละเอียดเผยให้เห็นผิวงานเป็นรูปทรงผลึก กลมๆ ซึ่งพิสูจน์ให้เห็นว่า รอยแตก หักเกิดขึ้นขณะที่โลหะบางส่วนยังเป็นของเหลวอยู่ มีแต่ของเหลวเท่านั้นที่จะสร้างรูปรางทรงกลมบนผิวงานเนื่องจากแรกดึงผิว รูปแบบลักษณะรอยแตกที่ผิดงาน อย่างนี้เรียกว่า “การแตกจากความร้อน” บางทีก็เรียกว่า “การฉีกขาดจากความร้อน” การแตกหักเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของแรงดึงกันระหว่างโลหะที่กำลังเย็นลงกับในบริเวณที่โลหะยังไม่แข็งสมบูรณ์เรียบร้อย ทำให้เกิดการฉีกขาดหรือรอยแตกขึ้น ข้อควรจำ เบ้าปูนถูกเอาออกมาจากเครื่องหล่อหลังจากหล่อเรียบร้อยแล้ว 50 วินาที ในขณะที่ระยะเวลาการตกผลึกเย็นตัวของโลหะเงิน 925 สำหรับชิ้นงานรูปแบบเช่นนี้จะใช้เวลาประมาณ 90 วินาที ซึ่งอยู่กับอุณหภูมิการหล่อจริงๆ และ

อุณหภูมิเบ้าปูนที่ใช้ ดังนั้นตัวชิ้นงานบางส่วนยังคมเป็นของเหลวอยู่เป็นของเหลวอยู่เมื่อเบ้าปูนถูกเอาออกมาจากเครื่องหล่อ ซึ่งนี่อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าว

ดังนั้น ประสบการณ์จากบริษัทผู้ผลิตทั้งหลายยืนยันว่า การแตก หักจากความร้อนสามารถหลีกเลี่ยงได้ถ้าทำการควบคุมสภาพการทำให้เบ้าเย็นลงอย่างระมัดระวัง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจากการใช้ระยะเวลานานที่ทำให้ของเหลวกลายเป็นของแข็งในโลหะเงิน 925 นี้การควบคุมระยะเวลาขั้นตอนต่างๆ ในการหล่อจะทำให้การหล่อมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นอย่างเห็นชัด นี้รวมถึงการเพิ่มระยะเวลาที่ปล่อยให้เบ้าเย็นลงในเครื่องหล่อหลังจากที่หล่อเสร็จแล้ว เพื่อที่ว่าให้เบ้าถูกเคลื่อนย้าย หรือกระบทกระเทือนหลังจากที่โลหะกลายเป็นของแข็งแล้วเท่านั้น ควรหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาของแรงดึงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับโลหะโดยไม่จำเป็นระหว่างกำลังเย็นลง (ตัวอย่างเช่นการตอกเพื่อทำเครื่องหมายต่างลงบนตูดของต้นหล่อหลังจากที่หล่อเสร็จใหม่ๆ เป็นต้น) สุดท้ายระยะเวลาในการทิ้งเบ้าให้เย็นก่อนที่จะนำไปจุ่มลงในน้ำจะต้องถูกควบคุมซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัลลอยด์ที่ใช้ การจุ่มลงน้ำเร็วเกินไปบ่อยครั้งจะก่อให้เกิดการแตก หัก ตัวอย่างเช่นการหล่อเงินแนะนำว่าควรจะทิ้งเบ้าปูนหลังจากหล่อเสร็จไว้ในเครื่องหล่อประมาณ 4 นาที แล้วจะสามารถจุ่มลงในน้ำได้ทันที

การหลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาของแรงดึงหรือความเครียดต่างๆ บนโลหะโดยไม่จำเป็นหลังจากการหล่อจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในหลายๆ กรณี การแตก/หักจากความร้อนเกิดขึ้นโดยมีสาเหตุพื้นฐานเกิดการแรงดึงที่มาจากการหดตัวของโลหะอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาความร้อนในขณะที่โลหะเริ่มตกผลึกเย็นตัวการลดลงเชิงปริมาตรระหว่างที่เกิดการเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง ขณะที่ในเวลาเดียวกับปูนอาจจะไม่มีหรือมีการหดตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และปูนอาจจะมีการขยายตัวอันเนื่องมาจากผิวปูนร้อนขึ้นหลังจากสัมผัสกับโลหะที่ร้อนมากกว่าสถานการณ์นี้จะเกิดขึ้นมากตรงจุดสัมผัสระหว่างทางน้ำกับชิ้นงานหล่อซึ่งจะเป็นบริเวณสุดท้ายที่ชิ้นงานจะแข็งตัว การแข็งและการหดตัวของโลหะ จะเริ่มจากก้านทั้งด้านซ้ายกับด้านขวาของแหวนพร้อมๆ กัน และก่อให้เกิดปฏิกิริยาของแรงดึงผิวบนของเหลวที่กำลังจะเป็นของแข็ง

งานวิจัยได้ยืนยันว่าปัญหารอยแตกจากความร้อนของ Pd alloys เกิดจากใช้ระดับการหลอมที่อุณหภูมิสูงเกินไปจนมีปฏิกิริยาต่อเบ้าปูน ซึ่งนำไปสู่การดูดซับซิลิคอนมากขึ้นจากวัตถุดิบ ซึ่งทนต่อการละลายและจากปฏิกิริยาของปูนที่ไม่อาจทนความร้อนสูงได้ในที่สุดก่อให้เกิด ปัญหาการแตกจากความร้นนี้เป็นการกล่าวได้ว่าถ้าขั้นตอนการหล่อโดยใช้ระบบสูญอากาศจะทำให้ลดปัญหาการเกิดตามดแบบฟองอากาศได้

สรุป โดยทั่วๆ ไปในหลายๆ กรณี การแตก/หักจากความร้อนถูกทำให้ลดน้อยลงได้โดยการหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาของแรงดึงในสภาวะโลหะแปรสภาพจากของเหลวกลายเป็นของแข็งการเพิ่มระยะเวลาให้เย็นลงของเบ้าปูนในเครื่องหล่อหลังจากที่หล่อแล้ว (โดยเฉพาะสำหรับการหล่อเงิน : ประมาณ 4 นาที) ก่อนการเคลื่อนย้ายและการจุ่มน้ำพิสูจน์ว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากๆ อัลลอยด์ที่ป้องกันการเกิดฝ้าบ่อยครั้งที่ถูกรายงานว่ามีลักษณะที่ไว้มากกว่าที่จะเกิดรอยแตก/หักจากความร้อน การควบคุมที่ขั้นตอนทำเบ้าเย็นลงเป็นขั้นตอนที่พิเศษและสำคัญในหลายๆ กรณี รอยแตกจากความร้อนโดยพื้นฐาน เกิดขึ้นจากการออกแบบชิ้นงานนั้นๆ ซึ่งจำเป็นต้องทำการดัดแปลงระบบทางน้ำสุดท้ายการทำการเลือกส่วนประกอบต่างๆ ใน Alloy ที่ถูกต้องเหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญพร้อมด้วยการควบคุมขบวนการนำเศษโลหะกับมาใช้ใหม่อย่างเหมาะสม ส่วนประกอบลักษณะเฉพาะของ Alloy และการปนเปื้อนสิ่งสกปรกเป็นที่รู้กันดีว่าจะเพิ่มความไวต่อการเกิดรอยแตก/หักจากความร้อน

ปัญหางานหล่อไม่เต็ม

- สุดท้ายกลับมาที่กระบวนการหล่อ เราจะต้องจดจำได้ว่าจะใช้วิธีใดในการแก้ปัญหางานหล่อไม่เต็ม ซึ่งมี 2 วิธีหลักๆ คือ เลือกใช้อัลลอยด์ที่เหมาะสม เลือกใช้รูปแบบทางน้ำที่เหมาะสม เช่นเดียวกับการเลือกใช้กระบวนการหล่อที่เหมาะสม

อะไรคืออิทธิพลของกระบวนการหล่อที่ส่งผลให้เกิดปัญหางานหล่อไม่เต็ม การเพิ่มอุณหภูมิและอุณหภูมิน้ำโลหะช่วยให้หล่อได้เต็มมากขึ้น แต่ก็เพิ่มโอกาสที่จะพบกับปัญหาตามดแบบฟองอากาศเช่นกัน การใช้แรงดันบรรยากาศต่ำๆ ในขณะที่หลอมโลหะ (แรงดันภายในห้องหลอมก่อนที่จะทำการหล่อ) หรือกระทั่งระบบสุญญากาศที่สามารถช่วยเรื่องการหล่อให้เต็มได้ เช่นกันในขณะที่เราทำการเทน้ำโลหะนั้นเราสามารถใช้ประโยชน์จากฟังก์ชั่นการใช้งานของเครื่องหล่ออื่นๆ เช่น การใช้ Over Pressure ในขณะที่ทำการเทน้ำโลหะ (ปริมาณความดันและระยะเวลามีความสำคัญ) เช่นเดียวกับการใช้ระบบสั่นสะเทือนในขณะเทน้ำโลหะ

การตั้งค่าในการหล่อ

1. ในกรณีที่คุณหล่องานที่มีขนาดปานกลางจนถึงขนาดใหญ่เราขอแนะนำให้ท่านหลอมและการหล่อโลหะ โดยใช้ก๊าซคลุมผิวโลหะในส่วนของห้องหล่อ แต่ในส่วนของเบ้าปูนให้ใช้สุญญากาศ การตั้งค่าแบบนี้จะสามารถลดปริมาณตามดแบบฟองอากาศได้มากที่สุด ถ้าอุณหภูมิเบ้าต่ำการใช้ระบบสุญญากาศในห้องหล่ออาจส่งผลให้เกิดปัญหาการหล่อไม่เต็ม เนื่องจากก๊าซที่อาจหลงเหนืออยู่ในเบ้าปูนขยายตัวเนื่องจากความร้อนเมื่อสัมผัสกับโลหะก่อให้เกิดปฏิกิริยาการดันกลับส่งผลต่อการไหลลื่นของโลหะ และมีปัญหาเรื่องการหล่อไม่เต็มได้ แต่สำหรับการหล่อชิ้นงานที่มีขนาดหนาและใหญ่จะไม่มีปัญหานี้

2. สำหรับการหล่อชิ้นงานที่มีขนาดบางและเบามากๆ เราแนะนำให้หลอมและหล่อโลหะภายใต้สภาวะสุญญากาศ เบ้าปูนก็เป็นสุญญากาศเช่นกัน ทันทีหลังจากที่เราหล่องานและโลหะได้ไหลออกจากเบ้าหล่อหมดแล้วนั้นให้ใช้โอเวอร์เพรสเซอร์ทันที การที่ก๊าซต่างๆ ถูกดูดออกหมดพร้อมกับการใช้โอเวอร์เพรสเซอร์ทำให้เราสามารถหล่องานที่มีความบางมากๆ ได้ข้อเสียของการหล่องานแบบนี้คือ อาจมีปัญหาตามดแบบฟองอากาศได้เนื่องจากปฏิกิริยากับน้ำโลหะกับปูนเพราะว่าการใช้ระบบสุญญากาศแบบเต็มกำลังนั้นอาจทำให้ปูนเกิดปฏิกิริยาแตกตัวได้

ปัญหางานเป็นฝ้า

- ปัญหาฝ้า เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่เกิดจากสีที่ไม่เท่ากันที่พบในงานเงิน (ผสมเงินกับทองแดง) ปัญหานี้สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการใช้อัลลอยด์ที่สามารถต้านการเกิดฝ้าได้ซึ่งหาได้ง่ายจามท้องตลาด ซึ่งจะมีส่วนผสมของสังกะสี ซิลิคอน และอื่นๆ จากนี้เราจะได้อธิบายถึงสาเหตุในการเกิดฝ้า และอธิบายว่ากระบวนการผลิตที่ดีก็สามารถช่วยให้หลีกเลี่ยงการเกิดฝ้าที่เกิดขึ้นในการหล่อเงินได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามนั่นสำหรับงานที่มีการหล่อฝังในเทียน การเชื่อม การที่ชิ้นงานจะต้องมีการผ่านไฟในกระบวนการอื่นๆ หลังจากกระบวนการหล่อ การเตรียมการป้องกันการเกิดปัญหาฝ้าหรือการหมองนั้น สามารถทำได้โดยการใช้อัลลอยด์ที่ต่อต้านการเกิดฝ้าเท่านั้น

ปัญหาฝ้าที่เกิดขึ้นกับพื้นผิวนั้นเป็นผลมาจากกระบวนการการทำปฏิกิริยาระหว่างเนื้อโลหะเงินกับอากาศในขณะที่หล่องาน เกิดจากการที่ทิ้งเบ้าให้เย็นหลังจากที่หล่ออย่างไรไม่ถูกต้อง ถ้าเนื้อน้ำโลหะเงินสัมผัสอากาศทั้งก่อนหรือหลังการตกผลึกเย็นตัว น้ำโลหะจะทำการดูดซับออกวิเจนเป็นจำนวนมาก และนี้อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นระหว่างออกซิเจนที่ถูกดูดซับไปในน้ำโลหะกับทองแดงที่เป็นส่วนผสมใน

มาสเตอร์อัลลอยด์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนสีขึ้นในบริเวณผิวงานจุด (เกิดเป็นสีเทาๆ) สิ่งนี้เป็นลักษณะชนิดหนึ่งที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกล่าวที่เกิดขึ้นจากบริเวณผิวชิ้นงานและกิจลึกลงไปภายใต้ผิวงาน เนื่องจากออกซิเจนได้แทรกซึมลงไปลึกมาก จึงไม่สามารถกำจัดออกไปได้ด้วยการขัด

การหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาฝ้านั้นสามารถทำได้โดยกระบวนการที่เหมาะสม ตามที่ให้เห็นแต่มีช่างหล่ออีกจำนวนมากที่เลือกอีกวิธีหนึ่งซึ่งปลอดภัยที่สุดคือการใช้อัลลอยด์ที่ป้องกันการเกิดฝ้า อัลลอยด์ที่ใช้เหล่านั้นมีส่วนผสมอื่นๆ เช่น สังกะสี และซิลิคอน เป็นส่วนประกอบของมาสเตอร์อัลลอยด์ (นอกเหนือจากทองแดง) สิ่งที่เพิ่มลงไปเหล่านี้จะไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับทองแดง นั่นเป็นความสำเร็จในการหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาฝ้าระหว่างหล่อง่านถ้ามีการปล่อยให้เบ้าเย็นโดยอากาศเป็นเวลานาน ทางด้านขวานี้เป็นภาพที่แสดงให้เห็นโดยโลหะวิทยา ซึ่งต้นหล่อที่ได้จะมีลักษณะขาวสว่าง ถึงแม้ว่ายังไม่ได้จุ่มกรดก็ตาม สำหรับงานหล่อฝังในเทียนนั้นผิวงานหลังจากที่หล่อมีความสำคัญมาก เนื่องจากผิวงานบริเวณที่อยู่ใต้พลอยที่ฝังนั้นไม่สามารถที่จะขัดหรือแม้กระทั่งน้ำกรดก็ไม่สามารถซึมเข้าไปถึง ซึ่งถ้างานในบริเวณดังกล่าวหมองดำแล้วละก็จะส่งผลต่อสีของพลอยที่ฝังเช่นกัน

ตัวอย่างการเกิดปัญหาฝ้าและแนวทางแก้ไขและข้อเสนอแนะ

- ปัญหาฝ้าดำ ฝ้าแดง ของทองแดงออกไซด์

ฝ้าดำ ฝ้าแดง มักพบในชิ้นงานโลหะเงินสเตอร์ลิง ซึ่งเกิดจากการหลอมเหลวและหล่อโลหะที่อุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้ก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำโลหะทำปฏิกิริยากับทองแดงที่อยู่ในเงินสเตอร์ลิง เกิดเป็นสารประกอบทองแดงออกไซด์ ซึ่งมีอยู่ 2 สถานะ คือ คิวปริกออกไซด์ที่มีสีน้ำตาล และคิวปรัสออกไซด์ มีสีแดงชมพู โดยจะกระจายตัวอยู่บริเวณผิวหน้าของงานหล่อ ทำให้ผิวงานหล่อที่ได้ไม่สวยงาม หากทองแดงออกไซด์ดังกล่าวฝังลึกที่ผิวชิ้นงาน จะทำให้ไม่สามารถกำจัดออกไซด์ออกและขัดชิ้นงานให้เงาได้ หากใช้อุณหภูมิในการหลอมโลหะสูงเท่าไรก็เกิดปริมาณฝ้าดำฝ้าแดงมากขึ้นเท่านั้น เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำโลหะจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของน้ำโลหะ กล่าวคือ ก๊าซออกซิเจนที่ละลายในน้ำโลหะจะมีปริมาณสูงขึ้นหากน้ำโลหะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการหลอมหล่อโลหะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเกินไป เพราะจะทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นได้

● แนวทางแก้ไขและข้อแนะนำ

* เพิ่มขนาดและตำแหน่งของทางน้ำให้เหมาะสมกับรูปแบบของชิ้นงาน
* ลดอุณหภูมิน้ำโลหะลง โดยชิ้นงานขนาดใหญ่และหนาควรหล่อที่อุณหภูมิต่ำกว่าชิ้นงานบาง

บทที่ 5
สรุป อภิปลายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยการวิจัยปัญหาในงานหล่อ และการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาวิเคราะห์เครื่องประดับในประเด็น รูปแบบของเครื่องประดับที่ใช้ในการหล่อเครื่องประดับ และปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับ 1 แบบ จำนวน 6 ชุด โดยเลือกจากรูปแบบที่เป็นที่นิยมมากที่สุด และทดลองหล่อชิ้นงานเพื่อหาปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับ เพื่อช่วยส่งเสริมสินค้าที่เป็นสินค้าส่งออกอันดับต้นๆ ของประเทศ ลดต้นทุนในการผลิตเครื่องประดับที่เกิดจากการหล่อที่มีปัญหา และช่วยลดการเสียหายให้กับธุรกิจและวงการอุตสาหกรรมเครื่องประดับเป็นอย่างมาก

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่ เช่น การเกิดตามด การเกิดรูพรุน ฯลฯ และทดลองทำการหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เป็นแนวทางในการหาวิธีที่เป็นนวัตกรรมใหม่ ให้ได้การแก้ไขปัญหานอกเหนือจากวิธีการแก้ไขปัญหาแบบเดิมๆ ที่ทำกันอยู่ในปัจจุบัน ลดต้นทุนในการผลิตเครื่องประดับ และเป็นข้อมูลในการแก้ไขปัญหางานหล่อของอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่าง คือ แบบร่างเครื่องประดับ ที่ได้จากการวิเคราะห์วัสดุและวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย โดยผู้วิจัยร่างแบบในรูปแบบ 2 มิติ และให้ผู้เชี่ยวชาญเลือกตัวอย่างแบบเจาะจงจากรูปแบบเครื่องประดับ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาผลิตเป็นเครื่องประดับในรูปแบบ 3 มิติ 1 แบบ ได้จำนวนอย่างละ 15 วง

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประกอบการศึกษาวิจัยดังนี้

2.1 แบบสัมภาษณ์ ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านรูปแบบเครื่องประดับและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ ที่มีชื่อเสียงจำนวน 2 ท่าน เพื่อใช้ในการวิจัยเรื่องการวิจัยปัญหาในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่ ในประเด็นตามความมุ่งหมายของการวิจัย

2.2 การประเมินรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยดำเนินการให้ผู้เชี่ยวชาญเลือกตัวอย่างแบบเจาะจงรูปแบบที่ออกแบบและได้จากการวิเคราะห์ ที่ใช้ทำเครื่องประดับทดลองงานหล่อเพื่อหาปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการหล่อในงานวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษา ดังนี้

1. เก็บข้อมูลภาคเอกสาร จากการสืบค้นและเก็บรวบรวมข้อมูลเอกสาร จากหนังสือ ตำราวิชาการ วารสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. เก็บข้อมูลภาคสนาม จากการลงพื้นที่สำรวจ การสัมภาษณ์ และการถ่ายภาพนิ่ง การถ่ายภาพเคลื่อนไหว และการแจกแบบสอบถาม

สรุปผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ และการวิเคราะห์เครื่องประดับ ในประเด็น รูปแบบของเครื่องประดับที่ใช้ในการหล่อเครื่องประดับ และปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับ แบ่งออกเป็นประเภทของเครื่องประดับที่มีจำนวนในการวิเคราะห์แบบรวมทั้งหมด 30 วง โดยเลือกจากรูปแบบที่เป็นที่นิยมมากที่สุด พบว่าข้อมูลที่ได้มีความใกล้เคียงและเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 ด้าน จึงสามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 ด้านรูปแบบของเครื่องประดับที่ใช้ในการหล่อเครื่องประดับพบว่า เครื่องประดับเกือบทั้งสิ้นส่วนมากตัวเรือนนั้นทำด้วยโลหะเงิน (Silver) ทั้งหมด รูปแบบส่วนใหญ่จะเน้นรูปแบบเรียบๆ ไม่ซับซ้อนจนเกินไปมีความเป็นไปได้มากในขั้นตอนการผลิต สามารถนำไปผลิตเป็นเครื่องประดับได้จริงและมีปัญหาในขั้นการผลิต (การหล่อ) น้อยที่สุด ด้านลวดลายของเครื่องประดับไม่ควรมีลวดลาย และไม่ควรซับซ้อนจนเกินไปจะทำให้เครื่องประดับอาจเกิดปัญหาหลายอย่างในขั้นการผลิต (การหล่อ) ได้

1.2 ด้านปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับ พบว่า ปัญหาการผลิตส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นหลัก ปัญหาบุคลากร ปัญหาเครื่องจักร/อุปกรณ์ และปัญหาวัตถุดิบ เป็นปัญหาอันดับรองลงมาตามลำดับ โดยปัญหากระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาหลัก คือ การทำแม่พิมพ์หล่อและการหล่อโลหะ กรณีการฉีดเทียนและติดต้น การทำต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง เป็นปัญหาลำดับรองลงมาตามลำดับ สำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตที่พบมาก เป็นข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานหล่อ มีถึง 6 ลักษณะ ข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานเทียน 5 ลักษณะ และข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง 1 ลักษณะ โดยข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละลักษณะ อาจเกิดจากสาเหตุหลากหลายกรณี

2. การวิเคราะห์วัสดุต่างๆ และวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

2.1 การวิเคราะห์วัสดุ พบว่า โลหะเงิน แร่เงินจะมีสีขาวแข็งกว่าทองเล็กน้อย มีลักษณะทึบ ถ้านำเงินไปขัดเงาจะมีประกายเป็นเงาวับ นอกจากนั้นเงินยังเป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้าได้ดีที่สุดมากกว่าโลหะชนิดอื่น เงินคุณภาพดีต้องมีแร่เงินบริสุทธ์ 99.99% เงิน 92.5% หรือ Sterling Silver คือ โลหะผสมเงินที่มีส่วนผสมของเงินอยู่ 92.5% ที่เหลือ 7.5% จะเป็นแร่ชนิดอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะเป็นแร่ทองแดง ในวงการเครื่องประดับจำเป็นต้องใช้เงิน 92.5% ในการผลิตสินค้า สาเหตุเนื่องมาจากเงินแท้ 100% จะมีความอ่อนตัว ไม่แข็งแรงทนทาน ดังนั้นจึงต้องใช้โลหะเงินผสมในการทำ โดยปัจจุบันนี้ เงิน 92.5% เป็นมาตรฐานสากลทั่วโลกในการทำเครื่องประดับ

2.2 การทดลองวัสดุที่ใช้ในการวิจัย (โลหะเงิน) พบว่า ในการใช้วัสดุเงินมาหล่อขึ้นรูปเครื่องประดับนั้น เงิน 92.5% หรือ Sterling Silver คือ โลหะผสมเงินที่มีส่วนผสมของเงินอยู่ 92.5% ที่เหลือ 7.5% จะเป็นแร่ชนิดอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะเป็นแร่ทองแดง ในวงการเครื่องประดับจำเป็นต้องใช้เงิน 92.5% ในการผลิตสินค้า สาเหตุเนื่องมาจากเงินแท้ 100% จะมีความอ่อนตัว ไม่แข็งแรงทนทาน จึงสามารถหล่อขึ้นรูปได้สวยและสมบูรณ์

3. แบบประเมิน ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบประเมินจำนวน 1 ครั้ง คือ

3.1 การประเมินรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญเลือกแบบเครื่องประดับจากรูปแบบเรียบๆ ไม่ซับซ้อนจนเกินไปมีความเป็นไปได้มากในขั้นตอนการผลิต สามารถนำไปผลิตเป็นเครื่องประดับได้จริง และมีปัญหาในขั้นการผลิต (การหล่อ) น้อยที่สุด และในการวิจัยครั้งนี้มีผลการประเมิน พบว่า การออกแบบที่ใช้รูปทรงแหวนเกลี้ยง ในการออกแบบมีค่าประเมินสูงมากที่สุดคือ แบบที่ 2 ซึ่งเป็นเครื่องประดับที่มีรูปแบบร่วมสมัย สวยงาม และเหมาะสมสามารถนำไปผลิตเป็นต้นแบบเครื่องประดับที่จะนำมาเป็นต้นแบบทดลองหาปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหล่อ

สรุป การตอบแบบประเมินจากผู้เชี่ยวชาญต่อรูปแบบเครื่องประดับที่ทำจากโลหะเงินของการวิจัยในครั้งนี้ จากประเมินของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 คน ซึ่งจากการประเมิน พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจต่อเครื่องประดับที่ทำจากโลหะเงินอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานของการวิจัย

3.2 การประเมินปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญการประเมินปัญหาการผลิตส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นหลัก ปัญหาบุคลากร ปัญหาเครื่องจักร/อุปกรณ์ และปัญหาวัตถุดิบ เป็นปัญหาอันดับรองลงมาตามลำดับ

สรุป การตอบแบบประเมินจากผู้เชี่ยวชาญต่อปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับโดยของการวิจัยในครั้งนี้ จากประเมินของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 คน ซึ่งจากการประเมิน พบว่า ผู้เชี่ยวชาญพบปัญหากระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาหลัก คือ การทำแม่พิมพ์หล่อและการหล่อโลหะ กรณีการฉีดเทียนและติดต้น การทำต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง เป็นปัญหาลำดับรองลงมาตามลำดับ สำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตที่พบมาก เป็นข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานหล่อ มีถึง 6 ลักษณะ ข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานเทียน 5 ลักษณะ และข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง 1 ลักษณะ โดยข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละลักษณะ อาจเกิดจากสาเหตุหลากหลายกรณี

การอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องประดับสมัยใหม่ในประเด็นรูปแบบของเครื่องประดับที่ใช้ในการหล่อเครื่องประดับ ด้านวัสดุ และปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับ พบว่าเครื่องประดับส่วนใหญ่มีรูปแบบที่เน้นรูปแบบเรียบๆ ไม่ซับซ้อนจนเกินไปมีความเป็นไปได้มากในขั้นตอนการผลิต สามารถนำไปผลิตเป็นเครื่องประดับได้จริงและมีปัญหาในขั้นการผลิต (การหล่อ) น้อยที่สุด ด้านลวดลายของเครื่องประดับไม่ควรมีลวดลาย และไม่ควรซับซ้อนจนเกินไปจะทำให้เครื่องประดับอาจเกิดปัญหาหลายอย่างในขั้นการผลิต (การหล่อ) ได้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า ด้านการเลือกใช้วัสดุหรือวัตถุดิบ ในการทำเครื่องประดับ วัสดุที่ใช้ในการทำตัวเรือนส่วนใหญ่ใช้โลหะเงิน (Silver) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับ วรรณรัตน์ อินอ่ำ (2536) ที่กล่าวไว้คือ ในการทำเครื่องประดับโลหะเงินที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์ของเนื้อเงินไม่น้อยกว่า 92.5% มีโลหะอื่นผสมอยู่ได้ต้องไม่เกิน 7.5% ส่วนเงินบริสุทธิ์ 100% เต็มนั้นใช้ไม่ได้เพราะเนื้อเงินอ่อนมาก ส่วนด้านปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับ พบว่าการทำเครื่องประดับส่วนใหญ่ในปัจจุบันใช้วิธีการหล่อขึ้นรูป

จากการวิเคราะห์ด้านปัญหาต่างๆ ในงานหล่อเครื่องประดับ พบว่า ปัญหาการผลิตส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นหลัก ปัญหาบุคลากร ปัญหาเครื่องจักร/อุปกรณ์ และปัญหาวัตถุดิบ เป็นปัญหาอันดับรองลงมาตามลำดับ โดยปัญหากระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาหลัก คือ การทำแม่พิมพ์หล่อและการหล่อโลหะ กรณีการฉีดเทียนและติดต้น การทำต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง เป็นปัญหาลำดับรองลงมา

ตามลำดับ สำหรับข้อบกพร่องในชิ้นงานการผลิตที่พบมาก เป็นข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานหล่อ มีถึง 6 ลักษณะ ข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานเทียน 5 ลักษณะ และข้อบกพร่องที่พบในชิ้นงานต้นแบบและแม่พิมพ์ยาง 1 ลักษณะ โดยข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละลักษณะ อาจเกิดจากสาเหตุหลากหลายกรณี

ข้อเสนอแนะทั่วไป

1. การออกแบบเครื่องประดับนักออกแบบจะต้องคำนึงถึงกระบวนการผลิตด้วย เพราะถ้านักออกแบบใช้หลักการออกแบบเพียงอย่างเดียวโดยไม่คำนึงถึงขั้นตอนการผลิต ผลงานที่ออกแบบมานั้นอาจผลิตไม่ได้หรือไม่เป็นไปตามรูปแบบที่ออกแบบไว้

2. ในการนำผลของการวิจัยนี้ไปใช้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม การผลิตและการประกอบการที่เกี่ยวกับเครื่องประดับ ผู้ที่สนใจหรือผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานหล่อให้เกิดปัญหาน้อยที่สุดหรือไม่เกิดปัญหาอีกในอนาคต และเพื่อช่วยส่งเสริมสินค้าที่เป็นสินค้าส่งออกอันดับต้นๆ ของประเทศช่วยลดต้นทุนในการผลิตเครื่องประดับที่เกิดจากการหล่อที่มีปัญหา และช่วยลดการเสียหายให้กับธุรกิจและวงการอุตสาหกรรมเครื่องประดับเป็นอย่างมาก

ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยครั้งต่อไป

ในการดำเนินงาน การวิจัยปัญหาในงานหล่อ และการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่ ควรระมัดระวัง ความรอบคอบเป็นสิ่งสำคัญในการทำงานด้านนี้เป็นอย่างยิ่ง จากการทำงานด้านนี้และประสบการณ์ที่ผ่านมาได้พบกับความผิดพลาดและข้อบกพร่องอย่างมาก ข้อเสนอแนะต่อไปนี้อาจจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่จะนำไปศึกษาและผู้ที่สนใจได้ไม่มากก็น้อย

- ในการทำงานแต่ละครั้งควรศึกษาให้ละเอียดและควรทำด้วยความรอบคอบ
- ในการทำต้นแบบควรใช้ความรอบคอบในการทำแม่พิมพ์ เพื่อให้ชิ้นงานมีความสะดวกเวลาถอดชิ้นงานต้นแบบออกจากแม่พิมพ์
- ต้นแบบควรทำด้วยความปราณีต
- การออกแบบควรคำนึงถึงวัสดุที่จะนำมาใช้และกรรมวิธีการผลิต
- เวลาเผาชิ้นงานไม่ควรแกะต้นแบบออกจากแม่พิมพ์เร็วเกินไปควรปล่อยชิ้นงานให้หมาด หรือแห้งก่อน เพราะจะทำให้ชิ้นงานเกิดการบิดเบี้ยว

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

การเลือกวิธีการหล่อหลอมโลหะแบบประหยัด. กองบริการอุตสาหกรรม. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. กทม ; พ.ศ. 2547

กรมศิลปากร. “มรดกโลกบ้านเชียง”. กรุงเทพมหานคร ; พ.ศ. 2541 หน้า 22-24

โครงการส่งเสริมพัฒนาเอกลักษณ์ธุรกิจด้านอัญมณีและเครื่องประดับไทยสู่สากล, กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, กระทรวงพาณิชย์, “คู่มือพัฒนาผู้ประกอบธุรกิจด้านอัญมณีและเครื่องประดับไทย (เชิงอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่น)” พ.ศ.2454 หน้า 83.

บรรเลง ศรนิล วิจัยเรื่องการพัฒนาการหล่อโลหะให้ผิวเรียบโดยกรรมวิธี Lost Foam.

เพ็ญศรี ทองนพคุณ. “การวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการหล่อในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ” กรุงเทพมหานคร.

มนัส. “วิธีการตรวจสอบที่ทำกันในงานหล่อ”. พ.ศ. 2538 : หน้า 299-300

สุริยา โชคสวัสดิ์. “วิชาหล่อโลหะเบื้องต้น”. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ส่วนอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการสัมมนา “เรื่อง การหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ”, พ.ศ.2547

สวัสดิ์ ทรัพย์บุญ “การผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ I” มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2544.

สวัสดิ์ ทรัพย์บุญ “การทำต้นแบบเครื่องประดับ I” มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2545.

สุภิญญา วงษ์ศรีรักษา เอกสารประกอบการฝึกอบรม เรื่อง “โลหะมีค่าที่ใช้ผลิตเครื่องประดับกระบวนการผลิตเครื่องประดับ” มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2547.

สมนึก วัฒนศรียกุล และคณะ วิจัยเรื่องศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของสังกะสีที่มีผลต่อคุณภาพงานหล่อตัวเรือนเครื่องประดับโลหะเงิน

รายงานฉบับสมบูรณ์ “คุณสมบัติของโลหะมีค่าสำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ”ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กันยายน 2541

รายงานสรุปผล “การดำเนินการให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกด้านการหล่อ สำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ” ปี 2552 และ ปี2553 สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

วรรณรัตน์ อินทร์อ่ำ. ศิลปะเครื่องประดับ. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮาส์. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์; พ.ศ. 2536.

หริส และ เคนยิ. “การตรวจสอบชิ้นงานหล่อ”. พ.ศ. 2533 : หน้า 181

อภิรัฐ โกสิตานนท์ และคณะ วิจัยเรื่องอิทธิพลของอุณหภูมิหล่อและความเร็วรอบในการเหวี่ยงที่มีผลต่อความสามารถในการไหลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะสังกะสีผสมในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยง

เอกสารประกอบการสัมมนา “การหล่อเครื่องประดับ”. กองบริการอุตสาหกรรม. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. กทม.

เอกสารประกอบคำบรรยาย เรื่อง “โลหะวิทยาเบ้อื งต้นของการผลิตเครื่องประดับทอง” จัดโดย กรมส่งเสริมการส่งออก ชมรมนักวิชาการอัญมณีและเครื่องประดับไทย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและ ภาควิชาวิศกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร “เทคนิคการหล่อเครื่องประดับ” โครงการเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันธุรกิจแฟชั่น สาขาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ภายใต้โครงการกรุงเทพเมืองแฟชั่น กันยายน 2549

เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร อาจารย์สุภิญญา วงษ์ศรีรักษา อาจารย์สิริวรรณ สกุลตันเจริญ “คู่มือแนวทางการแก้ไขข้อบกพร่องในชั้นิ งานหล่อเครื่องประดับ” สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2549.

Bovin M; “Jewelry Making” , 30th, New York, Bovin Publishing, 1997.

Ch.J.Raub, D. Ott; WGold Casting Alloys-The Effect of Zinc Additions on Their BehaviorW, Gold Bulletin, 1983

http://www. ทองแดงกับเครื่องประดับ. Massaro, Edward J., ed. (2002). Handbook of Copper Pharmacology and Toxicology. Humana Press. ISBN 0-89603-943-9

E. Drost and J. Haebelt; “Use of Gold in Jewelry”, Sci., 1992.

Engineering Designer, v 30, n 3, May–June 2004, 6–9 และ Machinery Handbook, Industrial Press Inc, New York, Edition 24, p. 501

http://en.wikipedia.org,

http://www.oknation.net,

http://www. Ppm.co.th

http://www. Pirun.ku.ac.th

http://www.swu.ac.th,

http://www.weloveshopping.com/shop/s_showdata.php?shopid=11899&qid=804838

http://th.wikipedia.org

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านออกแบบเครื่องประดับ
เรื่อง
การวิจัยปัญหาในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่

.....

วัตถุประสงค์

แบบสัมภาษณ์นี้จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องประดับ เพื่อใช้ในการวิจัยเรื่อง **การวิจัยปัญหาในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่** ของ ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์ ผู้วิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดย แบบสัมภาษณ์นี้ผู้วิจัยต้องการเก็บข้อมูลใน 3 ประเด็น ตามความมุ่งหมายของงานวิจัย ดังนี้

1. รูปแบบและลวดลายของเครื่องประดับ

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. การเลือกใช้วัสดุและวัตถุดิบ

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. ด้านเทคนิคกระบวนการสร้างสรรค์ผลงาน

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

(<u>หมายเหตุ</u>: เครื่องมือที่ใช้ในการสัมภาษณ์ เป็นการจดบันทึกด้วยสมุดบันทึก และใช้เครื่องอัดบันทึกเสียง)

แบบประเมินความคิดเห็นต่อรูปแบบเครื่องประดับ
โดยผู้เชี่ยวชาญ

.....

เรียน ผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินนี้จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องประดับ เพื่อใช้ในการวิจัยเรื่อง **การวิจัยปัญหาในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่** ของ นางสาวปริศนา บุญศักดิ์ ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์ ผู้วิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผู้วิจัยขอความกรุณาผู้เชี่ยวชาญสุ่มเลือกตัวอย่างรูปแบบเครื่องประดับที่ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่ามีรูปแบบที่มาสารถนำมาทำชิ้นงานทดลองหาปัญหาในงานหล่อ และสามารถเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกแก่ผู้ประกอบการเครื่องประดับหรือผู้ที่สนใจ อันจะนำไปสู่การลดต้นทุน ลดระยะเลาในการผลิตให้แก่สถานประกอบการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาประเมินรูปแบบตามแบบประเมินนี้

.....

คำชี้แจง แบบประเมินนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน ประกอบด้วย

ตอนที่ 1 การประเมินรูปแบบ ขอความกรุณาผู้เชี่ยวชาญโปรดพิจารณาเลือกรูปแบบที่ท่านเห็นว่ามีความเหมาะสมมากที่สุดจากรูปแบบต่อไปนี้ โดยใส่ค่าระดับคะแนนความคิดเห็นของท่านในช่องด้านหลังรูปแบบ ดังนี้

5 หมายถึง ระดับความคิดเห็นมากที่สุด
4 หมายถึง ระดับความคิดเห็นมาก
3 หมายถึง ระดับความคิดเห็นปานกลาง
2 หมายถึง ระดับความคิดเห็นน้อย
1 หมายถึง ระดับความคิดเห็นน้อยที่สุด

ตอนที่ 2 แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมและข้อเสนอแนะ

ตอนที่ 1 การประเมินรูปแบบ

แบบที่	รูปแบบและลวดลายเครื่องประดับ	ระดับคะแนนต่อจำนวนผู้ที่เห็นด้วย (คน/%) ค่าระดับคะแนนความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
1						
2						
3						
4						
5						

ตอนที่ 2 แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ภาคผนวก ข
รูปแบบเครื่องประดับ

รูปแบบเครื่องประดับ 3 มิติ (SketchDesign)

งที่ 1

บบที่ 2

งที่ 3

งที่ 4

บบที่ 5

ภาคผนวก ค
เอกสารขอความอนุเคราะห์ข้อมูล

ที่ ศธ ๐๕๘๑.๐๗ / ๑๑๘๒

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
๑๓๘๑ ถ.พิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ ๑๐๘๐๐

๔ พฤษภาคม ๒๕๕๕

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เอกสาร และขออนุญาตนำรายละเอียด งานการประกวดของสถาบันฯ ลงงานวิจัย เพื่อเป็นเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เรียน หัวหน้าฝ่ายฝึกอบรม สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริศนา บุญศักดิ์ หัวหน้าสาขาวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ ได้รับทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยฯ เงินงบประมาณประจำปี ๒๕๕๕ งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องประดับสมัยใหม่โดยใช้วัสดุแผ่นดินกระดาษเซรามิกส์ ซึ่งทำวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนารูปแบบของเครื่องประดับ โดยการหาวัสดุที่เป็นนวัตกรรมใหม่ที่ยังไม่เคยมีใครนำวัสดุนี้มาทำเป็นเครื่องประดับมาก่อน และเป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้ศึกษามาพัฒนาการขึ้นรูปต้นแบบเครื่องประดับด้วยเทคนิคการปั๊มขึ้นรูป เพื่อสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ทั้งหมดมาถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้สนใจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พิจารณาแล้วเห็นว่า สถาบันฯ ของท่านเป็นสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับ มีความพร้อมที่สอดคล้องกับงานวิจัย ที่บุคคลทั่วไปรู้จักและให้การยอมรับ โดยเฉพาะฝ่ายฝึกอบรมที่มีหลักสูตรในการอบรมหลายหลักสูตร และทางสถาบันฯ ของท่านยังมีโครงการประกวดออกแบบเครื่องประดับที่ยิ่งใหญ่ทุกปี

ดังนั้น ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริศนา บุญศักดิ์ จึงมีความต้องการขอความอนุเคราะห์เอกสารและขออนุญาตนำรายละเอียดต่างๆ การจัดการประกวดการออกแบบเครื่องประดับ และแบบงานการประกวดที่เกี่ยวกับสถาบันฯ ของท่าน ลงงานวิจัย ลงโปสเตอร์ แผ่นพับงานนิทรรศการ เพื่อเป็นเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และขอนำสถาบันฯ ของท่านลงขอบพระคุณในประกาศคุณูปการหรือกิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิงของงานวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์และอนุญาต

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ ภูผา)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ฝ่ายวิชาการและวิจัย
โทร/โทรสาร ๐-๒๙๑๓-๒๔๘๖

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

<u>หัวหน้าโครงการวิจัย</u>

1. **ชื่อ – นามสกุล** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริศนา บุญศักดิ์
   : Assistant Professor Prissana Boonsak
2. **เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน** 3 1018 01131 25 6
3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8
4. **หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร**
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์
   โทร. 0-2913-2424 ต่อ 187 โทร.มือถือ 081-668-7605
   E-Mail : Prissanaboonsak@gmail.com
5. **ประวัติการศึกษา**
   ปริญญาตรี (ศษ.บ.) ออกแบบศิลปประยุกต์ (ออกแบบผลิตภัณฑ์)
   ปริญญาโท (ศป.ม.) สาขาวิชานวัตกรรมการออกแบบ
6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างวุฒิการศึกษา)**
   6.1 ออกแบบเครื่องประดับ, คอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบเครื่องประดับ
7. **ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิชาภายในประเทศ**
   7.1 ผู้อำนวยการวิจัย : ไม่มี
   7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : การพัฒนาเครื่องประดับสมัยใหม่โดยใช้วัสดุแผ่นดินกระดาษเซรามิกส์
   : การสร้างมูลค่าเพิ่มจากเปลือกหอยให้แก่ชุมชนพื้นที่กลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย
   : การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบเครื่องประดับ
   7.3 งานวิจัยที่ทำแล้วเสร็จ : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน
   1. การพัฒนาเครื่องประดับสมัยใหม่โดยใช้วัสดุแผ่นดินกระดาษเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2555
   2. การสร้างมูลค่าเพิ่มจากเปลือกหอยให้แก่ชุมชนพื้นที่กลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย 2552 วารสารวิชาการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, งานวันนักประดิษฐ์ ปี 2552 และปี 2553 กระทรวงวิทยาศาสตร์
   3. การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบเครื่องประดับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2550