

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเงิน 18 % ผสมทองแดงและอินเดียม

Study of Physical Properties of 18 % Silver Mixed with Copper and Indium

ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง¹ รัตติกรณ์ เสาร์แดน¹ สมพร ปิยะพันธ์¹ สุรัตน์ วรรณศรี² และ สมบัติ น้อยมิ่ง^{2*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

Teerayut Kanchanasangtong¹ Rattikorn Saodaen¹ Somporn Peyapan¹ Surat Wannasri²

and Sombut Noyming^{2*}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Krungthep

2 Nang Linchi Road Thung Maha Mek, Sathorn, Bangkok 10120

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Industry and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan

744 Suranarai Road, Nai Mueang, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000

*Corresponding author Email: sombut.no@rmuti.ac.th

(Received: January 18, 2024 / Revised: June 19, 2024 / Accepted: June 21, 2024)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของโลหะเงินเจือ 18 wt.% ที่มีธาตุทองแดง (Cu) และอินเดียม (In) เป็นธาตุเจือ ซึ่งปริมาณส่วนผสม 80-82% และ 0-2.0% ตามลำดับ โดยทำการเปรียบเทียบโลหะเงินเจือ 18.03Ag อัลลอยด์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ จากการดำเนินการวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้ การผสมโลหะเงิน 18 wt.% ที่มีปริมาณการผสมของทองแดงที่ลดลง และอินเดียมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนผสม 18.03Ag 79.75Cu 2.02In ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงและอินเดียม เท่ากับ 97.54% และ 2.46% ตามลำดับ มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดเท่ากับ $8.50 \pm 0.02 \text{ g/dm}^3$ การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากทองแดงและอินเดียมสามารถหลอมละลายผสมรวมเข้ากับโลหะเงิน เป็นโลหะเงินเจือ 18 wt.% ในรูปของสารละลายของแข็งเนื้อเดียว (Single phase solid solution) โดยธาตุเจือชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ไม่มีการแยกเฟส ชิ้นทดสอบทุกชิ้นมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็นเดนไดรต์ ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรน อันเป็นผลจากการที่น้ำโลหะเกิดการเย็นตัวในสภาวะที่เร็วกว่าสมดุล การวัดค่าระดับสีของชิ้นทดสอบตามค่าปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ตามมาตรฐาน CIELAB เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีผลทำให้ ค่า L^* (ค่าความสว่าง) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อปริมาณเข้มข้นของทองแดงลดลง ในส่วนของค่า a^* (โทนสีแดง) มีแนวโน้มมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่าระดับสีแดงลดลง แต่มีความเป็นสีเขียวเพิ่มมากขึ้น และในส่วนของค่า b^* (โทนสีเหลือง) ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบมีความเป็นสีเหลืองลดลง แต่มีความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนผสม 18.03Ag 79.75Cu 2.02In มีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 97.54% ของอินเดียมเท่ากับ 2.46% มีค่าระดับสีใกล้เคียงกับชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18.03 Ag อัลลอยด์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมากที่สุด โดยมีค่า E ต่ำสุดเท่ากับ 4.48

คำสำคัญ: โลหะเงินเจือ, ทองแดง, อินเดียม

Abstract

This project aimed to study the properties of 18 wt.% sterling silver metal containing 80-82% copper (Cu) and 0-2.0% indium (In) elements, respectively, comparing with 18.03 Ag silver alloys imported from overseas. Based on the physical properties of the test pieces, it can be concluded as follows: The mixing volume of copper decreased and the indium increased mixed with silver metal, making the sterling silver metal 18 wt.% dilute, resulted in a continuous decrease in the density of the test pieces. The one with a mixing rate of 18.03Ag 79.75Cu 2.02In composing of concentration of 97.54% copper and 2.46% indium had minimum density of 8.50 ± 0.02 g/dm³. The microstructure of the test specimens did not change, since copper and indium could be melted into silver metals, becoming a silver metal of 18 wt.% in the form of a single phase solid solution. Every test piece had a dendrite microstructure with a core structure formed within the grain, caused by the metal water cooling in faster-than-balance conditions. For the color measurement of the test specimens according to the color space of the L*a*b system according to CIELAB standard, the color value changed, resulting in a change in the L* (brightness value). The trend continued to decline as copper concentrations decreased. In the a* (red) value, the trend had continued to decline. The red value softened, but the green color increased, and the b* (yellow) value showed a decrease in yellow, while an increase in blueness, which resulted in a mixing rate of 18.03Ag 79.75Cu 2.02In with concentration of 97.54% copper and 2.46% indium with a color level most closest to the test piece 18.03Ag. The most imported alloy, with the lowest E value of 4.48.

Keywords: Metal Sterling Silver, Copper, Indium

1. บทนำ

ในกลุ่มอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่นำโลหะมีค่ามาผลิตเครื่องประดับ อาทิ เช่น เงินสเตอร์ลิง ทองแดง เป็นต้น มาใช้ในการผลิตเครื่องประดับ และผลิตเพื่อการส่งออก และสามารถทำให้เกิดรายได้เข้าประเทศ สำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทย ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งวัตถุดิบที่อุดมสมบูรณ์ ทำให้อุตสาหกรรมเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยมากขึ้น มูลค่าการส่งออกในแต่ละปีมีมูลค่าประมาณสามแสนล้านบาท [1] ที่ก่อให้เกิดการจ้างงานในตำแหน่งต่าง ๆ มากมาย เนื่องจากการผลิตในอุตสาหกรรมนี้ต้องใช้ความประณีตที่มีความละเอียดอ่อน ซึ่งเครื่องจักรไม่สามารถทดแทนได้ และเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มสูง การประกอบการของอุตสาหกรรมสาขานี้ มีทั้งผู้ประกอบการ ที่ดำเนินการผลิตขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก รวมถึงผู้ประกอบการระดับครัวเรือน กระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ กระบวนการผลิตต่าง ๆ นั้นยังคงต้องอาศัยเทคนิคทางด้านความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน ทำให้โรงงานเครื่องประดับส่วนใหญ่ขาดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต จึงก่อให้เกิดความเสียหายจำนวนมากที่ไม่สามารถควบคุมได้ และเป็นสาเหตุสำคัญที่ลดทอนความสามารถของการแข่งขันทางธุรกิจเนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่สูง

ในส่วนกระบวนการหล่อผลิตเครื่องประดับ ซึ่งนับได้ว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญส่วนหนึ่งในการผลิตเครื่องประดับ เนื่องจากเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะเพื่อทำให้เป็นชิ้นงานเครื่องประดับ และเป็นกระบวนการที่เพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบเป็นอย่างมาก แต่มีข้อเสียคือเป็นกระบวนการที่มีเสียค่าใช้จ่ายสูงในขั้นตอนดำเนินการ และเป็นกระบวนการที่ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตอย่างเห็นได้ชัด [2] จากปัญหาการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับดังที่ได้กล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพัฒนาเพิ่มมูลค่าของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสม และอินเดียมเพื่อเพิ่มสมบัติกันหมอง สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ โดย

ทำการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือทองแดง และเงิน ที่มีผลต่อ โครงสร้างจุลภาค ความแตกต่างของค่าระดับสี พฤติกรรมความต้านทานการหมอง พฤติกรรมการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อน และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการหล่อขึ้นรูปโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมทองแดง และอินเดียมเพื่อเพิ่มสมบัติกันหมอง จากสถาบันการศึกษามีหน้าที่ในการเข้าไปศึกษาวิจัยเพื่อแก้ปัญหาอุปสรรคที่มีอยู่ในการทำวิจัยนี้จึงเป็นการประยุกต์เอาโลหะวิทยามาใช้ในการศึกษา สามารถนำเอาผลการวิจัยไปเผยแพร่ และอ้างอิงได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาดังแต่กระบวนการหล่อโดยเครื่องหล่อแบบดูดสุญญากาศโดยใช้โลหะเงินสเตอร์ลิงทองแดง และอินเดียม เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาค ความแตกต่างของค่าระดับสี เพื่อให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการยึดอายุการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตเครื่องประดับ [2]

2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1. ในการจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ผู้วิจัยได้แยกหัวข้อในการเตรียมวัสดุไว้ดังต่อไปนี้

2.1.1 วัสดุเตรียมแบบหล่อ ได้แก่ เทียนซีฟิ่งสำหรับทำกระสวนปูนปาสเตอร์ทำแบบหล่อ

2.1.2 วัสดุสำหรับการหล่อหลอมโลหะและหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ คือ เบ้าแกรไฟต์สำหรับหลอมผสมโลหะ และหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ ฉนวนกันความร้อนชนิดต่าง ๆ

2.1.3 วัสดุสำหรับการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค เช่น กระดาษทรายเบอร์ต่าง ๆ ผ้าขัดสักหลาด สำหรับการศึกษาค้นคว้าโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์

2.2 การเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์

การจัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยได้แยกหัวข้อการเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ไว้ดังต่อไปนี้

2.2.1 เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการหลอมผสมโลหะและการหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบในการทดลองศึกษาวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องหลอมผสมเทเมตโลหะ เครื่องหล่อดูดสุญญากาศ และเครื่องมืออุปกรณ์การหล่อ

2.2.2 เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกายภาพประกอบไปด้วย วัดค่าสีโดยใช้เครื่องทดสอบ Photo Spectrometer ความหนาแน่น การหาปริมาตรของขึ้นทดสอบ ใช้ขึ้นทดสอบแทนที่น้ำ มวลของขึ้นทดสอบใช้ตาชั่งตวงน้ำหนักสามตำแหน่ง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

2.2.3 เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีในการศึกษาผลงานวิจัยนี้ โดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์คือ เครื่อง X - Ray Fluorescence Spectrometer วิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมของขึ้นทดสอบ

2.3 การหลอมผสมโลหะและหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ การเตรียมวัตถุดิบ

2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย เงินบริสุทธิ์ (Ag) ทองแดงบริสุทธิ์ (Cu) และอินเดียมบริสุทธิ์ (In) แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุดิบมีดังนี้



ก. เงินบริสุทธิ์ 99.99%



ข. ทองแดงบริสุทธิ์ 99.99%

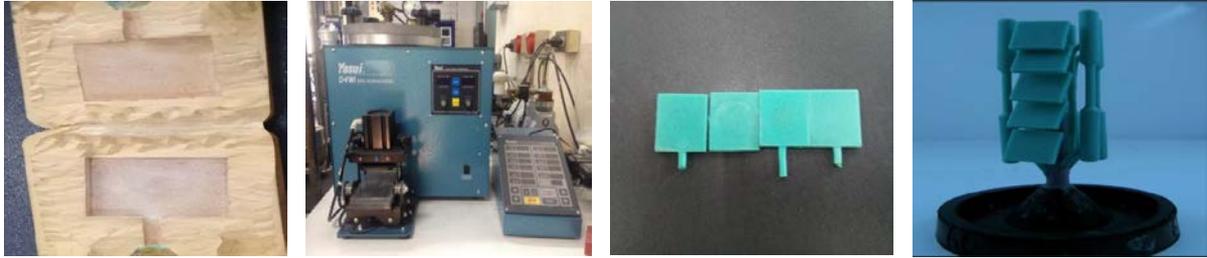


ค. อินเดียมบริสุทธิ์ 99.99%

รูปที่ 1 วัตถุดิบที่ใช้สำหรับการหล่อขึ้นรูปทดสอบ

2.3.2 ขั้นตอนการเตรียมกระสวนซี่ผึ้ง

ในขั้นตอนการหลอมโลหะเงินผสม ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็นแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้ การฉีดขึ้นรูปกระสวนซี่ผึ้งในแบบฉีดกระสวนยางด้วยเครื่องฉีดซี่ผึ้งยี่ห้อ Yasui รุ่น D-VWI เพื่อทำต้นแบบในการขึ้นรูปชิ้นส่วนทดสอบ โดยห้องปฏิบัติการวัสดุและการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม



ก. แบบฉีดกระสวน ข. เครื่องฉีดเทียน Yasui รุ่น D-VWI ค. แบบกระสวน ง. การติดกระสวนบนต้นเทียน

รูปที่ 2 ขั้นตอนผลิตขึ้นรูปชิ้นทดลอง

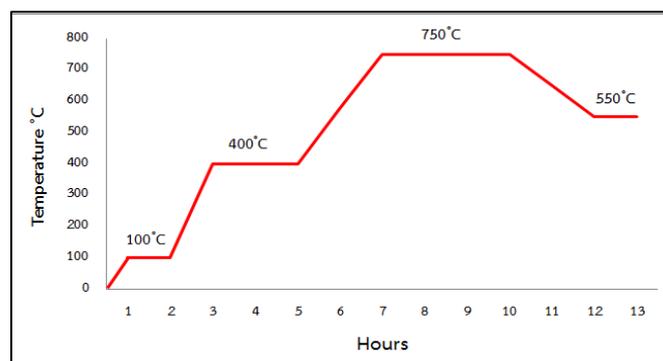
2.3.3 การเตรียมแบบหล่อ

ผู้วิจัยได้นำกระสวนแบบหล่อที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปมาทำการติดเป็นต้นเทียน แล้วเตรียมกระบอกปูนพลาสเตอร์ด้วยแบบหล่อดังรูปที่ 3 (ก) จากนั้นทำการเตรียมกระบอกปูนพลาสเตอร์ โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนพลาสเตอร์ : น้ำ เท่ากับ ปูนพลาสเตอร์ 1 กิโลกรัม : น้ำ 380 มิลลิตร ดังรูปที่ 3 (ข) โดยการนำกระบอกสแตนเลสแบบหล่อปูนพลาสเตอร์เข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 750 °C ดังรูปที่ 3 (ค) แล้วลดอุณหภูมิกระบอกปูนลงมาที่อุณหภูมิ 550 °C ตามรายละเอียดขั้นตอนการเพิ่มอุณหภูมิอบกระบอกปูนที่แสดงในรูปที่ 4 (Investment Powder)



ก. เตรียมกระบอกหล่อ ข. ดึงอากาศออกจากแบบหล่อ ค. การอบกระบอกปูนแบบหล่อ

รูปที่ 3 ขั้นตอนในการเตรียมแบบหล่อ



รูปที่ 4 ลำดับขั้นตอนการให้ความร้อนในการอบกระบอกปูนแบบหล่อ

2.3.4 การหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ

การดำเนินการทดลองหล่อโลหะเงินเจือ 18 wt.% ขึ้นรูปเป็นขึ้นทดสอบ มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ โดยขั้นตอนแรกทำให้ขี้ผึ้งหรือ wax เป็นของเหลวเพื่อที่จะทำการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ยางและทำการติดต้นเทียน จากนั้นทำแบบหล่อปูนพลาสติก นำกระบอกปูนครอบชิ้นงานที่ติดต้นเทียนแล้วพันด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการไหลของปูนออกจากเบ้า จากนั้นผสมปูนด้วยการชั่งน้ำหนักปูนและปริมาณน้ำ (อัตราส่วน 100:38) การผสมปูนจะต้องเหนียวบางส่วนก่อนแล้วตามด้วยปูนและตามด้วยน้ำที่เหลือ หลังจากนั้นก็ใช้เครื่องตีปูนผสมให้เข้ากัน นำไปตูดอากาศออกจากปูนประมาณ 1 นาที ทำการเทปูนลงเบ้า นำไปตูดอากาศออกจากปูนอีกครั้ง ประมาณ 1 นาที รอเบ้าปูนแห้ง จึงจะแกะพลาสติกและฐานยางออก จากนั้นนำเข้าเตาอบปูนหรือเผาแบบหล่อปูนพลาสติก หลังจากเบ้าปูนแห้งนำไปเข้าเตาอบโดยตั้งอุณหภูมิตั้งต่อไปนี้ อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 750 °C เวลาที่ใช้ในการอบประมาณ 13 ชั่วโมง โดยปรับระดับอุณหภูมิให้ ชั่วโมงแรกอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้นออกจากเบ้า หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วยืนอุณหภูมิไป 3 ชั่วโมง เพื่อละลายเทียนออกจากเบ้าและเทียนก็จะละลายออกจนหมดและเพื่อให้ปูนขยายตัวทำให้โครงสร้างเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 750 °C เพื่อเผาไหม้เทียนเป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วคงที่อุณหภูมิไว้ 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นลดอุณหภูมิลงที่ 550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วคงที่อุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง เพื่ออบรักษาอุณหภูมิเบ้า และทำการหลอมโลหะ และการเทหล่อขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อดูดสุญญากาศ จากนั้นพักกระบอกปูนโดยการวางไว้นิ่งเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้น้ำโลหะเย็นตัวและแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ แล้วทำลายแบบหล่อปูนพลาสติกเพื่อนำชิ้นงานหรือขึ้นทดสอบออกจากแบบหล่อปูนพลาสติก โดยการทำความสะอาดชิ้นงานหรือขึ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกหรือ กรดกัดแก้วเพื่อกัดปูนพลาสติกที่เกาะติดแน่นกับชิ้นงานออก และตัดแบ่งขึ้นทดสอบออกจากต้นเทียนจะได้ขึ้นทดสอบสำหรับการศึกษาวิเคราะห์ทดสอบ สมบัติต่าง ๆ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.1.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์ ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี การศึกษาโลหะเงินผสมที่ 18 wt.% ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดสัดส่วนการผสม (wt.%) สำหรับเป็นโมเดลในการทดลอง ดังแสดงตามตารางที่ 1 หลังจากที่ได้ดำเนินการหลอมผสมโลหะต่าง ๆ ที่เป็นส่วนผสมสำหรับงานวิจัยแล้ว ทำการหล่อขึ้นรูปเป็นขึ้นทดสอบ หลังจากนั้นนำขึ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์ ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง X - Ray Fluorescence Spectrometer ยี่ห้อ Fischer รุ่น XDAL จากการวิเคราะห์ ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของขึ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป พบว่าธาตุเจือชนิดต่าง ๆ ที่ผสมอยู่ภายในขึ้นทดสอบมีปริมาณใกล้เคียงกับธาตุตั้งต้นแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่าธาตุเจือต่าง ๆ เหล่านี้ไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการหลอมผสมโลหะ และหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบโดยเฉพาะธาตุอินเดียมที่มีอุณหภูมิหลอมละลายแตกต่างจากเงิน และทองแดงค่อนข้างมาก ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้สำหรับทำการหลอมผสมโลหะ และหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดค่อนข้างมาก

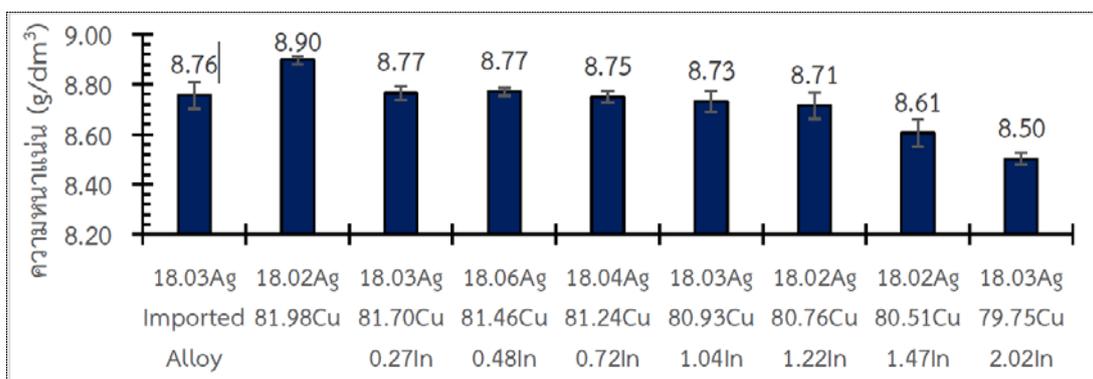
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบ

Sample	สัดส่วนการผสม (%)			ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผล (wt.%)		
	Ag	Cu	In	Ag	Cu	In
18.03 Ag Imported Alloy	18.03	NA	NA			
18.02 Ag 81.98 Cu	18.00	82.00	0.00	18.02	81.98	
18.03 Ag 81.70 Cu 0.27 In	18.00	81.75	0.25	18.03	81.70	0.27
18.06 Ag 81.46 Cu 0.48 In	18.00	81.50	0.50	18.06	81.46	0.48
18.04 Ag 81.24 Cu 0.72 In	18.00	81.25	0.75	18.04	81.24	0.72
18.03 Ag 80.93 Cu 1.04 In	18.00	81.00	1.00	18.03	80.93	1.04
18.02 Ag 80.76 Cu 1.22 In	18.00	80.75	1.25	18.02	80.76	1.22
18.02 Ag 80.51 Cu 1.47 In	18.00	80.50	1.50	18.02	80.51	1.47
18.03 Ag 79.75 Cu 2.02 In	18.00	80.00	2.00	18.03	79.95	2.02

3.2 ผลการศึกษาวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

3.2.1 ความหนาแน่น

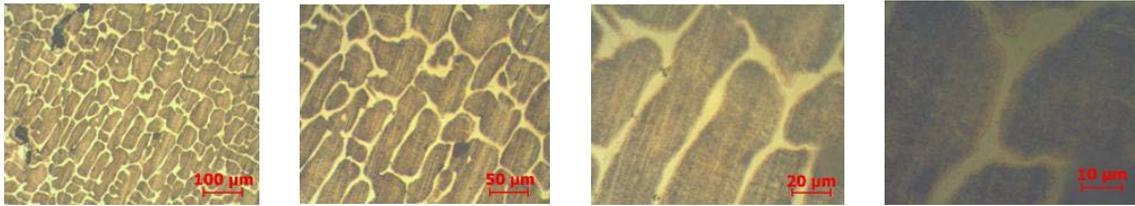
จากการวิเคราะห์ ตรวจสอบค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ผสมทองแดง และผสมทองแดง-อินเดียม พบว่าชิ้นทดสอบ 18.02 Ag 81.98 Cu ที่มีการผสมธาตุทองแดงเพียงอย่างเดียวมีค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 8.90 g/dm^3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ผสมทองแดง-อินเดียมและชิ้นทดสอบ 18.03 Ag ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศที่มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 8.76 g/dm^3 ดังผลการวิเคราะห์ ทดสอบที่แสดงในรูปที่ 5 แต่เมื่อมีการเจือธาตุอินเดียมเพิ่มเข้าไปพบว่าปริมาณการผสมอินเดียมที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าความหนาแน่นชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% มีแนวโน้มมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องแปรผกผันกับปริมาณของธาตุอินเดียมที่เพิ่มขึ้นซึ่งยืนยันผลการเปรียบเทียบด้วยค่าความเข้มข้นของทองแดง (Cu) และอินเดียม (In)



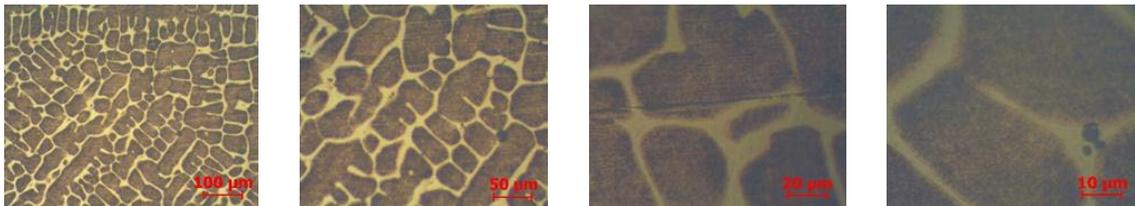
รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ผสมทองแดงและทองแดง-อินเดียม

3.3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาค

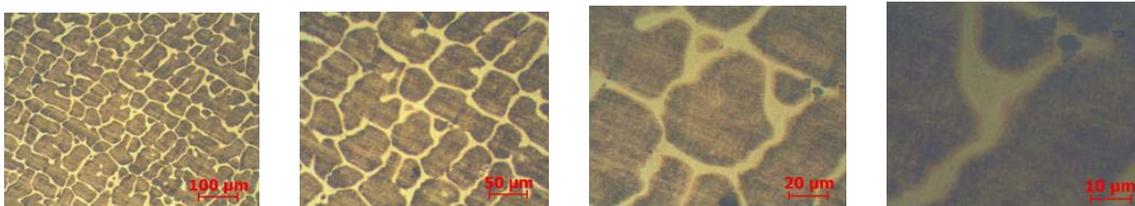
จากการศึกษาวิเคราะห์ ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18wt.% ผสมทองแดงและทองแดง-อินเดียมที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป พบว่าชิ้นทดสอบทุกชิ้นมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็นเดนไดรต์ ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรนที่เกิดจากการที่น้ำโลหะเกิดการเย็นตัวในสถานะที่เร็วกว่าสมดุลดังลักษณะที่แสดงในรูปที่ 6 – รูปที่ 7 และรูปที่ 8 นอกจากนี้เม็ดเกรนที่ได้อังมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ส่งผลให้ส่วนผสมภายในไม่สม่ำเสมอซึ่งลักษณะโครงสร้างจุลภาคเทียบกับแผนภาพสมดุลเฟสเงิน-ทองแดงเงิน-อินเดียม และเงิน-ทองแดง-อินเดียม พบว่า อินเดียมสามารถละลายในเงิน และทองแดงได้ดีในลักษณะสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ในรูปของเฟส (Ag+Cu)



รูปที่ 6 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18.03 Ag 80.93 Cu 1.04 In



รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18.02 Ag 80.76 Cu 1.22 In



รูปที่ 8 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18.03 Ag 79.75 Cu 2.02 In

4. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยเพื่อหาอัตราส่วนผสมของชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ผู้วิจัยสรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษาวิจัย ดังต่อไปนี้

4.1 ชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ที่ประกอบด้วยเงิน (Ag) ทองแดง (Cu) อินเดียม (In) พบว่า ค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนผสม 18.03Ag 79.75 Cu 2.02In หรือมีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 97.54% (หรือปริมาณความเข้มข้นของอินเดียมเท่ากับ 2.46%) มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดเท่ากับ $8.50 \pm 0.02 \text{ g/dm}^3$

4.2 ชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ที่ประกอบด้วยเงิน (Ag) ทองแดง (Cu) อินเดียม (In) พบว่า ค่าระดับสีของชิ้นทดสอบตามค่าปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ตามมาตรฐาน CIELAB เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีผลทำให้ ค่า L^* (ค่าความสว่าง) มีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 101.95 ที่ปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 98.51% (หรือปริมาณความเข้มข้นของอินเดียมเท่ากับ 1.49%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบมีความสว่างเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นปริมาณเข้มข้นของทองแดงที่ลดลงอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้ค่า L^* มีแนวโน้มมีค่าลดลงเล็กน้อยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบมีความสว่างลดลง ในส่วนของค่า a^* (โทนสีแดง) มีแนวโน้มมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่าระดับสีออกไปทางสีแดงลดลง แต่มีความเป็นสีเขียวเพิ่มมากขึ้น และในส่วนของค่า b^* (โทนสีเหลือง) ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบมีความเป็นสีเหลืองลดลง แต่มีความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนผสม 18.03Ag 79.75Cu 2.02In หรือมีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 97.54% (หรือปริมาณความเข้มข้นของอินเดียมเท่ากับ 2.46%) มีค่าระดับสีใกล้เคียงกับชิ้นทดสอบ 18.03Ag Imported Alloy ผสมอัลลอยด์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมากที่สุด โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ

4.48

4.3 ชั้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ที่ประกอบด้วยเงิน (Ag) ทองแดง (Cu) อินเดียม (In) พบว่า ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชั้นทดสอบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากทองแดง และอินเดียมสามารถหลอมละลายผสมรวมเข้ากับโลหะเงินเป็นโลหะเงินเจือ 18 wt.% ในรูปของสารละลายของแข็งเนื้อเดียว (Single phase solid solution) โดยโลหะเงินหรือธาตุเจือชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ไม่มีการแยกเฟส แต่ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชั้นทดสอบทุกชั้นมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรน ที่เกิดจากการที่น้ำโลหะเกิดการเย็นตัวในสภาวะที่เร็วกว่าสมดุล

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ รวมไปถึงสาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์การทดลองในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมศุลกากร ประมวลผลโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2565, พฤศจิกายน 24). สถานการณ์ส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับไทยเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.thaitextile.org/th>
- [2] ชูติมันต์ จันทร์เมือง และคณะ. โครงการการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินบาง ระบบสำหรับเครื่องประดับและอิทธิพลของธาตุเจือบางชนิดต่อความแข็ง และความต้านทานการหมอง, (2555).
- [3] Lawrence Addicks. Silver in Indusulting. Consulting Engineer, p. 38
- [4] เกศราพร วาฬัญญ. การศึกษาอิทธิพลของดีบุกที่มีผลต่อการคืนตัวของโลหะเงินสเตอร์ลิง (93%Ag-.7% Cu). วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2549).
- [5] Phase diagram Ag-Cu. (2015, November. 8). แผนภาพสมดุลเฟสของโลหะเงิน-ทองแดง. //// [Online].Available : <http://lib.znate.ru docs index-9861.html>
- [6] Phase diagram Ag-In. (2015, Novembe. 8). แผนภาพสมดุลเฟสของโลหะเงิน-อินเดียม. /// [Online]./Available/: https://www.researchgate.net/figure/Ag-In-phase-diagram-Redrawn-from-the-ASM-Handbook-Online_fig7_225803991
- [7] สุรัตน์ วรรณศรี. การศึกษาวิเคราะห์สมบัติโลหะเงินสเตอร์ลิงจากกรรมวิธีทางความร้อน วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิตบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, (2543)
- [8] สุรัตน์ วรรณศรี และคณะ. ความแตกต่างของระดับสีทองคำกะรัต. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, (2549)
- [9] ธนาธิป สะและหน่าย. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือ 58.4% สำหรับการผลิตเครื่องประดับ วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล มงคลธัญบุรี, (2554)