Journal of Metals, Materials and Minerals. Vol. 9, No. 2 pp.26-34, 2000.

EFFECTS OF ZINC ON WETTING PROPERTIES OF 14 CARAT BRAZING ALLOYS

Karan LIMPAITOON, Chatchai SOMSIRI, and Ekasit NISARATANAPORN

Department of Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Abstract

This research aims to investigate the zinc content, suitable for 14 carat brazing alloy (58.5%), to produce the good wettability by varying the zinc contents in range of 0-10% by weight and the ratio of silver to copper was 1:1. In order to avoid zinc loss, copper and zinc were therefore mixed and molten together, subsequently cast in a form of "Master alloy" bar prior to producing 14 carat brazing gold alloy. The wettability of alloys was measured by using sessile drop method to obtain the value of surface tension and contact angle. Effects of zinc on liquidus and solidus temperatures, hardness, strength and color of alloy were also studied. Results indicated that liquidus and solidus temperatures decreased with increasing zinc content i.e., liquidus temperature of 720°C and 810°C for 10% and 0 wt.%Zn respectively. The contact angle and surface tension also decreased when the zinc content increased. For example, the contact angle of 0 wt.%Zn was 145 degree whereas the contact angle of 10 wt.%Zn is less than 60 degree. Hardness and strength weren't significantly altered when the zinc content were less than 4-wt%. However increasing the zinc content more than 10 wt% increased hardness and strength of the alloy. In addition zinc affected to the change in color by whitening the 14 carat brazing alloy.

ผลของสังกะสีต่อคุณสมบัติการเปียกของโลหะประสานทอง 14 กะรัต

กรันต์ ลิมป์ไพฑูรย์, ฉัตรชัย สมศิริ และเอกสิทธิ์ นิสารัตนพร

ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปริมาณของสังกะสีที่เหมาะสมสำหรับโลหะประสานทองคำ 14 กะรัต (58.5%) เพื่อผลิตสมบัติด้านการเปียกที่ดีโดยปรับเปลี่ยน ช่วงของปริมาณสังกะสี ตั้งแต่ 0 –10%โดยน้ำหนัก ปริมาณเงินและทองแดงในสัดส่วน 1 ต่อ 1 กรรมวิธีการหล่อโลหะประสานทองทำโดยผสมทองแดงและสังกะสีแล้วหลอมรวมเข้าด้วยกัน หลังจากนั้นนำไปหล่อเป็นโลหะมาสเตอร์ (Master Alloy) เพื่อลดการสูญเสียของสังกะสีก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นโลหะประสานทอง วัดสมบัติด้านการ

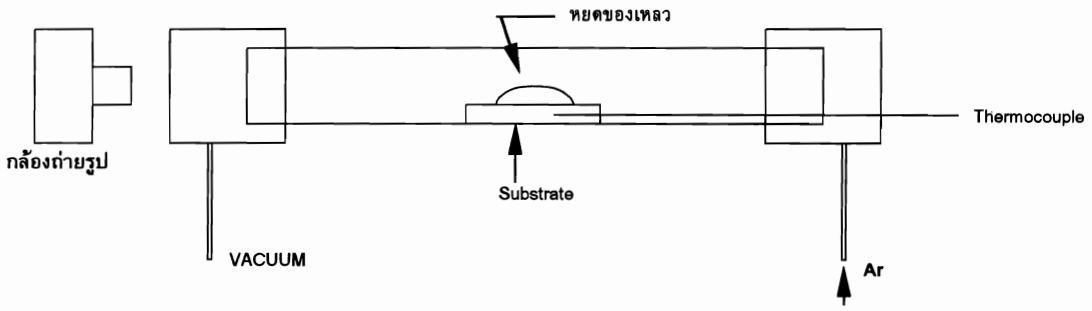
เปียก (Wettability) ด้วยวิธีทดสอบแบบ Sessile Drop ซึ่งจะได้ค่ามุมสัมผัสและแรงตึงผิว นอกจากนี้ยังศึกษาจุดหลอมเหลว ความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรง (Strength) และวัดค่าสีของโลหะประสานทองอีกด้วย ผลการทดลองแสดงว่าอุณหภูมิหลอมเหลวสมบูรณ์และอุณหภูมิเริ่มหลอมเหลวลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสังกะสี เช่น อุณหภูมิหลอมเหลวสมบูรณ์มีค่า 720°C และ 810°C ที่ปริมาณสังกะสี 10% และ 0%โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มุมสัมผัสและแรงตึงผิวลดลงเมื่อปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น มุมสัมผัสในโลหะที่ไม่เติมสังกะสีมีค่าประมาณ 145 องศา ในขณะที่เติมสังกะสีประมาณ 10% มุมสัมผัสมีค่าน้อยกว่า 60 องศา การเติมสังกะสีในปริมาณต่ำไม่ส่งผลต่อความแข็งและความแข็งแรง อย่างไรก็ตามการเพิ่มสังกะสีในปริมาณสูงมากกว่า 10%ขึ้นไป ทำให้มีความแข็งและความแข็งแรงสูงขึ้น นอกจากนี้สังกะสียังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของโลหะประสานทองโดยส่งผลให้มีสีที่ขาวมากขึ้น

บทนำ

ผลของสังกะสีต่อคุณสมบัติการเปียกของโลหะประสานทอง 14 กะรัต ที่มีส่วนผสมทางเคมีของทองคำ 58.5 wt.% (14 กะรัต) ทองแดงและเงินมีสัดส่วนเท่ากับ 1 ต่อ 1 และสังกะสีมีปริมาณตั้งแต่ 0-10 wt.% ได้รับการศึกษาโดยวิธีทดสอบแบบ Sessile drop และหาค่าแรงตึงผิวและมุมสัมผัสโดยวิธี Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA) โลหะประสานดังกล่าวยังนำมาทดสอบค่าความแข็ง ช่วงการหลอมเหลวและหาค่าสีโดยเครื่อง Spectrophotometers

ทฤษฎี

สมบัติด้านการเปียกเป็นสิ่งบ่งชี้สำคัญตัวหนึ่งในการเลือกใช้โลหะประสาน โลหะประสานที่ดีต้องหลอมเหลวและสามารถกระจายตัวบนผิวที่จะประสานได้โดยมีความสามารถในการเปียก (Wettability) สูงทำให้มีความแข็งแรงในการยึดติดผิวสัมผัสได้ดี ความสามารถในการเปียกแสดงได้โดยการหาค่าออกมาในรูปของตัวเลข เช่น มุมสัมผัสและแรงตึงผิว โดยเครื่องมือทดสอบแบบ Sessile drop ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องมือทดสอบแบบ sessile drop

ในการทดสอบ Sessile drop โลหะประสานขณะหลอมเหลวได้ถูกบันทึกภาพไว้และนำพิกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนผิวโลหะไปคำนวณโดยวิธี Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA) (Del Rio and Neumann, 1997) วิธีการดังกล่าวนี้มีพื้นฐานมาจาก Semi empirical equation จาก Laplace equation โดยสามารถเขียนเป็นสมการในรูปของ Ordinary differential equations ได้ดังนี้

$$dx/d\theta = \cos\theta\ (2b+cz-\sin\theta/x)^{-1} \quad (1)$$

$$dz/d\theta = \sin\theta(2b+cz-\sin\theta/x)^{-1} \quad (2)$$

$$db/d\theta = 0 \quad (3)$$

$$dc/d\theta = 0 \quad (4)$$

$$dV/d\theta = 22/7*(x^2)*\sin(\theta)*(2b + c * z - \sin(\theta)/x)^{-1} \quad (5)$$

$$x(0)=z(0)=0,\ x(\theta 1)=R,\ z(\theta 2)=H,\quad R=D/2 \quad (6)$$

เมื่อ x =0 ได้ $\sin(\theta)/x = b$ ซึ่งค่า x กับ z นั้นเป็นค่าคู่อันดับของชิ้นงานตามรูปที่ 2 โดย θ เป็นค่ามุมของเส้นสัมผัส D แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน (ที่มุม θ เป็น 90 องศา) R แทนค่ารัศมีที่มุม $\theta 1$ H แทนค่าความสูงที่มุม $\theta 2$ b แทนค่า curvature ของชิ้นงานที่จุดกำเนิด V แทนค่าปริมาตรของชิ้นงาน c แทนค่าคงที่คาพิลิรี (Capillary constant) โดย $c = \rho g/\gamma$, ρ แทนความหนาแน่นที่โลหะหลอมเหลว และ γ แทนแรงตึงผิว

จากสมการ ที่ 1 ถึง 6 ใช้การแก้สมการแบบธรรมดาไม่ได้ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะใช้ระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์มาช่วยคำนวณโดยผู้วิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้ระเบียบวิธีของรุงเง-คุตตา (Runge-Kutta Method) อันดับที่สี่ เพราะว่าได้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงสูง (งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระเบียบวิธีของรุงเง-คุตตาอันดับที่สี่เช่นกัน)

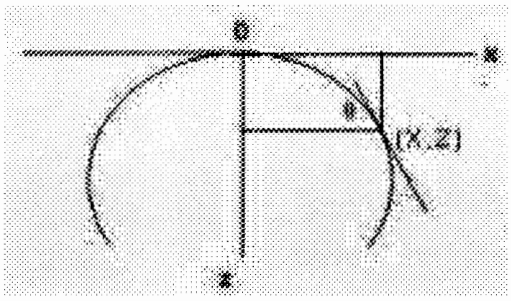
การทดลอง

โลหะประสานทองผลิตขึ้นโดยกรรมวิธีการหลอม ทองคำ เงิน ทองแดง และสังกะสีตามอัตราส่วนคือ ทองแดงและเงินปรับให้อยู่ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ทองคำ 58.5% (14 กะรัต) และสังกะสีในปริมาณ ตั้งแต่ 0-10% โดยน้ำหนัก เพื่อหลอมแล้วจึงเทออกมาในรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร สูงประมาณ 2 เซนติเมตร ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โลหะผสมมาสเตอร์ (Master Alloy) ของสังกะสีและทองแดง (เพื่อช่วยลดการสูญเสียของสังกะสี) ผสมกับทองคำและเงิน ชิ้นงานถูกแบ่งเป็น 4 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปทดสอบ Sessile drop ที่อุณหภูมิประมาณ 1000°C โดยใช้ฐานรองชิ้นงาน (Substrate) เป็นอะลูมิน่า (Al_2O_3) พร้อมกับควบคุมบรรยากาศด้วยก๊าซอาร์กอน บันทึกภาพชิ้นงานขณะหลอมเหลว หลังจากนั้นนำรูปถ่ายไปคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไป ชิ้นงานที่เหลืออีก 3 ส่วนนำมาวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลวโดยเครื่อง Differential Thermal Analysis วัดค่าความแข็งโดยเครื่องไมโครวิคเกอร์ และวัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometers

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ส่วนผสมทางเคมี ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวและค่าความแข็ง (Hardness)

ผลของส่วนผสมทางเคมีหลังการหล่อ ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวและค่าความแข็งได้แสดงในตารางที่ 1 พบว่าชิ้นงานที่ไม่เติมสังกะสีมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 822.8-840.3°C เมื่อเติมสังกะสีเพิ่มขึ้นทำให้ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวลดลงอย่างมากคือ สังกะสีประมาณ 10.8% ให้ค่าประมาณ 720.6-744.3°C โดยลดลงประมาณ 100°C



รูปที่ 2 แสดงคู่อันดับของชิ้นงานในการคำนวณ

ตารางที่ 1 แสดงผลของส่วนผสมทางเคมีและช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะประสานทอง

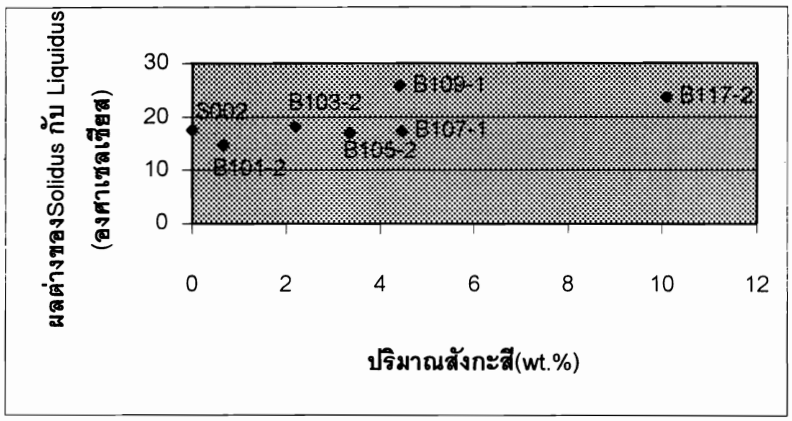
หมายเลข	ทองคำ (wt.%)	เงิน (wt.%)	ทองแดง (wt.%)	สังกะสี (wt.%)	จุดเริ่มต้นหลอมเหลว (°C)	จุดสิ้นสุดหลอมเหลว (°C)	ค่าความแข็ง Hv (300 g)
s002	58.69	15.68	25.63	0	822.8	840.3	204.2
B101-2	58.53	15.40	25.41	0.66	810.4	825.0	-
B103-2	58.33	17.47	22.01	2.20	785.8	803.9	188.7
B105-1	58.46	15.60	22.54	3.40	-	-	178.0
B105-2	58.71	20.48	17.44	3.37	775.5	792.5	167.9
B109-1	63.76	20.18	11.63	4.43	751.3	777.1	148.9
B107-1	58.36	16.29	20.89	4.47	774.1	791.4	169.9
B117-2	60.11	12.00	17.81	10.08	720.6	744.3	195.4

หมายเหตุ :- แสดงถึงชิ้นงานที่ไม่ได้ทำการทดสอบ

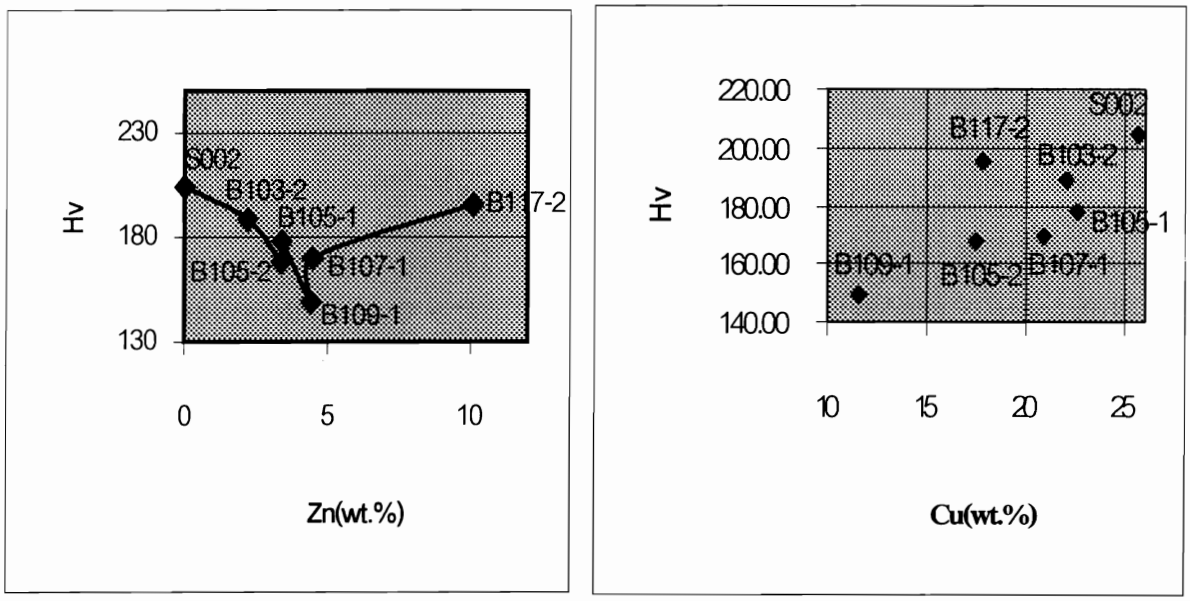
: อัตราส่วนระหว่างปริมาณทองแดงกับเงิน ที่หลอมได้นั้นไม่ได้ค่าเป็น 1 ต่อ 1 ทีเดียวนัก เนื่องจากมีการสูญเสียของโลหะผสมมาสเตอร์ของสังกะสีกับทองแดงขณะหลอมทำให้ส่วนผสมทางเคมีของธาตุอื่นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลทำให้จุดหลอมเหลวของโลหะที่อัตราส่วนระหว่างทองแดงกับเงินไม่เป็น 1 ต่อ 1 มีค่าสูงกว่าโลหะที่มีอัตราส่วนเป็น 1 ต่อ 1

ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มหลอมเหลว (Solidus Temperature) กับอุณหภูมิหลอมเหลวสิ้นสุด (Liquidus Temperature) หรือช่วง "Pasty stage" นี้ แสดงไว้ดังรูปที่ 3 พบว่าสังกะสีช่วยทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงขึ้นโดยในช่วงต้นค่าค่อนข้างจะคงที่และเพิ่มสูงขึ้นที่ปริมาณสังกะสีสูง ดังนั้นการเติมสังกะสีช่วยทำให้โลหะประสานมีความสามารถในการเปียกสูงขึ้น

ค่าความแข็งของโลหะประสานที่ปริมาณสังกะสีต่างๆ ได้นำมาแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีในรูปที่ 4 การเพิ่มปริมาณสังกะสีในปริมาณต่ำ (น้อยกว่า 4.47%) ส่งผลต่อค่าความแข็งบ้าง ดังตัวอย่าง B103-2 (2.2 wt.%Zn) B105-2 (3.37 wt.%Zn) มีค่าความแข็งลดลงเป็น 188.7, 178.0 Hv ตามลำดับ ในขณะที่โลหะประสานที่ปริมาณสังกะสีสูง (B117-2, 10 wt.%Zn) มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (195.4 Hv) เมื่อเทียบกับชิ้นงาน B105-2 (3.37%Zn) ที่มีค่าความแข็งเพียง 168 Hv อย่างไรก็ตามจากการวิจัยพบว่าค่าความแข็งขึ้นกับปริมาณทองแดงเป็นหลัก รูปที่ 4ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณทองแดงในโลหะประสานพบว่าในกรณีปริมาณสังกะสีไม่เกิน 4.47%โดยน้ำหนัก ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งกับปริมาณทองแดงเป็นเส้นตรง(ซึ่งในงานวิจัยของ Dieter and Raub (1997) พบว่าที่ปริมาณสังกะสีต่ำ สังกะสีไม่มีผลต่อค่าคุณสมบัติทางกล) แต่เมื่อปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นสูง ดังชิ้นงาน B117-2 (10.08 wt.%Zn) สังกะสีเริ่มมีบทบาทมากขึ้นจนทำให้ชิ้นงานมีความแข็งสูงขึ้นโดยที่อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติทางกลได้ และเมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของโลหะประสานทองพบว่าการเติมสังกะสีไม่ส่งผลกระทบต่อเฟสต่างๆ ในโครงสร้างจุลภาค แต่มีผลต่อขนาดเกรนบ้างเล็กน้อย โครงสร้างจุลภาคของโลหะประสานแสดงไว้ในรูปที่ 5 และขนาดเกรนแสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่าขนาดเกรนค่อนข้างคงที่ประมาณ 0.15-0.20 mm มีเพียงชิ้นงาน S002 และ B117-2 มีขนาดเล็กกว่าชิ้นงานอื่นๆ คือ ประมาณ 0.12 mm

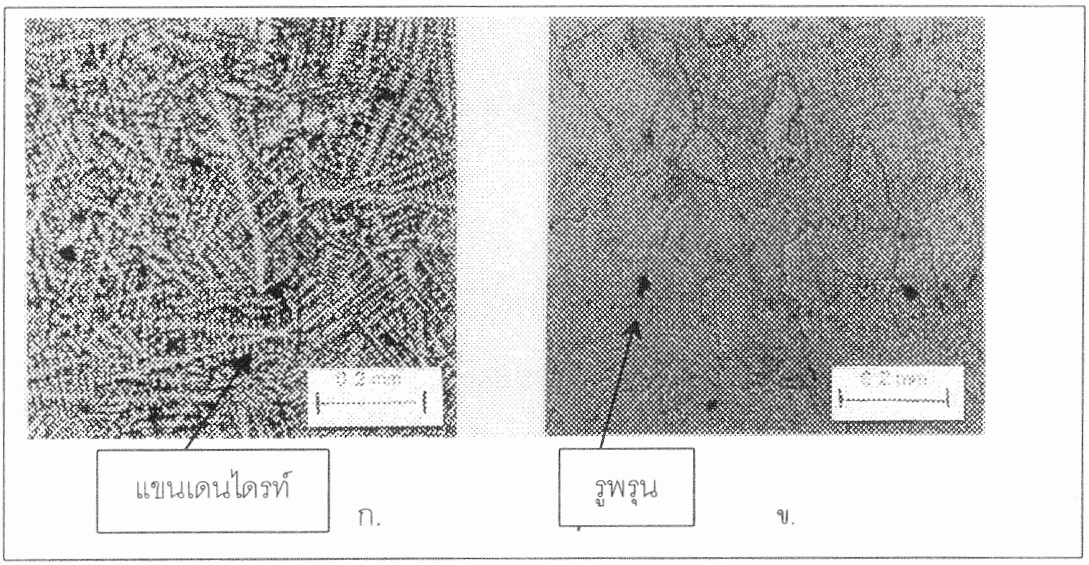


รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วง Pasty Stage กับปริมาณสังกะสี



ก. ข.

รูปที่ 4 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณสังกะสี
(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณทองแดง



รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะประสานทอง B 117-2 (10.08%Zn)

ก กัดด้วย (Conc.HCl+Conc.HNO3) อัตราส่วน 3:1 ปริมาณ 30% เจือจางด้วยน้ำ

ข กัดด้วยกรด 5%KCN + 5%$(NH_4)_2S_2O_3$

ตารางที่ 2 แสดงขนาดเกรนเฉลี่ยของโลหะประสาน

หมายเลขชิ้นงาน	สังกะสี (wt.%)	ขนาดเกรนเฉลี่ย (mm)
S002	0	0.12
B101-1	0.92	0.20
B103-2	2.50	0.15
B105-1	3.40	0.16
B105-2	3.37	0.16
B109-1	4.43	0.16
B117-2	10.08	0.12

แรงตึงผิวและมุมสัมผัส

ผลการวัดสมบัติด้านการเปียกในที่นี้ใช้การทดสอบแบบ Sessile drop เพื่อหาค่ามุมสัมผัสและแรงตึงผิว ได้แสดงไว้ ดังตารางที่ 3 รูปร่างของชิ้นงานทดสอบ Sessile drop แสดงในรูปที่ 6 พบว่าการเพิ่มปริมาณสังกะสีมากขึ้น ทำให้ค่าแรงตึงผิวและมุมสัมผัสลดลงส่งผลให้ความสามารถในการเปียกดีขึ้น โลหะประสานที่ไม่เติมสังกะสี [รูป6 (ก)] มีค่ามุมสัมผัสมากกว่า 90 องศา (Non wetting) แต่เมื่อเติมสังกะสีถึง 10.08 wt.% [รูป6 (ข)] พบว่ามุมสัมผัสมีค่าน้อยกว่า 90 องศา แสดงว่าสังกะสีมีผลให้ชิ้นงานเปียก (Wetting) บนฐานรองชิ้นงานได้ดีขึ้น หรือกล่าวได้ว่ามีความสามารถในการเปียกดีกว่าชิ้นงานที่ไม่เติมสังกะสี

ตารางที่ 3 แสดงผลของมุมสัมผัสและแรงตึงผิว

หมายเลข	ปริมาณสังกะสี (Wt.%)	แรงตึงผิว (mN/m)	มุมสัมผัส (คำนวณจากโปรแกรม)	มุมสัมผัส (วัดจากค่าจริง)
S002	0	1092.09	145.8	148.9
B101-2	0.66	658.99	133.2	136.7
B105-1	3.40	677.00	140.4	132.3
B107-1	4.47	377.90	133.2	124.0
B109-1	4.43	-	-	123.8
B117-2	10.08	-	-	60.4

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่สามารถหาค่าได้ เนื่องจากมีค่าต่ำมากทำให้รูปร่างไม่สมมาตร

(ก) ไม่เติมสังกะสี (Zn=0 wt.%) (ข) เติมสังกะสี (Zn=10.08 wt.%)

รูปที่ 6 แสดงรูปร่างของชิ้นงานทดสอบ Sessile Drop ที่เติมและไม่เติมธาตุสังกะสี

ค่าสีของโลหะประสาน (Raykhtsaum and Agarwal , 1997)

การใช้งานโลหะประสานทองจำเป็นต้องทราบค่าสีของโลหะประสานเพื่อสะดวกต่อการเลือกใช้งานกับชิ้นงานที่จะประสาน การวิเคราะห์หาค่าสีมีหลายวิธีในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือทดสอบค่าสี เรียกว่า Spectrophotometers โดยแสดงผลในรูปค่าตัวเลขเป็น 3 ชนิดคือ L, a, b โดยค่า L คือค่าความสว่าง (Lightness) เช่น ค่า L=0 (Black), L=100 (White), ค่า a คือ ค่าสีแดง-เขียว ในกรณีสีแดงค่า a จะมีค่าเป็นบวกตั้งแต่ 0 ถึง100 และสีเขียวค่า a จะมีค่าเป็นลบตั้งแต่ –100 ถึง 0 และ ค่า b คือ ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (ถ้าสีเหลืองค่า b จะมีค่าเป็นบวกตั้งแต่ 0 ถึง100 สีน้ำเงินค่า b จะมีค่าเป็นลบตั้งแต่ –100 ถึง 0) โลหะประสานทองที่ผ่านการตรวจค่าสีได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลค่าสีของโลหะทองผสมและโลหะประสานทองคำ 14 กะรัต

หมายเลข	Zn(wt.%)	L	a	b	DE
S002	0	63.55	6.03	19.75	0.00
B101-2	0.66	63.16	2.08	18.52	4.16
B103-2	2.20	60.24	-0.01	16.33	7.69
B105-1	3.40	67.25	-1.00	18.92	7.99
B105-2	3.37	65.17	-1.84	17.37	8.38
B107-1	4.47	66.12	-1.11	18.76	7.65
B109-1	4.43	67.48	-2.66	16.43	10.10
B117-2	10.08	69.12	-2.16	18.07	10.04

หมายเหตุ : ค่า DE คำนวณจากค่า L, a, b ของโลหะประสาน (ค่า DE = $((L2-L1)^2+(a2+a1)^2+(b2-b1)^2)^{1/2}$)
โดยใช้ชิ้นงาน S002 (Zn มี 0 wt.%) เป็นตัวเปรียบเทียบ

จากตารางที่ 4 พบว่าค่า L ประมาณ 60-70 หมายถึงค่าความสว่างที่ออกไปทางสีขาว (สีขาวมีค่าเท่ากับ 100) เมื่อเติมสังกะสีสูงขึ้นยิ่งทำให้โลหะนั้นมีสีขาวมากขึ้น ค่า a อยู่ในช่วงบวก 6 และเมื่อเติมสังกะสีมากขึ้นยิ่งทำให้ค่าเป็นลบมากขึ้นคือประมาณ –2 ซึ่งแสดงว่าสีจะเปลี่ยนจากสีแดงอ่อนๆ ไปเป็นสีทางเขียวอ่อนๆ มากขึ้น ในขณะที่ ค่า b (แทนค่าสีเหลือง-น้ำเงิน ถ้าสีเหลืองค่า b จะมีค่าเป็นบวกตั้งแต่ 0 ถึง100 ถ้าสีน้ำเงินค่า b จะมีค่าเป็นลบตั้งแต่ –100 ถึง 0) มีค่าที่ค่อนข้างคงที่คือประมาณ 16-19 (สีออกเหลืองอ่อน)จากผลการวัดค่าสีของโลหะประสานสรุปได้ว่าเมื่อเติมสังกะสีเพิ่มขึ้นยิ่งทำให้โลหะนั้นมีสีสว่างขึ้นสีออกไปทางสีเหลืองเขียวอ่อนๆ และเมื่อพิจารณาค่า DE คือ ค่าที่เปรียบเทียบค่าสีของวัสดุ 2 ชนิดพบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อสังกะสีเพิ่มขึ้น หมายถึง มีความแตกต่างของสีระหว่างตัวประสานกับโลหะที่จะประสาน (S002) ที่ชัดเจนขึ้น โดยทั่วไปค่า DE ที่มากกว่า 4 สามารถสังเกตถึงความแตกต่างของสีด้วยตาเปล่าได้ จากตารางที่ 4 พบว่าการเติมสังกะสีเพียงเล็กน้อยมีผลกระทบต่อค่าสีอย่างรุนแรง เติมเพียง 0.66 wt.% ทำให้ค่า DE เป็น 4.16 แสดงว่าเติมสังกะสีเพียง 0.66 wt.% สามารถสังเกตสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากโลหะประสาน S002 ด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้นการใช้สังกะสีมีข้อจำกัดด้านสีกับโลหะที่จะประสานด้วย จึงเหมาะกับใช้งานซ่อมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กทำให้ไม่เห็นถึงความแตกต่างของสีมากนักหรือใช้เชื่อมประสานบริเวณที่ไม่สามารถเห็นรอยประสานได้

สรุปผลการวิจัย

1. การเติมสังกะสีนำไปสู่การประสานที่ง่ายขึ้นเนื่องจากจุดเริ่มต้นหลอมเหลวและจุดหลอมเหลวสมบูรณ์ของโลหะประสานลดลง
2. สังกะสีทำให้ช่วง Pasty Stage ของโลหะประสานกว้างขึ้นทำให้ความสามารถในการเปียกของโลหะประสานดีขึ้น
3. ความสามารถในการเปียกของโลหะประสานที่เติมสังกะสีดีขึ้นเนื่องจากค่าแรงตึงผิวและมุมสัมผัสลดลง โลหะที่ไม่เติมสังกะสี (S002) มีค่ามุมสัมผัสมากกว่า

90 องศา ในขณะที่การเติมสังกะสีที่ 10.08 wt.% ทำให้มุมสัมผัสลดลงเหลือน้อยกว่า 90 องศา

4. ปริมาณสังกะสีที่เติมในปริมาณน้อย (น้อยกว่า 4.47%) ไม่มีผลต่อค่าความแข็งมากนัก ค่าความแข็งขึ้นอยู่กับปริมาณทองแดงที่มีอยู่โดยที่ปริมาณทองแดงสูงทำให้ความแข็งสูง
5. การเติมสังกะสีไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสในโครงสร้างจุลภาคของโลหะประสานทองและขนาดเกรนไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
6. ปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยมีผลกระทบต่อสีของโลหะประสานอย่างรุนแรงโดยสีของโลหะประสานมีสีขาวมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และได้รับความช่วยเหลือด้านเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นในงานวิจัย จากภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

Del Rio, O.I. and Neumann, A.W. 1997. Axisymmetric Drop Shape Analysis : Computational Methods for the Measurement of Interfacial Properties from the Shape and Dimensions of Pendant and Sessile drops. *J. of colloid and interface science*. **196** : 136-147.

Dieter, Ott and Raub, Christoph J. 1992. Gold Casting alloy 14 and 18 Catat. *Gold Technology*. **7 (7)** : 1-7.

Raykhtsaum, G. and Agarwal, D.P. 1997. The Color of Gold. *Gold Technology*. **22 (7)** : 26-30.

(Revised version accepted June 6, 2000)