

## งานวิจัยคณะอัญมณีเพื่อเผยแพร่แก่บุคคลทั่วไป

เรียบเรียงโดย : ดร.ชุตินันต์ จันทร์เมือง

งานวิจัยตีพิมพ์ : ผลของการหล่อต่อความแข็ง การกันหมอง และโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน เครื่องประดับ เงิน-ทองแดง-สังกะสี-ซิลิกอน (Influence of Casting Techniques on Hardness, Tarnish Behavior and Microstructure of Ag-Cu-Zn-Si Sterling Silver Jewelry Alloys)

ผู้แต่ง : ชุตินันต์ จันทร์เมือง, วรณพร คงเมือง, จอน เพียส และธรณินทร์ ไชยเรืองศรี  
C. Chanmuang, W. Kongmuang, J. T. H. Pearce and T. Chairuangsrī

วารสาร : Journal of Metals, Materials and Minerals, (2012), 22(2), pp.19-26.

### บทนำและการทดลอง

เงินเป็นโลหะที่ได้รับความนิยมชนิดหนึ่งสำหรับการผลิตเครื่องประดับ เนื่องจากมีข้อเด่นคือมีสีขาวแวววาว และราคาไม่สูงมากจนเกินไป โดยโลหะเงินจะได้รับการยอมรับให้เป็นเครื่องประดับที่ได้มาตรฐานต้องมีปริมาณเงินอย่างน้อย 92.5% หรือที่เรียกว่าเงินสเตอร์ลิง โดยสาเหตุที่เราไม่นิยมใช้เงินบริสุทธิ์ผลิตเป็นเครื่องประดับเพราะเงินบริสุทธิ์นั้นมีความอ่อนตัวมากเกินไป ทำให้เสียรูปทรงได้ง่ายเมื่อมีการกระทบ และยังทำให้ไม่สามารถฝังพลอยบนเงินเหล่านี้ได้ เนื่องจากขาดความแข็งแรงนั่นเอง ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องมีการเติมโลหะชนิดอื่น ๆ ลงไปด้วย โลหะที่นิยมใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงของโลหะผสมเงินสเตอร์ลิงนี้คือโลหะทองแดง ดังนั้นในการผลิตเราจะสามารถเติมทองแดงผสมระหว่างการผลิตได้มากที่สุดคือ 7.5% การเติมทองแดงนี้ส่งผลดีอย่างมากในเรื่องของการช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้เงิน แต่ขณะเดียวกันก็มีข้อเสียที่สำคัญคือจะทำให้โลหะผสมเงินมีการหมองได้ง่าย การหมองที่พบบ่อยคือการเกิดสีน้ำตาลดำบนผิวโลหะ ซึ่งจะทำให้โลหะนั้นหมองและไม่ขาว การหมองนี้สามารถขัดออกได้เนื่องจากเป็นชั้นบาง ๆ บนผิวเท่านั้น แต่เมื่อขัดออกไปแล้วและทิ้งโลหะไว้อีกไม่นาน โลหะนั้นก็จะกลับมาหมองอีก จึงนับเป็นปัญหาหลักที่ไม่สามารถแก้ไขให้หายขาดได้

ในการวิจัยได้ทดลองเติมสังกะสีและซิลิกอนเข้าไปผสมกับโลหะเงินสเตอร์ลิงนี้ เนื่องจากทราบกันดีว่าสังกะสีนั้นสามารถช่วยในเรื่องของการหล่อ ทำให้น้ำโลหะไหลตัวดีและหล่อได้ง่ายขึ้น สำหรับซิลิกอนนั้นสามารถช่วยลดการหมองของเงินได้ แต่การเติมธาตุเหล่านี้ก็มีข้อควรระวัง โดยเฉพาะซิลิกอน หากมีการเติมมากเกินไปก็จะทำให้โลหะเงินมีความแข็งมากเกินไป จะเกิดการเปราะและแตกหักได้ง่าย

งานวิจัยนี้ได้ทำในโลหะผสมเงินสเตอร์ลิงที่ปริมาณเงิน 93.5% เหตุที่ต้องใช้เงินมากกว่า 92.5% นั้นเพื่อให้แน่ใจว่าโลหะนี้ยังคงเป็นเกรดของสเตอร์ลิงสำหรับเครื่องประดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์อาจมีการสูญเสียได้ในกระบวนการผลิต การทดลองได้ทำการหล่อโลหะใน 2 สภาวะ คือ

สภาวะที่ 1 : หล่อในเครื่องซึ่งมีการควบคุมให้เป็นสุญญากาศ (Vacuum casting) โดยมีการใช้ก๊าซเฉื่อยอาร์กอนปกคลุมผิวโลหะหลอมไม่ให้สัมผัสกับอากาศ เมื่อน้ำโลหะหลอมจะทำการหล่อในเบ้าปูนตามกระบวนการหล่อแบบเสียเทียนขี้ผึ้ง (lost-wax casting หรือ investment casting)

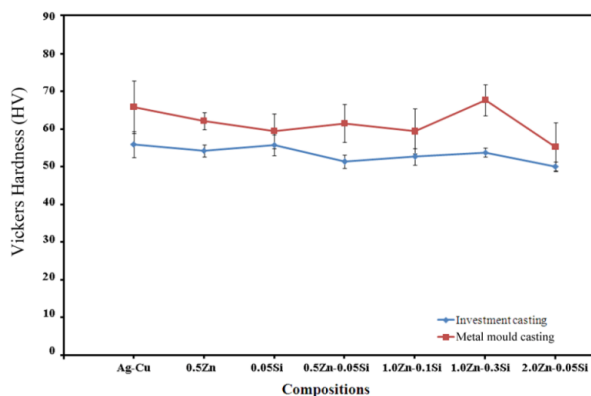
สภาวะที่ 2 : หล่อภายในสภาวะอากาศธรรมดา ซึ่งใช้ไฟจากเปลวไฟ และเทน้ำโลหะลงเบ้าซึ่งทำจากเหล็ก (metal mold)

## ผลและอภิปรายผล

### ● ความแข็งและการทดสอบการหมอง

จากการทดลอง พบว่าชิ้นงานที่ได้จากการหล่อแบบที่ 1 ซึ่งหล่อในสภาวะที่มีการควบคุมอากาศและหล่อในเบ้าปูนนั้นมีค่าความแข็งมากกว่าชิ้นงานที่หล่อในสภาวะอากาศปกติในเบ้าโลหะ ดังแสดงผลใน **รูปที่ 1** โดยค่าความแข็งของการหล่อในเบ้าปูนมีค่าเฉลี่ย 66 HV และการหล่อในเบ้าโลหะมีค่าความแข็ง 56 HV ดังนั้นการหล่อในเบ้าปูนจะให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าประมาณ 5-10 HV และเนื่องจากค่าความแข็งที่ได้ในการหล่อนั้นไม่มีค่าที่แตกต่างกันมากถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนส่วนผสมในทุกช่วงของการทดลอง (ปริมาณสังกะสีสูงสุด 2% และซิลิกอนสูงสุด 0.3%) ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งจึงอยู่ที่กระบวนการหล่อกว่า การขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง

ค่าการหมองที่ดีที่สุดใ้ในสภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้คือในชิ้นงานโลหะที่มีส่วนผสมของ เงิน 93.5%-ทองแดง 5.0%-สังกะสี 1.0%-ซิลิกอน 0.1% ดังแสดงใน **รูปที่ 2** โดยลักษณะการหมองจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีสีน้ำตาลอ่อนซึ่งมีการหมองน้อย กลุ่มสีน้ำตาลเข้มมีการหมองปานกลาง และกลุ่มที่มีการหมองแบบรุนแรงซึ่งทำให้ชิ้นงานมีสีดำเข้ม



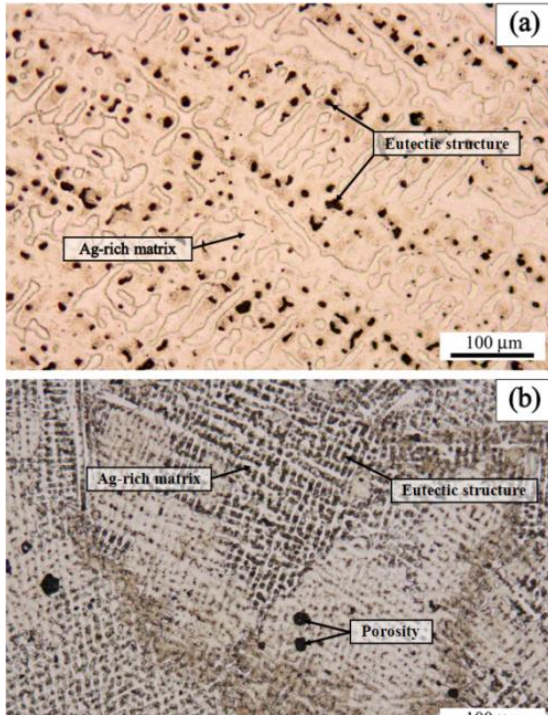
**รูปที่ 1** ค่าความแข็งของชิ้นงานจากการหล่อด้วยเบ้าปูนและการหล่อด้วยเบ้าโลหะ

Composition (wt%)				Time (min)						
Ag	Cu	Zn	Si	0	15	30	45	60	120	180
93.5	6.5	-	-							
93.5	6.0	0.5	-							
93.5	6.45	-	0.05							
93.5	5.95	0.5	0.05							
93.5	5.40	1.0	0.10							
93.5	5.20	1.0	0.30							
93.5	4.45	2.0	0.05							

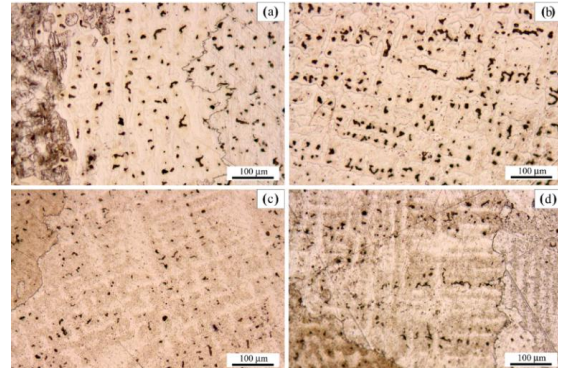
**รูปที่ 2** การทดสอบการหมอง

### ● โครงสร้างจุลภาค

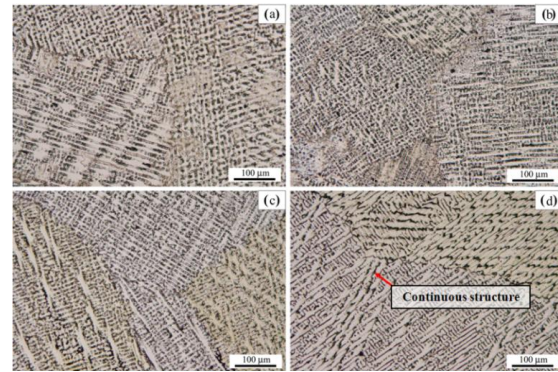
โครงสร้างจุลภาคของโลหะจากการหล่อทั้ง 2 แบบนั้นมีลักษณะไม่ต่างกัน คือ ประกอบด้วยโครงสร้างลักษณะเดนไดรต์ (dendrite) ซึ่งมีลักษณะคล้ายต้นไม้และมีโครงสร้างยูเทคติกซึ่งมองเห็นเป็นเม็ดสีดำกระจายตัวอยู่ทั่วไปในพื้นที่ระหว่างแขนของโครงสร้างเดนไดรต์ ภาพถ่ายโครงสร้างซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสดงใน **รูปที่ 3** อย่างไรก็ตามเราเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการหล่อในเบ้าปูน (รูปที่ 3a) มีขนาดของเดนไดรต์ขนาดใหญ่กว่าการหล่อด้วยเบ้าโลหะ (รูปที่ 3b) เนื่องจากการเย็นตัวในเบ้าโลหะนั้นมีอัตราที่สูงกว่า จึงทำให้ได้โครงสร้างขนาดเล็กที่ถี่ลง แต่การหล่อในเบ้าโลหะซึ่งกระทำในสภาวะอากาศปกติ นั้น จะทำให้มีฟองอากาศขนาดประมาณ 10 ไมโครเมตร เกิดขึ้นด้วย เนื่องจากมีปริมาณอากาศที่มากเกินไปนั่นเอง ขนาดของเดนไดรต์ที่แตกต่างกันจากการหล่อทั้ง 2 สภาวะ สามารถเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจนใน **รูปที่ 4** และ **รูปที่ 5**



รูปที่ 3 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสง: โครงสร้างจุลภาคของเงินสเตอร์ลิง 93.5%Ag-6.5%Cu (a) หล่อในเบ้าปูน และ (b) หล่อในเบ้าโลหะ

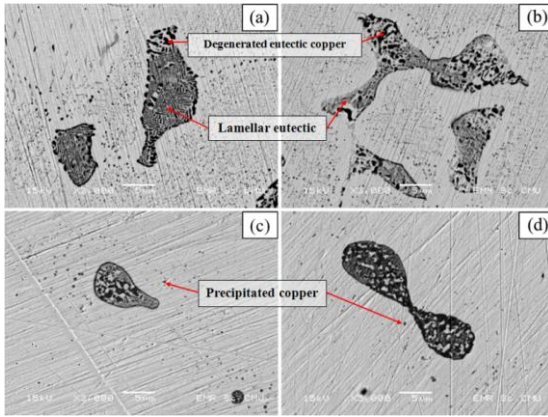


รูปที่ 4 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสง: โครงสร้างจุลภาคของเงินสเตอร์ลิงหล่อในเบ้าปูน (a) 0.5%Zn (b) 0.05%Si (c) 1.0%Zn-0.1%Si และ (d) 1.0%Zn-0.3%Si

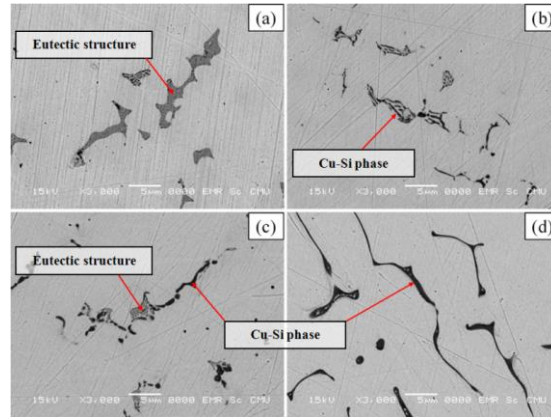


รูปที่ 5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แสง: โครงสร้างจุลภาคของเงินสเตอร์ลิงหล่อในเบ้าโลหะ (a) 0.5%Zn (b) 0.05%Si (c) 1.0%Zn-0.1%Si และ (d) 1.0%Zn-0.3%Si

โครงสร้างจุลภาคจากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของเงินสเตอร์ลิงหล่อในเบ้าปูนและเบ้าโลหะในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 แสดงให้เห็นความแตกต่างของโครงสร้างจากการหล่อทั้ง 2 สภาวะ จะเห็นได้ว่าถึงแม้โลหะเหล่านี้จะมีส่วนผสมที่เหมือนกัน แต่ผลจากสภาวะในการหล่อจะทำให้มีโครงสร้างแตกต่างกัน คือ การหล่อด้วยเบ้าปูนจะเห็นโครงสร้างลามเอลาหรือโครงสร้างที่มีเฟสสีขาวสลับดำเรียงตัวเป็นชั้น ๆ ได้ชัดเจน แต่ในสภาวะที่หล่อด้วยเบ้าโลหะ โครงสร้างลามเอลาจะมีการเปลี่ยนเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเส้นดำทึบซึ่งเห็นได้ชัดเจนที่สุดในรูปที่ 7d ซึ่งมีส่วนผสมของสังกะสี 1.0% และซิลิกอน 0.3% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเติมซิลิกอนเป็นกลไกที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค คือ หากเติมซิลิกอนในปริมาณที่มากเกินไปจะมีผลทำให้โครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างยูเทคติกไปเป็นโครงสร้างลักษณะโครงข่ายเป็นเฟส Cu-Si ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ส่วนผสมของธาตุพบว่าสังกะสีนั้นมีการกระจายตัวอยู่ในทุกพื้นที่ทั้งในเนื้อโลหะหลักซึ่งเป็นเงินและในเฟสของทองแดง (ในขณะที่ซิลิกอนจะพบในบริเวณที่มีทองแดงสูงเท่านั้น) ดังนั้นสังกะสีที่พบในทุกบริเวณนี้คาดว่ามีส่วนในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อให้สามารถหล่อขึ้นงานได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 6 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน: โครงสร้างจุลภาคของเงินสเตอร์ลิง โครงสร้างจุลภาคของเงินสเตอร์ลิงหล่อในเบ้าปูน (a) 0.5%Zn (b) 0.05%Si (c) 1.0%Zn-0.1%Si และ (d) 1.0%Zn-0.3%Si



รูปที่ 7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน: โครงสร้างจุลภาคของเงินสเตอร์ลิง โครงสร้างจุลภาคของเงินสเตอร์ลิงหล่อในเบ้าโลหะ (a) 0.5%Zn (b) 0.05%Si (c) 1.0%Zn-0.1%Si และ (d) 1.0%Zn-0.3%Si