

อิทธิพลของธาตุเจือทองแดงและดีบุกที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ
และพฤติกรรมความต้านทานการหมองของโลหะเงินเจือ 750
Influence of Copper and Tin onto Physical Properties and Anti-tarnish of
Silver Alloys 750

ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม^{1*}, นพณ์ พวงมาลี², ชุมพล อินทร์มณี³ และ สุรัตน์ วรณศรี⁴

^{1*} ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี

^{2,3} สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

E-mail: narongrit.s@fitm.kmutnb.ac.th^{1*}

E-mail: p_puangmalee@hotmail.com²

Narongrit Sonjaitham^{1*}, Noppanuch Puangmalee², Chumpol Inmanee³, and Surat Wannasri⁴

^{1*} Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology

King Mongkut's University of Technology North Bangkok (Prachinburi Campus)

^{2,3} Department of Industrial Management and Technology, Faculty of Science and Technology,

Bansomdejchaopraya Rajabhat University

⁴ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Isan

E-mail: narongrit.s@fitm.kmutnb.ac.th^{1*}

E-mail: p_puangmalee@hotmail.com²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของธาตุเจือทองแดงและดีบุก ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ (ความแตกต่างของค่าระดับสี) และพฤติกรรมความต้านทานการหมองของโลหะเงินเจือ 750 ซึ่งขึ้นทดสอบเป็นโลหะผสมเงิน(Ag), ทองแดง(Cu) และดีบุก(Sn) โดยมีปริมาณผสมของธาตุเจือทองแดง 15.13 – 24.86 wt.% และธาตุเจือดีบุก 0 – 10.06 wt.% จากการศึกษาความแตกต่างของค่าระดับสีตามมาตรฐานการทดสอบระดับ CIELAB พบว่า ปริมาณธาตุเจือทองแดงที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ขึ้นทดสอบมีค่าระดับความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณธาตุเจือดีบุกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าระดับความเป็นสีแดงลดลง และจากการศึกษาพฤติกรรมความต้านทานการหมอง โดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าระดับสี (ΔE) ของขึ้นทดสอบ ซึ่งขึ้นทดสอบอยู่ในสภาวะแวดล้อมในบรรยากาศปกติเป็นเวลา 30 วัน พบว่า ธาตุเจือดีบุกมีผลทำให้อัตราการหมองหรือค่า ΔE ลดลง แต่ถ้าปริมาณธาตุเจือดีบุกมากกว่า 2.10 wt.% อัตราการหมองหรือค่า ΔE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

คำหลัก ธาตุเจือทองแดง, ธาตุเจือดีบุก, โลหะเงินเจือ, ความแตกต่างของค่าระดับสี, ความต้านทานการหมอง

Abstract

This research was study to effect of copper (Cu) and tin (Sn) onto physical properties (specified a colored difference) and anti-tarnish of silver alloy 750. The specimens composed of Ag, Cu and Sn. The volume of Cu and Sn were varied between 15.13 – 24.86 wt.% and 0 – 10.06 wt.% respectively. The study different color levels of specimen according to CIELAB. It was found that increase of Cu affect to the color level of red increased, but the increase of Sn affect to the color level of red decreased. The study anti-tarnish by analysis changing of color level (ΔE). The specimens were under normal environment and testing time 30 days. It was found that increase of Sn affect to tarnish rate or ΔE decreased. But, the volume of Sn more than 2.10 wt.% affect to tarnish rate or ΔE increased.

Keywords: copper, tin, silver alloy, specified a colored difference, anti-tarnish

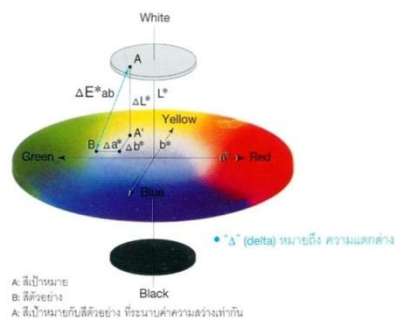
1. บทนำ

โลหะเงินเจือ 750 เป็นโลหะผสมที่นิยมนำมาทำเป็นตัวเรือนเครื่องประดับ ซึ่งโลหะเงินเจือ 750 มีการกำหนดให้ต้องมีส่วนผสมของโลหะเงินไม่ต่ำกว่า 75 wt.% และมีธาตุเจือไม่เกิน 25 wt.% [1] โดยธาตุเจืออาจอยู่ในรูปของธาตุบริสุทธิ์หรือโลหะเจือชนิดต่างๆ ซึ่งจะมีผลทำให้ระดับสีของโลหะเงินเจือ 750 เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดและปริมาณของธาตุเจือที่ผสมเข้าไป ธาตุเจือที่ผู้ประกอบการนิยมนำมาใช้ในกระบวนการผลิตหรือผลิตเป็นอัลลอย เช่น ทองแดง สังกะสี ดีบุก เป็นต้น แต่ข้อมูลหรือเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุเจือชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อระดับสีของโลหะเงินเจือ ยังมีออกมาเผยแพร่ไม่มากนัก [2] ซึ่งทำให้ผู้ประกอบการที่ต้องการปรับปรุงและพัฒนาสินค้าของตนเอง ต้องดำเนินการในลักษณะลองผิดลองถูก เพื่อให้ได้ระดับสีของโลหะเงินเจือต่ำ มีระดับสีใกล้เคียงกับโลหะเงินเจือสูง และมีความสามารถต้านทานกันหมอง ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้ผลิตและผู้บริโภค ที่สามารถนำมาผลิตและขึ้นรูปได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัย จึงได้ดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือทองแดงและดีบุก ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ (ความแตกต่างของค่าระดับสี) และพฤติกรรมความต้านทานการหมองของโลหะเงินเจือ 750 เพื่อหาปริมาณของธาตุเจือทองแดงและดีบุกที่ผสมในโลหะเงินเจือ 750 ที่ให้ค่าระดับสีที่ใกล้เคียงกับโลหะเงินเจือสูง (โลหะเงินสเตอร์ลิง 925)

2. การทดสอบระดับสีตามมาตรฐาน CIELAB

ปี ค.ศ. 1931 The Commission International Del' Éclair age (CIE) ซึ่งเป็นองค์กรระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของสีและแสง ได้กำหนดค่าปริภูมิสี (Color Space) ขึ้นมา เช่น ปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ($L^*a^*b^*$ Color Space) หรือบางครั้งเรียกว่า CIELAB เป็นระบบที่ได้รับการนิยามกันอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้วัดค่าสี และใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในหลายๆ วงการ โดยกำหนดพิกัดแกนสีขึ้นมา 3 แกน ซึ่งทั้ง 3 แกนแทนด้วย L^* แสดงค่าความสว่าง โดยค่า 0 คือ สีดำ และ +100 คือสีขาว, a^* แสดงค่าสีแดงถึงสีเขียว โดยค่า +100 คือสีแดงเข้ม และ -100 คือสีเขียว และ b^* แสดงค่าสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน โดย +100 คือสีเหลือง และ -100 คือสีน้ำเงิน [3] และการหาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เป็นการนำค่าระดับสีตัวอย่างเปรียบเทียบกับสีเป้าหมาย ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสามารถคำนวณหาความแตกต่างของระดับสี (ΔE) ได้ดังสมการที่ 1

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (1)$$



รูปที่ 1 พิกัดการวัดระดับสีและการหาค่าความแตกต่างสีในปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ [4]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

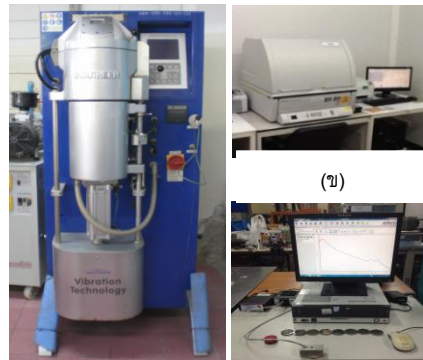
1. ทำการหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร หนา 8 มิลลิเมตร ซึ่งมีปริมาณของโลหะเงิน 75 wt.% ทองแดงและดีบุก ที่ส่วนผสม 15 – 25 wt.% และ 0 – 10 wt.% ตามลำดับ โดยทำการหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิเทหล่อ น้ำโลหะ 850 °C อุณหภูมิกระบอบกปูนแบบหล่อที่ 550 °C ด้วยเครื่องหล่อดูดสุญญากาศ ยี่ห้อ Indutherm รุ่น VC 650V ดังแสดงในรูปที่ 2 ก)

2. เตรียมผิวชิ้นทดสอบด้วยการขัดกระดาษทราย โดยเริ่มจากกระดาษทรายที่หยาบไปละเอียด เบอร์ 180, 240, 400, 600, 800, 1000, 2000 และ 4000 ตามลำดับ และทำการขัดเรียบด้วยผ้าสักหลาดกับผงอลูมินา ขนาดอนุภาค 5.0, 3.0, 1.0 และ 0.5 ไมโครเมตร ตามลำดับ

3. วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบ หลังการหล่อขึ้นรูป ด้วยเทคนิค X – Ray Fluorescence ด้วยเครื่อง X – Ray spectrometer ยี่ห้อ Fischer รุ่น XDAL ดังแสดงในรูปที่ 2 ข)

4. ศึกษาการระดับสีของชิ้นทดสอบ ด้วยเทคนิค Spectrophotometry ซึ่งเป็นการวัดค่าสเปกตรัมความยาวคลื่นแสง ในช่วง Visible light (380 – 780 นาโนเมตร) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec – 2048 โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมในการรับแสง 2 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3 ค)

5. ศึกษาพฤติกรรมความต้านทานการหมอง โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งชิ้นทดสอบจะถูกวางไว้ในสภาวะแวดล้อมบรรยากาศปกติ ด้วยระยะเวลาตั้งแต่ 0 – 30 วัน และทำการวัดค่าระดับสีทุกวันหรือทุกๆ 24 ชั่วโมง



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2 เครื่องมือในการวิจัย : ก) เครื่องหล่อดูดสุญญากาศ,

ข) เครื่อง X-Ray Fluorescence, ค) เครื่อง

Spectrophotometer

4. ผลดำเนินการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

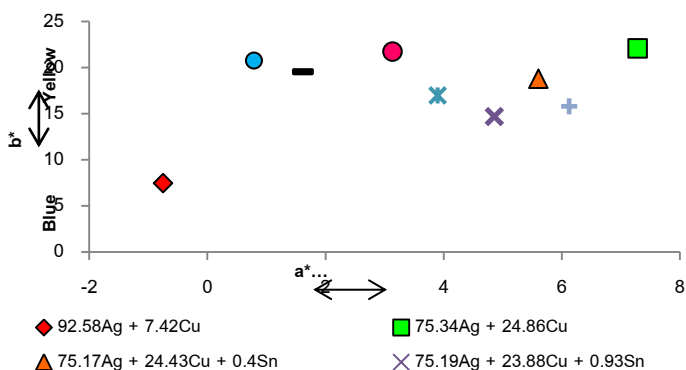
ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบ พบว่า มีค่าแตกต่างจากปริมาณการผสมที่กำหนดเล็กน้อย ชิ้นทดสอบบางชิ้นมีปริมาณของธาตุบางธาตุเพิ่มขึ้น บางธาตุลดลง ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเกิดจากการสูญเสียในขั้นตอนการหล่อหลอมผสมโลหะและหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ หรืออาจเกิดจากเนื้อโลหะมีออกไซด์ผสมอยู่ แล้วออกไซด์ถูกจับหรือแยกออกด้วยผงบอริก (Boric acid powder) ซึ่งทำหน้าที่ฟลักซ์ (Flux) กลายเป็นขี้ตะกรัน (slag) โดยจะลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำโลหะและแยกตัวจากน้ำโลหะ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของชั้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป [5]

ชั้นทดสอบ	สัดส่วนการผสมที่กำหนดในการทดลอง (wt.%)			ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบ (wt.%)		
	Ag	Cu	Sn	Ag	Cu	Sn
Ag 925 - 0	92.5	7.5	-	92.58	7.42	-
Ag 750 - 1	75.0	25.0	-	75.34	24.86	-
Ag 750 - 2	75.0	24.5	0.5	75.17	24.43	0.40
Ag 750 - 3	75.0	24.0	1.0	75.19	23.88	0.93
Ag 750 - 4	75.0	23.0	2.0	75.09	22.79	2.10
Ag 750 - 5	75.0	21.0	4.0	74.97	20.94	4.09
Ag 750 - 6	75.0	19.0	6.0	74.88	18.97	6.15
Ag 750 - 7	75.0	17.0	8.0	74.88	17.08	8.04
Ag 750 - 8	75.0	15.0	10.0	74.81	15.13	10.06

ตารางที่ 2 แสดงผลค่าปริภูมิสีของชั้นทดสอบ

ชั้นทดสอบ	ค่าปริภูมิสี (CIELAB)						
	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
92.58Ag + 7.42Cu	111.85	-0.75	7.44	-	-	-	-
75.34Ag + 24.86Cu	102.35	7.29	22.06	9.50	-8.04	-14.62	19.20
75.17Ag + 24.43Cu + 0.4Sn	100.31	5.61	18.77	11.54	-6.37	-11.33	17.38
75.19Ag + 23.88Cu + 0.93Sn	74.98	4.86	14.69	36.87	-5.62	-7.25	37.99
75.09Ag + 22.79Cu + 2.1Sn	93.09	3.90	16.94	18.77	-4.66	-9.50	21.54
74.97Ag + 20.94Cu + 4.09Sn	103.29	3.14	21.72	8.57	-3.90	-14.28	17.10
74.88Ag + 18.97Cu + 6.15Sn	88.21	6.13	15.79	23.65	-6.89	-8.35	26.00
74.88Ag + 17.08Cu + 8.04Sn	98.81	0.79	20.72	13.04	-1.55	-13.28	18.67
74.81Ag + 15.13Cu + 10.06Sn	90.72	1.62	19.51	21.13	-2.37	-12.07	24.45



รูปที่ 3 แสดงการกระจายตัวของระดับสีของชั้นทดสอบ

4.2 การวิเคราะห์ค่าระดับสี

จากข้อมูลผลการวัดค่าระดับสีของชิ้นทดสอบ ตามมาตรฐานปริภูมิสีระบบ CIELAB ความแตกต่างของค่าระดับสีและการกระจายตัวของค่าระดับสีที่แสดงตารางที่ 3 และรูปที่ 4 พบว่า ปริมาณการผสมทองแดงที่เพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบ 75.34Ag + 24.86Cu มีผลทำให้ชิ้นทดสอบมีค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 (92.58Ag + 7.42Cu)

เมื่อกำหนดให้โลหะเงินมีปริมาณคงที่ 75 wt.% แล้วทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของทองแดง โดยการผสมดีบุกเข้าไปเป็นธาตุผสมที่สอง และทำการวิเคราะห์ห่อหุ้มของธาตุทองแดงและดีบุกใน

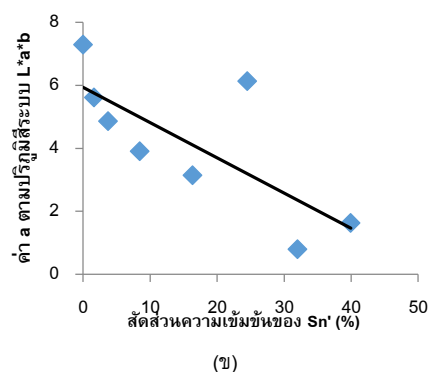
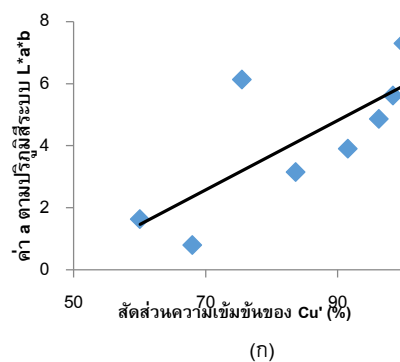
ชิ้นทดสอบที่มีผลต่อแนวโน้มของค่าระดับสี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สัดส่วนความเข้มข้นของธาตุเจือต่างๆ ในชิ้นทดสอบเปรียบเทียบกับค่าระดับสี [6] ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยค่าสัดส่วนความเข้มข้นธาตุเจือทองแดง(Cu') และดีบุก(Sn') สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 และ 3

$$Cu' = \frac{Cu(wt\%)}{Cu(wt\%) + Sn(wt\%)} \quad (2)$$

$$Sn' = \frac{Sn(wt\%)}{Cu(wt\%) + Sn(wt\%)} \quad (3)$$

ตารางที่ 3 ค่าสัดส่วนความเข้มข้นของธาตุเจือทองแดง(Cu') และดีบุก(Sn') และค่าปริภูมิสีระบบ L*a*b

อัตราส่วนผสม (wt.%)			ค่าความเข้มข้นในชิ้นทดสอบ		ค่าปริภูมิสีระบบ L*a*b		
Ag	Cu	Sn	Cu'	Su'	L*	a*	b*
75.34	24.86	0	100.00	0.00	102.35	7.29	22.06
75.17	24.43	0.4	98.39	1.61	100.31	5.61	18.77
75.19	23.88	0.93	96.25	3.75	74.98	4.86	14.69
75.09	22.79	2.1	91.56	8.44	93.09	3.9	16.94
74.97	20.94	4.09	83.66	16.34	103.29	3.14	21.72
74.88	18.97	6.15	75.52	24.48	88.21	6.13	15.79
74.88	17.08	8.04	67.99	32.01	98.81	0.79	20.72
74.81	15.13	10.06	60.06	39.94	90.72	1.62	19.51



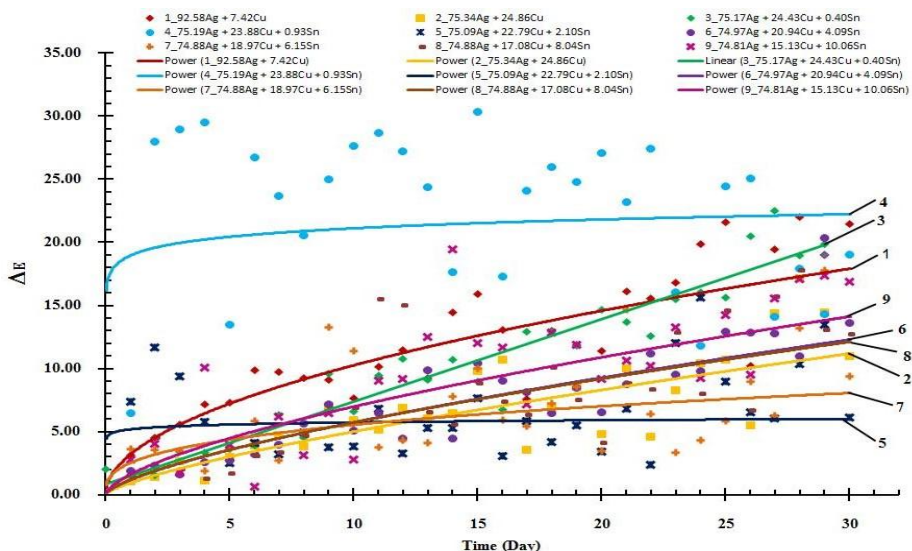
รูปที่ 4 ค่าสัดส่วนความเข้มข้นของธาตุเจือทองแดง(Cu') และดีบุก(Sn') ต่อค่าปริภูมิสีระบบ L*a*b ของชิ้นทดสอบ

จากตารางที่ 3 แสดงถึงค่าสัดส่วนความเข้มข้นของธาตุเจือทองแดงและดีบุกกับคาร์ระดับสีตามค่าปริภูมิระบบ L^*a^*b ของชั้นทดสอบ พบว่า สัดส่วนความเข้มข้นของทองแดง(Cu^+) ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ชั้นทดสอบมีไทโตนสีแดง(a^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4 ก) ในขณะที่สัดส่วนความเข้มข้นของดีบุก(Sn^+) เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ชั้นทดสอบมีไทโตนสีแดง(a^*) มีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4 ข) ซึ่งผลดังกล่าว ทำให้ปริมาณธาตุเจือทองแดงที่ลดลงและปริมาณธาตุเจือดีบุกที่เพิ่มเข้ามาแทนที่อย่างต่อเนื่อง มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดงของชั้นทดสอบมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จนมีคาร์ระดับสีเข้าใกล้คาร์ระดับสีของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 โดยชั้นทดสอบที่มีปริมาณการผสม 74.97Ag + 20.94Cu + 4.09Sn ให้ค่าความแตกต่างของคาร์ระดับสีที่น้อยที่สุด โดยมีค่า $\Delta E = 17.10$

4.3 การวิเคราะห์ความต้านทานการหมอง

ผลการวิเคราะห์คาร์ระดับสีและความแตกต่างของคาร์ระดับสี ดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 5

พบว่า ชั้นทดสอบโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 มีอัตราการหมองหรือการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสี (ΔE) มากที่สุด (สังเกตจากความชันของเส้นกราฟ ที่มีค่าความชันมากที่สุด จากรูปที่ 4) ซึ่งเส้นกราฟมีความชันมากกว่าชั้นทดสอบอื่นๆ รวมถึงชั้นทดสอบโลหะเงินผสม 75 wt.% ที่มีส่วนผสม 75.34Ag + 24.86Cu แต่เมื่อมีการผสมดีบุกเข้าไปเป็นธาตุผสมที่สอง โดยการลดปริมาณทองแดงลงและกำหนดให้ปริมาณโลหะเงินคงที่ 75 wt.% พบว่า ปริมาณการผสมดีบุกด้วยปริมาณน้อยๆ มีผลทำให้ความหมองหรือการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีของชั้นทดสอบมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จนเส้นกราฟมีความชันต่ำสุดที่ปริมาณการผสมดีบุก 2.10 wt.% ที่ชั้นทดสอบ 75.09Ag + 22.79Cu + 2.10Sn แต่เมื่อปริมาณการผสมดีบุกที่เพิ่มขึ้นสูงกว่า 2.10 wt.% กลับส่งผลทำให้ค่าความชันของเส้นกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหมายถึงชั้นทดสอบมีความหมองหรือมีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสี (ΔE) ของชั้นทดสอบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ΔE ต่อระยะเวลาของการทดสอบการหมองของชั้นทดสอบภายใต้บรรยากาศปกติ

ตารางที่ 4 ความแตกต่างค่าระดับสี (ΔE) ของชั้นทดสอบ โดยการทดสอบในสภาวะบรรยากาศปกติ

ระยะเวลา ของการ ทดสอบ (วัน)	ชั้นทดสอบ								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	92.58Ag +7.42Cu	75.34Ag +24.86Cu	75.17Ag +24.43Cu +0.40Sn	75.19Ag +23.88Cu +0.93Sn	75.09Ag +22.79Cu +2.10Sn	74.97Ag +20.94Cu +4.09Sn	74.88Ag +18.97Cu +6.15Sn	74.88Ag +17.08Cu +8.04Sn	74.81Ag +15.13Cu +10.06Sn
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3.15	1.03	2.00	6.47	7.37	1.90	3.65	1.42	2.76
2	4.55	1.41	1.59	27.97	11.66	2.32	3.52	4.52	4.04
3	5.53	2.64	1.56	28.96	9.37	1.58	3.47	2.01	1.71
4	7.14	1.13	3.42	29.52	5.77	2.56	1.91	1.27	10.09
5	7.33	2.98	3.32	13.49	2.50	2.75	3.69	1.69	4.00
6	9.87	3.89	3.60	26.75	4.12	3.19	5.87	3.07	0.66
7	9.72	4.73	3.90	23.65	3.19	3.94	2.73	3.31	6.19
8	9.23	3.83	6.33	20.54	4.92	5.65	4.80	4.68	3.14
9	9.10	7.05	4.55	25.03	3.78	7.18	13.30	6.84	6.47
10	7.66	5.89	9.56	27.63	3.83	5.07	11.43	6.89	2.77
11	10.16	5.14	6.58	28.66	6.79	6.46	3.76	15.51	9.06
12	11.43	6.90	9.44	27.20	3.29	4.43	4.34	15.00	9.18
13	9.23	6.08	10.77	24.36	5.27	9.89	4.08	6.54	12.54
14	14.46	6.45	9.13	17.61	5.26	4.44	7.77	5.56	19.42
15	15.90	9.81	10.67	30.34	7.64	10.40	9.97	8.81	12.02
16	13.04	10.70	8.98	17.28	3.06	9.00	5.93	7.34	11.65
17	7.60	3.57	6.77	24.07	5.86	8.14	5.40	6.31	7.14
18	12.96	7.02	12.92	26.01	4.18	6.44	7.23	10.10	12.85
19	11.85	8.57	12.89	24.82	5.51	8.48	8.56	7.49	11.89
20	11.37	4.83	11.84	27.05	3.42	6.53	3.49	4.12	9.16
21	16.11	10.02	14.64	23.16	6.84	8.72	14.67	8.82	10.65
22	15.54	4.59	13.66	27.40	2.40	11.20	6.41	8.36	10.24
23	16.80	8.29	12.59	16.04	11.99	9.55	3.31	12.84	13.30
24	19.86	10.40	15.50	11.81	15.63	9.80	4.28	7.99	9.22
25	21.58	10.69	16.05	24.43	8.93	12.91	5.84	14.59	14.26
26	10.24	5.52	15.61	25.08	6.52	12.89	8.96	6.67	9.49
27	19.45	14.39	20.46	14.12	6.03	12.75	6.26	15.67	15.54
28	22.03	17.17	22.47	17.93	10.32	11.00	13.20	17.79	17.08
29	19.01	14.43	18.96	14.34	13.50	20.37	17.76	13.09	17.38
30	21.43	11.01	19.83	18.99	6.12	13.59	9.37	12.71	16.88

5. สรุปการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของธาตุเงินทองแดงและดีบุก ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ (ความแตกต่างของค่าระดับสี) และพฤติกรรมความต้านทานการหมองของโลหะเงินเจือ 750 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณการผสมทองแดงที่เพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบ $75.34\text{Ag} + 24.86\text{Cu}$ มีผลทำให้ค่าระดับสีมีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิง $925 (92.58\text{Ag} + 7.42\text{Cu})$ แต่เมื่อมีการผสมของดีบุกเข้าไปเป็นธาตุที่สอง พบว่า ค่าความเป็นสีแดงของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชิ้นทดสอบ $74.97\text{Ag} + 20.94\text{Cu} + 4.09\text{Sn}$ มีค่าความแตกต่างของค่าระดับสีน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าระดับสีของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 โดยมีค่าความแตกต่างของค่าระดับสี $\Delta E = 17.10$

2. การผสมดีบุกเป็นธาตุที่สอง ในโลหะเงินเจือ 750 มีผลทำให้ความหมองหรือการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่มีปริมาณการผสม 2.10 wt.% ที่ชิ้นทดสอบ $75.09\text{Ag} + 22.79\text{Cu} + 2.10\text{Sn}$ มีอัตราการหมองหรือการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสี (ΔE) น้อยที่สุด แต่เมื่อปริมาณดีบุกที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 2.10 wt.% มีผลทำให้ชิ้นทดสอบมีความหมองหรือการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสี (ΔE) ของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2558 และได้รับการสนับสนุนบุคลากรและเครื่องมือต่าง ๆ ในการดำเนินการวิจัย จากมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, การสัมมนาโครงการ วิจัยคุณสมบัติของโลหะมีค่าสำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ, 2541
- [2] ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม, สุรัตน์ วรรณศรี. การศึกษาอิทธิพลของธาตุเงิน ทองแดงและอินเดียมที่มีต่อสมบัติของทองคำ 965. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2552.
- [3] Raykhtsaum G; World Gold Council. The Colour of Gold. Gold Technology 1997;22:25-30.
- [4] อรุณ หาญสืบสาย. การสื่อสารเรื่องสีอย่างแม่นยำและการควบคุมสีจากการรับรู้ไปสู่อุปกรณ์วัดสี. กรุงเทพฯ: Trinity Publishing Co.,Ltd.; 2546.
- [5] นกุล สารวงศ์, นพณัช พวงมาลีและคณะ. โครงการวิจัย "การศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเงินทองแดงและดีบุกที่มีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินเจือต่ำ 75 wt% AgCuSn". สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปีงบประมาณ 2558.
- [6] Pearson WS; World Gold Council. The Metallurgy of the Carat Gold Alloys. Gold Technology 1991;4:2-25.