

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

อิทธิพลของอะลูมิเนียมผสมที่มีผลต่อความต้านทานความหมองของเงินสเตอร์ลิง

Influence of Aluminium Alloy on Tarnish Resistance of Sterling Silver

สิริพร โรจนนันต์^{1*} ศันสนีย์ ฉิมกุล¹ และ สุรสิษฐ์ โรจนนันต์²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

*ผู้ติดต่อ: โทรศัพท์: (662)4708695-9 ต่อ 322, โทรสาร: (662)4708643

E-mail: siriporn.roj@kmutt.ac.th, schimkul@hotmail.com, surasit.roj@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

เงินสเตอร์ลิงเป็นโลหะที่นิยมใช้ทำเครื่องประดับ จึงต้องมีความต้านทานความหมองที่ดี วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของอะลูมิเนียมผสมที่มีผลต่อความต้านทานความหมองของเงินสเตอร์ลิงที่มีส่วนผสมของ 93Ag-6.4Cu-0.4Sn-0.2In วิธีทดลองเริ่มจากการหลอมวัตถุดิบโดยใช้เตาหลอมไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส แล้วหล่อเป็นอินกอต จากนั้นศึกษาโครงสร้างจุลภาค ทดสอบความแข็ง และทดสอบความต้านทานความหมองของชิ้นงาน ผลการทดลองพบว่าโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อทุกส่วนผสม มีลักษณะเป็นเดนไดรต์ของเฟสอัลฟาที่มีเงินเป็นส่วนผสมหลัก และมีเฟสยูเทคติกที่บริเวณช่องว่างระหว่างเดนไดรต์ ความแข็งของเงินสเตอร์ลิงมีค่าตั้งแต่ 73 ถึง 94 ± 3 วิกเกอร์ ขึ้นอยู่กับปริมาณของอะลูมิเนียมผสมที่เติมลงไป ผลการทดลองสรุปได้ว่าการเติมอะลูมิเนียมผสมในเงินสเตอร์ลิง สามารถเพิ่มความต้านทานความหมองและความแข็งได้

คำหลัก: เงินสเตอร์ลิง อะลูมิเนียมผสม ความต้านทานความหมอง ความแข็ง

Abstract

Sterling silver is metal that favors to make jewelries, so it should be good tarnish resistance. The objective of this research was to investigate the effect of aluminum alloy on the tarnish resistance of sterling silver, 93Ag-6.4Cu-0.4Sn-0.2In. The experiment started with melting the raw materials by electrical furnace at the temperature of 1,000 °C; subsequently, cast into ingots. After that, the microstructures, microhardness and tarnish resistance were investigated. The results showed that all compositions of the as-cast microstructures showed dendrite structure which consisted of Ag-rich phase and eutectic phase with the hardness from 73 to 94 ± 3 HV. The hardness of samples depended on the content of aluminium alloys addition. It could be concluded that the aluminium alloy addition in sterling silver can improve the tarnish resistance and hardness.

Keywords: Sterling Silver, Al Alloy, Tarnish resistance, Hardness.

1. บทนำ

เงินสเตอร์ลิงเป็นโลหะที่นิยมใช้ทำเครื่องประดับ เนื่องจากมีราคาที่สูงกว่าเครื่องประดับที่ทำจากทองคำ (Gold) และแพลทินัม (Platinum) จึงเป็นที่นิยมทั่วไป สามารถซื้อหาได้ง่าย และมีรูปแบบที่หลากหลายของสินค้า โลหะเงินบริสุทธิ์เป็นโลหะอ่อน มีความแข็งแรงประมาณ 26 กิโลกรัม ทำให้เกิดรอยขีดข่วนได้ง่าย และการกัดกร่อนด้วยกรดไม่ดีเท่าที่ควร ในการผลิตเครื่องประดับเงินส่วนใหญ่จึงนิยมใช้โลหะเงินสเตอร์ลิง (Sterling Silver) หรือที่นิยมเรียกว่าโลหะเงิน 925 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีของธาตุเงินบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 92.5 และธาตุผสมอื่นไม่เกินร้อยละ 7.5 [1]

การเพิ่มความแข็งแรงของเงินสเตอร์ลิงสามารถทำได้โดยกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน เช่น การเติมธาตุผสม การแปรรูปเย็น การบ่มแข็ง เป็นต้น ในแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับรูปแบบ (Design) ของเครื่องประดับแตกต่างกัน การผสมทองแดงในเงินบริสุทธิ์สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของงานหล่อได้ ทำให้ความแข็งแรงมีค่าประมาณ 50-73 กิโลกรัม [2] ขึ้นกับปริมาณของทองแดงในช่วงร้อยละ 3-6 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้การได้เติมทองแดงผสมซิลิคอน ในปริมาณร้อยละ 0.1-0.2 โดยน้ำหนัก ทำให้ความแข็งแรงของงานหล่อและงานรีดเพิ่มขึ้น เงินสเตอร์ลิงที่ผสมทองแดงมักพบปัญหาเกิดคราบแดง คราบดำ เนื่องจากทองแดงสามารถรวมกับออกซิเจนทำให้เกิดสารประกอบออกไซด์ที่ผิว จึงมีการเติมธาตุที่ทำหน้าที่เป็นตัวลดออกซิเจน (Deoxidizer) เข้าไป เช่น อะลูมิเนียม ซิลิคอน และดีบุก เป็นต้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว [3, 4] การเติมซิลิคอนที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มสมบัติทางกลควรเติมปริมาณร้อยละ 0.02-0.20 โดยน้ำหนัก ถ้าเติมมากกว่าร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนัก จะทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายตามขอบเกรน ทำให้มีความเปราะมาก [4]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเติมอะลูมิเนียม หรือแมกนีเซียม ปริมาณร้อยละ 0.1-5.0 โดยน้ำหนัก จะทำให้โลหะเงินสเตอร์ลิงมีความแข็งแรงประมาณ 150-160 กิโลกรัม [5] แต่ถ้าเติมอะลูมิเนียม

มากกว่าร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก จะทำให้โลหะเงินมีสีไม่สวย และยังทำให้มีความแข็งแรงสูงมาก ยากต่อการขึ้นรูปเครื่องประดับ [3] การเติมดีบุกร้อยละ 0.2-2.0 โดยน้ำหนักในงานหล่อจะทำให้สมบัติความต้านทานความเค้น และความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ [6] และการเติมอินเดียมร้อยละ 0.01-1.25 โดยน้ำหนัก จะเป็นตัวลดขนาดเกรน ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้โลหะเงินสเตอร์ลิง และยังช่วยให้มีความต้านทานความเค้นที่ดี [5, 6] การเติมสังกะสี ปริมาณร้อยละ 1-2 โดยน้ำหนัก จะช่วยเพิ่มการไหลตัวของน้ำโลหะให้เต็มโพรงแบบได้ง่ายขึ้น เก็บรายละเอียดของชิ้นส่วนได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ผิวงานเรียบสวยงาม [7]

นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มความแข็งแรงด้วยการบ่มแข็ง (Age Hardening) ของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมดีบุกร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้สูงสุดมีค่า 167 กิโลกรัม [8] สำหรับเงินสเตอร์ลิงที่มีส่วนผสมของ 93Ag-3.1Cu-0.9Al สามารถบ่มแข็งเพิ่มความแข็งแรงได้สูงสุดถึง 211 กิโลกรัม [9] วิธีการบ่มแข็งสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้สูงขึ้นได้ แต่ต้องเพิ่มขั้นตอนอีกหลายขั้นตอนในกระบวนการผลิต เช่น ขั้นตอนการอบละลายเฟส ขั้นตอนการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว และการบ่มแข็ง เป็นต้น ซึ่งต้องใช้เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม ทำให้กระบวนการผลิตยาวขึ้น

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ทราบว่า การเติมดีบุก และอินเดียม ช่วยเพิ่มความต้านทานความเค้น ส่วนการเติมอะลูมิเนียม แมกนีเซียม และซิลิคอน ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโลหะเงินสเตอร์ลิง แต่ยังไม่มีความชัดเจนเกี่ยวกับอิทธิพลของการเติมอะลูมิเนียมผสม ว่ามีผลอย่างไรต่อความต้านทานความเค้น จึงเป็นสิ่งที่ต้องการความชัดเจน นอกจากนี้ เพื่อเป็นการตอบสนอง ความต้องการของภาคอุตสาหกรรมเครื่องประดับเงิน ที่ต้องการลดขั้นตอนการเพิ่มความแข็งแรงของโลหะเงินสเตอร์ลิงให้เหลือเพียงขั้นตอนเดียว แล้วได้ความแข็งแรงที่สูงขึ้นในขั้นตอนการหล่อ โดยไม่ต้องนำชิ้นงานไปเพิ่มความแข็งแรงโดยการรีด หรือนำไปผ่านการบ่มแข็ง และต้องไม่เสียสมบัติความต้านทานความเค้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยมี

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอะลูมิเนียมผสม (98.2Al-1.1Mg-0.7Si หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก) ที่มีผลต่อความต้านทานความหองของเงินสเตอร์ลิง 93Ag-6.4Cu-0.4Sn-0.2In เพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้ใหม่เพื่อเป็นแนวทางสำหรับทำวิจัยต่อไป

2. วิธีดำเนินการทดลอง

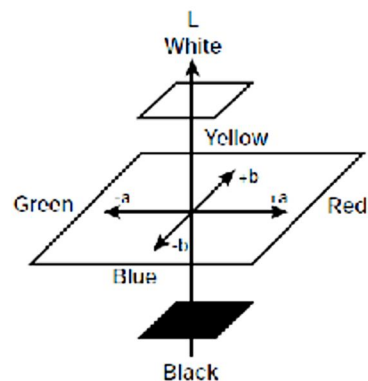
ในงานวิจัยนี้ ทำการเตรียมเงินสเตอร์ลิงที่มีส่วนผสมตามต้องการ จากโลหะเงินมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 โลหะทองแดงมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.50 โลหะดีบุกมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.50 โลหะอินเดียมมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.90 และโลหะอะลูมิเนียมผสม ส่วนผสมของเงินสเตอร์ลิงที่ศึกษา มีส่วนผสมของ 93Ag-(6.4-x)Cu-0.4Sn-0.2In โดยที่ x คือปริมาณของอะลูมิเนียมผสม (หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก) ในปริมาณ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ

วิธีการทดลองเริ่มจาก หลอมโลหะด้วยเตาขดลวดต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศปกติ แล้วหล่อในแม่พิมพ์โลหะได้เป็นอินกอต จากนั้น นำอินกอตไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบด้วยเทคนิค ICP โดยใช้เครื่อง PerkinElmer 4300DV

ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง รุ่น Olympus BH การเตรียมผิวชิ้นงานสำหรับศึกษาโครงสร้างจุลภาค ทำได้โดยนำชิ้นงานไปขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ต่างๆ ตั้งแต่เบอร์ 200, 400, 800, 1000 และ 1200 แล้วขัดเงาด้วยผงอะลูมิเนียมขนาด 1.0 และ 0.05 ไมครอน จากนั้นกัดกรดด้วยสารละลายของกรดซัลฟูริก 4 มิลลิลิตร กรดโครมิก 7.5 กรัมและน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใช้เวลา 60 วินาที การทดสอบความแข็งจุลภาคใช้เครื่อง ผลิตโดยบริษัท Shimadzu รุ่น HMV-2000 ใช้น้ำหนักกด 200 กรัม เวลากด 15 วินาที

การทดสอบความหอง ทำได้โดยเตรียมชิ้นงานให้มีพื้นที่สำหรับใช้วัดแสง ขนาดความกว้าง x ยาว เท่ากับ 20 มิลลิเมตร x 30 มิลลิเมตร ขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ ตามด้วยการขัดเงาด้วยยาขัดสี

ขาว (Hyfin) ยาขัดสีเขียว (Dialux Green) และสีแดง (Dialux Red) ตามลำดับ ทำความสะอาดผิวด้วยเครื่องอัลตราโซนิก ทำชิ้นงานให้แห้ง หลังจากนั้นนำชิ้นงานแช่ในไอสารละลายอิมตัวของโซเดียมซัลไฟด์ (Sodium Sulfide, $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5, 15 และ 30 นาที แล้ววัดค่าสีที่เปลี่ยนแปลง (DE^*) ตามมาตรฐาน Commission International d' Eclairage (CIELAB) [10] ปลายชิ้นงานด้านล่างแขวนห่างจากสารละลายระยะ 50 มิลลิเมตร เท่ากันทุกชิ้น ส่วนผสมละ 3 ชิ้นงาน แต่ละชิ้นงานวัดหาค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ครั้ง



รูปที่ 1 ปริภูมิสีในระบบ $L^*a^*b^*$ [10]

ตามมาตรฐาน CIELAB มีการกำหนดค่าปริภูมิสี ระบบ $L^*a^*b^*$ ดังรูปที่ 1 ค่า a^* แสดงค่าสีแดงถึงสีเขียว โดยค่า +100 คือสีแดงเข้ม -100 คือสีเขียว b^* แสดงค่าสีเหลืองถึงสีน้ำเงินโดย +100 คือสีเหลือง และ -100 คือสีน้ำเงิน และ L^* แสดงค่าความสว่าง โดยค่า 0 คือ สีดำ และ +100 คือสีขาว และการหาค่าความแตกต่างของสี (Colour Difference Range, DE^*) เป็นการนำค่าระดับสีเริ่มต้นเปรียบเทียบกับสีเป้าหมาย ค่า DE^* คำนวณด้วยสมการดังนี้

$$\text{DE}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

การทดสอบใช้เครื่อง Spectrophotometer ผลิตโดยบริษัท Konica Minolta รุ่น CM-700d โดยใช้

แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65 หลอดซีนอน มุมมอง
ในสภาวะการวัดมีค่าคงที่ใช้ 10 องศา

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

3.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

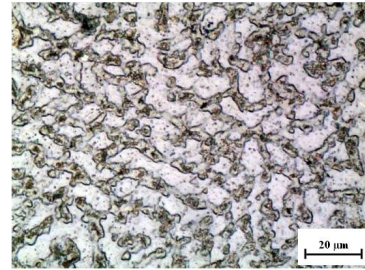
ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี ของชิ้นงาน
เงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการหล่อ ด้วยเทคนิค ICP แสดงใน
ตารางที่ 1 ในที่นี้ใช้สัญลักษณ์ x แทนปริมาณของ
อะลูมิเนียมผสมที่เติม (หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)
ตลอดทั้งบทความ พบว่าปริมาณธาตุที่ได้จากการ
วิเคราะห์ มีปริมาณธาตุแตกต่างจากส่วนผสมที่
ต้องการจากเริ่มต้นเล็กน้อย ปริมาณธาตุบางธาตุมีการ
สูญหายจากกระบวนการหลอม ซึ่งเป็นเรื่องปกติ
เนื่องจากการหลอมและหล่อในบรรยากาศธรรมดา
ดังนั้นระหว่างโลหะหลอมเป็นของเหลว ธาตุบางชนิด
สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศที่อยู่
โดยรอบ แล้วเกิดเป็นตะกรัน (Slag) ลอยขึ้นที่บริเวณ
ผิวของน้ำโลหะ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมของสเตอร์ลิง

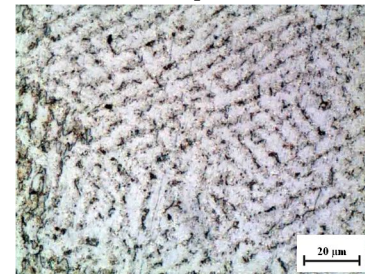
X	ร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสม						
	Ag	Cu	Sn	In	Al	Mg	Si
0	Bal.	5.24	0.22	0.22	-	-	
0.2	Bal.	4.70	0.13	0.21	0.19	0.001	0.01
0.4	Bal.	4.80	0.11	0.22	0.39	0.006	0.01
0.6	Bal.	4.41	0.18	0.20	0.61	0.006	0.01
0.8	Bal.	4.38	0.12	0.19	0.78	0.005	0.02

3.2 โครงสร้างจุลภาค

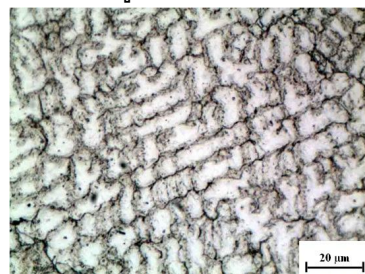
โครงสร้างจุลภาคของงานหล่อเงินสเตอร์ลิง
ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า
โครงสร้างมีลักษณะเป็นเดนไดรต์ ซึ่งเป็นโครงสร้าง
โดยทั่วไปของงานหล่อ ประกอบด้วยเฟสอัลฟาที่มีเงิน
เป็นส่วนผสมหลัก (α Ag-rich Phase) และโครงสร้าง
ยูเทคติก (Eutectic) อยู่ในช่องว่างระหว่างเดนไดรต์



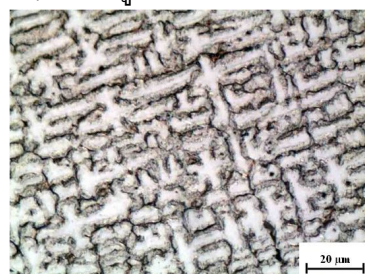
ก) ไม่เติมอะลูมิเนียมผสม



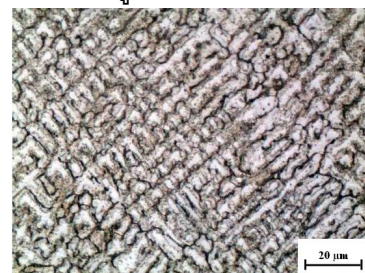
ข) เติมอะลูมิเนียมผสมร้อยละ 0.2



ค) เติมอะลูมิเนียมผสมร้อยละ 0.4



ง) เติมอะลูมิเนียมผสมร้อยละ 0.6



จ) เติมอะลูมิเนียมผสมร้อยละ 0.8

รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคของเงินสเตอร์ลิงหล่อ

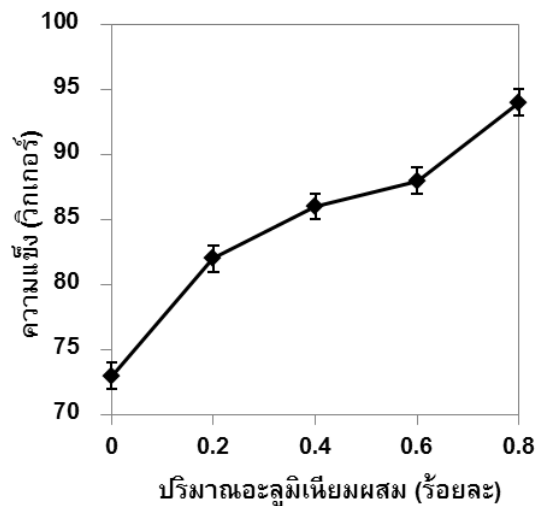
การเติมอะลูมิเนียมผสมในปริมาณมากขึ้น ทำให้เกิดเฟสที่สอง (Secondary Phase) มากขึ้น ตามปริมาณของอะลูมิเนียมผสมที่เพิ่มขึ้น เฟสที่สอง เป็นเฟสบีตาที่มีส่วนผสมของทองแดงเป็นส่วนผสมหลัก (β Cu-rich Phase) มีลักษณะเป็นเส้นยาว ต่อเนื่องกันมาก อยู่ตามบริเวณช่องว่างระหว่างเดนไดรต์ ลักษณะโครงสร้างแบบนี้ มักเป็นสาเหตุทำให้ ชิ้นงานเสียสมบัติด้านความเหนียว

3.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงจุลภาคของชิ้นงาน

ผลการทดสอบความแข็งแรงจุลภาคของชิ้นงาน เงินสเตอร์ลิงทั้ง 5 ส่วนผสม แสดงในรูปที่ 3 ความแข็งแรงที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบตัวอย่างละ 10 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย พบว่าเงินสเตอร์ลิงที่ไม่ได้เติม อะลูมิเนียมผสมมีค่าความแข็งแรงประมาณ 73 ± 3 กิโลเกอ์ หลังจากเติมอะลูมิเนียมผสมเข้าไปร้อยละ 0.2-0.8 โดยน้ำหนัก ทำให้ความแข็งแรงของเงินสเตอร์ลิงมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณอะลูมิเนียมผสมที่เติม เนื่องจาก โครงสร้างเกิดเฟสบีตาที่มีทองแดงเป็นส่วนผสมหลัก เพิ่มขึ้น

3.4 ผลการทดสอบความต้านทานความหมอง

ผลการวัดค่าที่เปลี่ยนแปลงเฉลี่ย (DE^*) หลังแช่ในไอของสารละลาย Na_2S เป็นเวลา 5, 15 และ 30 นาที แสดงในตารางที่ 2 ชิ้นงานหลังแช่ในไอของสารละลายเป็นเวลา 5 และ 15 นาทีแรก พบว่า ชิ้นงานทุกชิ้น ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงสีด้วยตาเปล่า ได้ แต่เมื่อวัดค่าการเปลี่ยนสี ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าค่า $L^*a^*b^*$ มีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ผลการคำนวณค่า DE^* ของชิ้นงานทุก ส่วนผสม เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดบริเวณกลางชิ้นงาน ค่าที่ได้ไม่เกิน 5 ถือว่าต่ำมาก ชิ้นงานยังต้านความหมองดี



รูปที่ 3 ความแข็งแรงของเงินสเตอร์ลิงที่เติมอะลูมิเนียมผสมปริมาณร้อยละ 0 ถึง 0.8 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 2 ค่า DE^* เฉลี่ย หลังแช่ในไอของสารละลาย Na_2S เป็นเวลาต่างกัน

x	ค่า DE^* เฉลี่ย หลังแช่เป็นเวลาต่างกัน (นาที)		
	5	15	30
0	1.4	3.5	13.3
0.2	1.4	2.5	7.2
0.4	1.4	2.7	7.9
0.6	1.4	3.0	9.7
0.8	2.1	3.1	10.4

แต่เมื่อทดลองแช่ชิ้นงานนานขึ้นเป็น 30 นาที พบว่า เริ่มเกิดสีเหลืองบริเวณขอบของชิ้นงาน ค่า DE^* เฉลี่ยของชิ้นงานทั้งหมด ได้ค่าสูงสุดไม่เกิน 25 [11] นั้นแสดงให้เห็นว่า เงินสเตอร์ลิงทุกส่วนผสม สามารถต้านความหมองได้ดี อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่า DE^* ของสเตอร์ลิงที่เติมอะลูมิเนียมผสมร้อยละ 0.2-0.8 พบว่าให้ค่า DE^* ต่ำกว่าค่า DE^* ของสเตอร์ลิงที่ไม่เติมอะลูมิเนียมผสม ทุกระยะเวลาที่ทดสอบ แสดงให้เห็นว่า การเติมอะลูมิเนียมผสม ช่วยเพิ่มความต้านทานความหมองได้ดีกว่าที่ไม่เติมอะลูมิเนียมผสม

เป็นที่น่าสังเกตว่า การทดสอบแช่ในไอสารละลายอิมมัลซิฟิเคชันด้วยเวลา 30 นาที ค่า DE* ของเงินสเตอร์ลิงที่มีการเติมอะลูมิเนียมผสมร้อยละ 0.2 และ 0.4 มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการเติมอะลูมิเนียมผสมร้อยละ 0.6 และ 0.8 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณอะลูมิเนียมผสมที่เติมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า DE* ในที่นี้มีข้อเสนอแนะว่า ควรทำการทดลองแช่ในไอสารละลายนี้โดยใช้เวลานานขึ้นเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกว่านี้ ซึ่งอยู่ในระหว่างการดำเนินการวิจัย

ความหมองของเงินสเตอร์ลิง เกิดจากเงินทำปฏิกิริยากับ สารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นส่วนผสม เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น แล้วเกิดเป็นฟิล์มซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) เมื่อเงินมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 83 โดยน้ำหนัก การเกิดซิลเวอร์ซัลไฟด์เกิดได้รวดเร็วในบรรยากาศที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์และความชื้นสูง สีของฟิล์มจะเปลี่ยนแปลงขึ้นกับความหนาของฟิล์มที่เกิดขึ้น จากสีเหลืองแล้วกลายเป็นน้ำตาลอมเขียว จนในที่สุดเกิดเป็นสีดำของซิลเวอร์ซัลไฟด์ จึงเป็นเหตุให้ผิวชิ้นงานหมองนั่นเอง [12] ธาตุอะลูมิเนียม ทำให้เกิดเป็นฟิล์มโปร่งใสของอะลูมิเนียมออกไซด์บางๆ (Transparent Aluminum Oxide Film) ที่ผิว จึงป้องกันบรรยากาศจากภายนอกได้ รวมทั้งซิลิคอนก็มีส่วนช่วยต้านความหมอง โดยเกิดเป็นฟิล์มบางของออกไซด์ได้เช่นกัน

จากข้อมูลในสิทธิบัตร US Patent 7,198,683 B2 ได้นำค่า DE* เป็นเกณฑ์ในการแบ่งระดับความหมอง (Tarnish Rate) ไว้ 5 ระดับจาก 0-5 ระดับ 0 หมายถึงเงินสเตอร์ลิงที่ไม่หมอง ส่วนระดับ 5 หมายถึงเงินสเตอร์ลิงที่หมองที่สุด เงินสเตอร์ลิง 925 ที่ไม่เติมธาตุผสมอื่นนอกจากทองแดงร้อยละ 7.5 ที่ผ่านการทดสอบแล้วได้ค่า DE* ช่วง 30-40 จัดว่ามีความต้านทานความหมองไม่ดี โดยทั่วไประดับความหมองที่ยอมรับได้มีค่าไม่เกินระดับ 3.5 หมายความว่าเมื่อค่า DE* มีค่าไม่เกิน 25 [11]

ดังนั้นผลการทดลองนี้ ทำให้ทราบว่าการเติมอะลูมิเนียมผสม (Al-Mg-Si) ซึ่งหาได้ง่ายในท้องตลาด

สามารถเพิ่มความต้านทานความหมองได้ จึงตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรมเครื่องประดับเงิน ที่ต้องการเพิ่มความแข็งแรงของเงินสเตอร์ลิงให้เหลือเพียงขั้นตอนหล่อเพียงขั้นตอนเดียว

4. สรุปผลการทดลอง

การเติมอะลูมิเนียมผสมในปริมาณร้อยละ 0.2-0.8 โดยน้ำหนัก ลงในเงินสเตอร์ลิงที่มีส่วนผสมของ 93Ag-(6.4-x)Cu-0.4Sn-0.2In สามารถเพิ่มความต้านทานความหมองจากการแช่ไอสารละลายอิมมัลซิฟิเคชันด้วยเวลา 30 นาทีได้ โดยมีค่า DE* น้อยกว่าเงินสเตอร์ลิงที่ไม่เติมอะลูมิเนียมผสม นอกจากนี้แล้ว ยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงของงานหล่อจาก 73 ± 3 วิกเกอร์ ไปเป็น 94 ± 3 วิกเกอร์ เมื่อปริมาณของอะลูมิเนียมผสมเพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ MRG-WI525S073 และบริษัท เทท ดีไซน์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2515). กระทรวงอุตสาหกรรม. มอก. 21 - 2515 มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องเงิน, กระทรวงอุตสาหกรรม
- [2] สุรัตน์ วรรณศรี สมนึก วัฒนศรีกุล และ ศิริพร ดาวพิเศษ (2547). อิทธิพลของทองแดง-ซิลิคอนต่อสมบัติทางกลของโลหะเงินสเตอร์ลิง, ศาสตร์และศิลป์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ด้วยงานวิจัย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, พี. เอสพริ้นส์, นนทบุรี, หน้า 18-28.
- [3] Peter, J. (1997). Firestain Resistant Silver Alloys, *The Proceedings of Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing and Technology 1997*.
- [4] เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร และศิริรัตน์ นิสารัตนพร (2547). อิทธิพลของธาตุผสมในโลหะเงินสเตอร์ลิง

ผสม, ศาสตร์และศิลป์ในการพัฒนาอุตสาหกรรม
อัญมณีและเครื่องประดับด้วยงานวิจัย, สำนักงาน
กองทุนสนับสนุนการวิจัย, พี. เอสพริ้นส์, นนทบุรี
หน้า 51 – 67.

[5] McFarland, J. C., Ky., F. T. and Ky., D.
(1934). Age hardening silver of sterling or higher
standard, *US.Patent No. 1,984,225*.

[6] Peter, J. (2006). Silver-copper-germanium
alloy manufacturing, *International Application*
No.PCT/GB2006/050116.

[7] สุรัตน์ วรรณศรี สมนึก วัฒนศรีกุล และศิริพร
ดาวพิเศษ (2547). การศึกษาลักษณะข้อบกพร่องของ
โลหะเงินเจือทองแดง-สังกะสี-ซิลิคอน จากขบวนการ
หล่อ *Investment Casting*, ศาสตร์และศิลป์ในการ
พัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับด้วย
งานวิจัย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, พี.
เอสพริ้นส์, นนทบุรี, หน้า 3–17.

[8] สิริพร โรจนนันต์ สุทธิษฐ์ โรจนนันต์ เกรียงไกร
แสงอำนาจเดช สุริยงค์ ช้างนิล และ อเนก พาน
วาวแวว (2552). อิทธิพลของการอบบ่มที่มีต่อ
โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะเงินผสม
93.7Ag-6.0Cu-0.3Sn, *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*,
เมษายน-มิถุนายน 2551, หน้า 399-410.

[9] สีตลา รัตนช้อน และ สิริพร โรจนนันต์ (2552).
โครงสร้างและความแข็งของเงินสเตอร์ลิงผสม
อะลูมิเนียมที่ผ่านการบ่มแข็ง, *การประชุมวิชาการ*
เครือข่ายเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, จังหวัด
เชียงใหม่

[10] Dippal, M., Steven, H., 2005, "White Gold
Alloy: Colour measurement and grading", *Gold*
Bulletin, Volume 38, No. 2, pp 55-67.

[11] Agarika, D. P., and Raykhtsanum, G. (2007).
Sterling silver alloy compositions of exceptional
and reversible hardness and enhanced tarnish
resistance *US Patent 7,198,683 B2*.

[12] Raub, R. (1989) Use of Silver in Jewelry.
The Proceeding of the Santa Fe Symposium of
Jewelry Manufacturing Technology, pp. 241-256.