

ชื่อโครงการ “การปรับปรุงความแข็งแรงของลึ้นสปริงเงินสเตอร์ลิงด้วยกระบวนการทางความร้อน”

นันทิชา นรินทร์สุรัตน์¹⁾ และ ดร.เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร²⁾

- 1) ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2) ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย* Email :fmtens@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาหาตัวแปรของกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงของลึ้นสปริงเงินสเตอร์ลิงผสมดีบุกให้มีค่าสูงสุด โดยตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิในการอบเป็นเนื้อเดียว อุณหภูมิการบ่มเพิ่มความแข็งแรง เวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มความแข็งแรง การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าหากเงินสเตอร์ลิงผสมดีบุกผ่านกรรมวิธีทางความร้อนด้วยตัวแปรที่เหมาะสม จะทำให้มีความแข็งแรงสูงขึ้นจากสภาพหล่อ โดยความแข็งแรงที่ได้เกิดจากอนุภาคตกตะกอนและกลไกการเพิ่มความแข็งแรงแบบ solid solution strengthening และสภาวะที่ทำให้ความแข็งแรงมีค่าสูงสุดคือ อบเป็นเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอบเพิ่มความแข็งแรงที่ 300°C เป็นเวลา 15 นาที จะทำให้ได้ความแข็งแรงสูงสุดที่ประมาณ 156.8 HV

คำสำคัญ: เงินสเตอร์ลิง หมายถึง โลหะเงินผสมที่มีปริมาณเนื้อเงินบริสุทธิ์อย่างน้อย 92.5% โดยน้ำหนัก

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ

อุตสาหกรรมเครื่องประดับเงินเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่นารายได้เข้าสู่ประเทศไทยในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามในสภาพการแข่งขันอย่างรุนแรงในปัจจุบันผู้ผลิตจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีต่างๆมากขึ้น

ในอดีตที่ผ่านมาปัญหาเรื่องลึ้นสปริงยังไม่นับว่ามี ความสำคัญ เพราะผู้บริโภคยังยอมรับลึ้นสปริงที่ผลิตขึ้นจากโลหะเงินผสมเกรดที่มีเนื้อเงินต่ำ (เนื้อเงิน 83-85%) แต่ปัจจุบันนี้มีความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นที่ระบุว่าเครื่องประดับเงินที่ผลิตขึ้นต้องมีความบริสุทธิ์ของเนื้อเงินไม่ต่ำกว่า 92.5%โดยน้ำหนัก ในกรณีของลึ้นสปริงต้องคงความเป็นสปริงและความแข็งแรงอยู่เช่นเดิม นับเป็นโจทย์ที่ท้าทายผู้ผลิตเป็นอย่างยิ่ง และนับวันจะยิ่งรุนแรงมากขึ้น เพราะเป็นสิ่งที่จะทำให้ลูกค้าไม่รับหรือส่งคืนสินค้ากลับมายังผู้ผลิต ส่งผลให้รายได้ลดลง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและปรับปรุงความแข็งแรงของลึ้นสปริงเงินสเตอร์ลิงผสมดีบุก (ปริมาณเงิน 92.5% ขึ้นไป)

1.2.2 เพื่อศึกษาและหาตัวแปรของกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสมและให้ความแข็งแรงสูงสุด

1.2.3 เพื่อนำผลการศึกษาวิจัยเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการและผู้ผลิตโดยตรง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 การแก้ไขปัญหาอุตสาหกรรมเพื่อผลิตลึ้นสปริงเงินสเตอร์ลิงที่ยังคงความแข็งแรงสูง

1.3.2 ได้ค่าตัวแปร เช่น อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการบ่มเพิ่มความแข็งแรง

1.3.3 ได้นำความรู้ในทางทฤษฎีไปใช้ในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาให้กับอุตสาหกรรม

2. กระบวนการดำเนินงานวิจัย

2.1 เตรียมวัสดุและอุปกรณ์

2.2 ขั้นตอนการบ่มเพิ่มความแข็ง

2.2.1 นำชิ้นงานที่เป็นแผ่นแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม 1.กลุ่มเงินสเตอร์ลิงผสมทองแดงหล่อ 2.กลุ่มเงินสเตอร์ลิงผสมทองแดงอบเป็นเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 745°C 3.กลุ่มเงินสเตอร์ลิงผสมทองแดงตีบุกหล่อ 4-6.กลุ่มเงินสเตอร์ลิงผสมทองแดงตีบุกอบเป็นเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 720 750 และ 780°C ตามลำดับ

2.2.2 จุ่มลงน้ำเย็นอย่างรวดเร็วเพื่อลดอุณหภูมิลงถึงอุณหภูมิห้อง

2.2.3 บ่มเพิ่มความแข็งสำหรับชิ้นงานที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวที่อุณหภูมิบ่ม เท่ากับ 300 350 400°C ตามลำดับโดยใช้ระยะเวลาการบ่มเท่ากับ 0 7 15 30 60 120 240 480 960นาทิตามลำดับ

2.2.4 วิเคราะห์หาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการบ่มเพิ่มความแข็ง ที่ให้ค่าความแข็งเหมาะสมกับการใช้งาน

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ของชิ้นงานในสภาพหล่อ

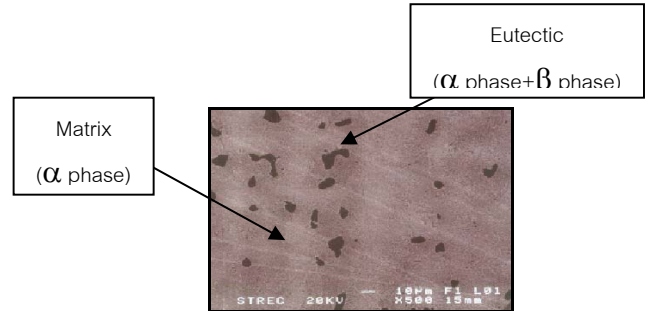
- ชิ้นงานที่ไม่เติมธาตุตีบุก 66.5 HV
- ชิ้นงานที่เติมธาตุตีบุก 66.0 HV

โลหะเงินสเตอร์ลิงที่ไม่มีธาตุตีบุก จะมีค่าความแข็งแบบวิกเกอร์สูงกว่าโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีธาตุตีบุกเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีปริมาณทองแดงสูงจะมีความแข็งสูง เนื่องจากธาตุทองแดงจะมีอิทธิพลในการเพิ่มความแข็งในสภาพหล่อสูงกว่าธาตุ

3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานในสภาพหล่อ

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ไม่เติมตีบุกและเติมตีบุกในสภาพหล่อขึ้นรูป ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM) แสดงดังรูปที่ 1 จะพบว่ามี

ลักษณะเป็นเดนไดรต์ โดยมีโครงสร้างหลัก 2 เฟสคือ โครงสร้างเนื้อพื้น (matrix) และโครงสร้างยูเทคติก (eutectic)



รูปที่ 1 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินสเตอร์ลิงในสภาพหล่อ ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM) แสดงโครงสร้าง dendrite, เฟส α และโครงสร้าง Eutectic

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ธาตุในโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน 92.5%-ทองแดง

ตำแหน่ง	สีที่ปรากฏ	ส่วนผสม (ตรวจสอบด้วย EDX)		
		%Ag	%Cu	%Sn
Matrix (α -phase)	ขาว	95.04	4.62	-
Eutectic	แถบลายขาวดำ	92.18	7.72	-

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ธาตุในโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน 92.5%-ทองแดง-ตีบุก

ตำแหน่ง	สีที่ปรากฏ	ส่วนผสม (ตรวจสอบด้วย EDX)		
		%Ag	%Cu	%Sn
Matrix (α -phase)	ขาว	95.09	4.23	0.35
Eutectic	แถบลายขาวดำ	93.09	6.24	0.32

3.3 ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

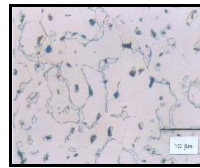
3.3.1 ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ของโลหะเงินสเตอร์ลิงสภาพอบให้เป็นสารละลายของแข็งเนื้อเดียว

ตารางที่ 3 ค่าความแข็งของโลหะเงินสเตอร์ลิงสภาพอบให้เป็นสารละลายของแข็งเนื้อเดียว

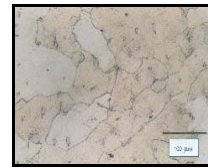
ชนิด	อุณหภูมิอบเป็นเนื้อเดียว (°C)	ความแข็ง (HV)
Ag-Cu	745	57.2
Ag-Cu-Sn	720	54.7
	750	52.1
	780	51.4

หมายเหตุ: เวลาในการอบ 1 ชั่วโมง

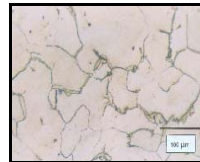
จากผลการทดลอง จะพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบสูงขึ้น ค่าความแข็งที่ได้จะลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้จากโครงสร้างจุลภาค โดยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ออบเพิ่มสูงขึ้น โครงสร้างยูเทคติกซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งจะละลายกลับเข้าไปในโครงสร้างเนื้อพื้นมากขึ้น ทำให้ความแข็งลดลงและยังส่งผลให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น แสดงดังรูปที่ 2



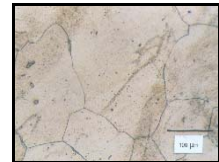
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินสเตอร์ลิง ในสภาพอบเป็นสารละลายของแข็งเนื้อเดียวที่อุณหภูมิต่างๆ ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง กำลังขยาย 100 เท่า หลังการกัดกรด

(ก) ชิ้นงานที่ไม่เต็มดื่บุก อบที่ 745°C

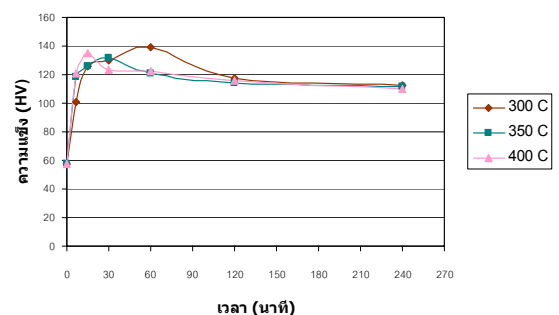
(ข) ชิ้นงานที่เต็มดื่บุก อบที่ 720°C

(ค) ชิ้นงานที่เต็มดื่บุก อบที่ 750°C

(ง) ชิ้นงานที่เต็มดื่บุก อบที่ 780°C

3.3.2 ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ของโลหะเงินสเตอร์ลิงหลังการอบเพิ่มความแข็ง

3.3.2.1 โลหะเงินสเตอร์ลิงที่ไม่เต็มธาตุดีบุกอบเป็นสารละลายของแข็งเนื้อเดียวที่ 745°C และนำมาอบเพิ่มความแข็งที่ 300°C, 350°C และ 400°C



รูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ไม่เต็มดื่บุก เมื่อผ่านการอบเพิ่มความแข็งหลังจากผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวที่ 745 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

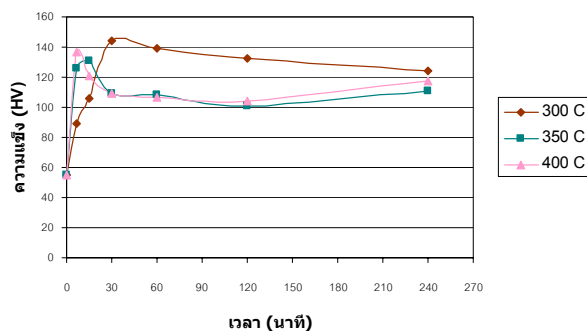
เมื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่อบเพิ่มความแข็งแรง จะพบว่ามีจุดตำหนิเกิดขึ้น เมื่อนำไปตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วย EDX ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุบนจุดตำหนิที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ไม่เติมดีบุก หลังการอบเพิ่มความแข็งแรง

ตำแหน่ง	ส่วนผสม (ตรวจสอบด้วย EDX)	
	%Ag	%Cu
จุดตำหนิ	77.44	22.56
บริเวณรอบๆ	96.74	3.26

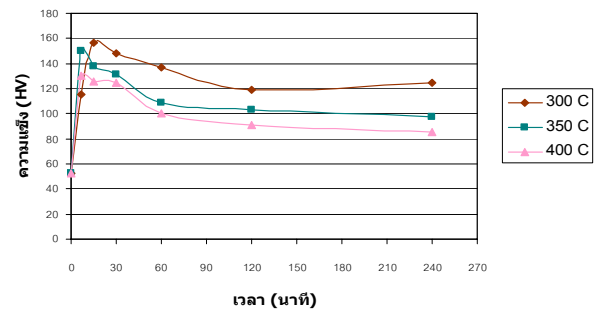
สามารถสรุปได้ว่าจุดตำหนินี้ก็คืออนุภาคการตกตะกอน (จากแผนภูมิสมดุลเฟสระบบเงิน-ทองแดง อนุภาคนี้อาจจะมีปริมาณธาตุทองแดงสูงถึง 92% แต่เนื่องจากลำแสงที่ยิงลงไปจะมีขนาด 10 μm ทำให้ไปโดนบริเวณพื้นที่รอบๆได้)

3.3.2.2 โลหะเงินสเตอร์ลิงที่เติมธาตุดีบุกอบเป็นสารละลายของแข็งเนื้อเดียวที่ 720 °C และนำมาอบเพิ่มความแข็งแรงที่ 300°C, 350°C และ 400 °C



รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่เติมดีบุก เมื่อผ่านการอบเพิ่มความแข็งแรงหลังจากผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวที่ 720 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.2.3 โลหะเงินสเตอร์ลิงที่เติมธาตุดีบุกอบเป็นสารละลายของแข็งเนื้อเดียวที่ 750 °C และนำมาอบเพิ่มความแข็งแรงที่ 300°C, 350°C และ 400 °C



รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่เติมดีบุก เมื่อผ่านการอบเพิ่มความแข็งแรงหลังจากผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวที่ 750 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการอบเพิ่มความแข็งแรงมาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM) จะพบจุดตำหนิเช่นเดียวกับโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ไม่ได้เติมธาตุดีบุกที่ตรวจพบก่อนหน้านี้ และเมื่อตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วย EDX ตามตารางที่ 5

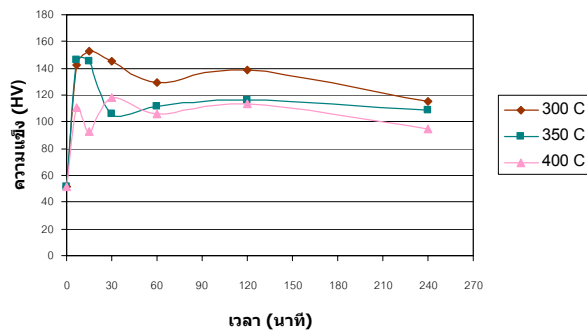
ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุบนจุดตำหนิที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่เติมดีบุก หลังการอบเพิ่มความแข็งแรง

ตำแหน่ง	ส่วนผสม (ตรวจสอบด้วย EDX)		
	%Ag	%Cu	%Sn
จุดตำหนิ	80.77	18.72	0.51
บริเวณรอบๆ	96.11	3.30	0.59

จึงสรุปได้ว่าจุดตำหนินี้ก็คืออนุภาคตกตะกอน (เนื่องจากมีปริมาณธาตุทองแดงสูง) จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุดีบุกที่อยู่ในพื้นที่ทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่าค่าความแข็งแรงที่ได้มาจากทั้งอนุภาคตกตะกอนและโครงสร้างพื้น โดยธาตุดีบุก

ที่อยู่ในโครงสร้างเนื้อพื้นเป็นกลไกการเพิ่มความแข็งแรงแบบ solid solution strengthening aging

3.3.2.4 โลหะเงินสเตอร์ลิงที่เติมธาตุดีบุกออกเป็นสารละลายของแข็งเนื้อเดียวที่ 780 °C และนำมาอบเพิ่มความแข็งแรงที่ 300°C, 350°C และ 400 °C



รูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่เติมดีบุก เมื่อผ่านการอบเพิ่มความแข็งแรงหลังจากผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวที่ 780 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 ธาตุดีบุกช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน โดยความแข็งแรงที่ได้มาจากทั้งอนุภาคตกตะกอนและกลไกการเพิ่มความแข็งแรงแบบ solid solution strengthening ในโครงสร้างพื้น

4.2 จากการทดลองนี้ สามารถสรุปเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบเป็นสารละลายของแข็งเนื้อเดียวและการอบเพิ่มความแข็งแรงของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่เติมดีบุกเพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงสูงสุดคือ อบเป็นสารละลายของแข็งเนื้อเดียวที่ 750°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอบเพิ่มความแข็งแรงที่ 300°C เป็นเวลา 15 นาที จะได้ความแข็งแรงเท่ากับ 156.8 HV

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการทางวิศวกรรมนี้สำเร็จลงด้วยความช่วยเหลือจาก อ.ดร.เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ แก้ไขปัญหาของโครงการมาโดยตลอด

ขอขอบคุณบริษัทเคทีเอฟ เจมส์แอนด์จิวเวลรี่ จำกัด ในการใช้สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆในการหล่อขึ้นงานโลหะเงินสเตอร์ลิง

ท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรม สำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546 ซึ่งให้การสนับสนุนทุนวิจัยจนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

ดร.ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และสาโรช วิจิตรเกียรติพงศ์.วัสดุในงานวิศวกรรม,หน้า 224

มนัส สติจินดา.โลหะนอกกลุ่มเหล็ก,หน้า 164.

สุภิญญา วงษ์ศรีรักษา.สมบัติทางกลและความต้านทาน

การหมองของโลหะผสมเงิน 92.5%- ทองแดง-

แมงกานีส.วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2545.

ASM HANDBOOK,Alloy Phase

Diagram.Vol.3,ASM International,1992,

p 2.178.

Dave Schneller. The Santa Fe Symposium On

Jewelry Manufacturing Technology

(1989),p.297.

P.Villars,A.Prince and H.Okamoto.Handbook of

ternary alloy phase diagrams.Vol.3,ASM

International,1995,p.2337.