

สมบัติทางกลของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงที่มีผลมาจากอัลลอยทางการค้า

Mechanical Properties of Sterling Silver Piece from Commercial Alloys

นัตรลัดดา วรรณทอง สิริพร โรจนนนต์*

สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

กรุงเทพฯ 10140 โทร 0-2470-8695 โทรสาร 0-2470-8643 *อีเมลล์: siriporn.roj@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาสมบัติทางกลชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงที่มีผลมาจากอัลลอยทางการค้า วิธีทดลองเริ่มจากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอย หลังจากนั้นนำอัลลอยหลอมรวมกับโลหะเงินบริสุทธิ์และหล่อเป็นเม็ดเงินสเตอร์ลิง ต่อมานำเม็ดเงินสเตอร์ลิงหลอมโดยใช้อุณหภูมิ ต่าง ๆ กัน หล่อเป็นชิ้นงาน ทดสอบสมบัติทางกล ผลการทดลองพบว่า ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยจัดอยู่ในกลุ่มโลหะทองเหลือง ซึ่งประกอบด้วยทองแดงและสังกะสีเป็นส่วนผสมหลัก มีธาตุอื่น ๆ เป็นส่วนผสมรอง ในปริมาณที่แตกต่างกัน โครงสร้างจุลภาค ความแข็งจุลภาค และความต้านแรงดึงจะอธิบายต่อไป สรุปได้ว่าส่วนผสมของอัลลอย มีผลกระทบต่อสมบัติทางกล งานวิจัยนี้จึงมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ เพื่อที่จะได้ตระหนักถึงสมบัติทางกลที่ได้รับผลมาจากอัลลอยทางการค้า

Abstract

The objective of this article is to investigate on mechanical properties of sterling silver piece from commercial alloys. The experimental procedures start with the chemical analysis of alloys. Later, each alloy is melted together with pure silver metal and cast to silver sterling granules. Subsequently, silver sterling granules are melted in the difference temperatures and cast into samples. The results show that the alloys compositions are brass compositions, which mainly consisted of copper and zinc together with other minor alloying elements in the different contents. Microstructures, microhardness and tensile strength will be discussed later. It could be concluded that mechanical properties are effected on the alloy compositions. The research results are useful for the sterling industrials in order to realize the mechanical properties of alloying elements.

1. คำนำ

ปัจจุบันการผลิตเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง ได้มีการพัฒนาระบบการผลิตให้มีความทันสมัยขึ้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น อย่างไรก็ตามก็ยังพบปัญหาของงานหล่อ ปัญหาเกิดคราบสีน้ำตาลแดง

ซึ่งเกิดจากการรวมกันของทองแดงและออกซิเจน จึงได้มีการแก้ไขโดยการเติมธาตุอื่น ๆ เช่น ซิลิคอน อลูมิเนียม และดีบุก เป็นต้น เพื่อช่วยลดปัญหานี้ [1] ซึ่งการเติมธาตุเจืออื่น ๆ อาจจะส่งผลให้เกิดผลดี หรือผลเสียต่อสมบัติของเงินสเตอร์ลิงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของธาตุที่เติมเข้าไป

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าปริมาณซิลิคอนที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 0.02–0.20% โดยน้ำหนัก ถ้าเติมมากเกินไป จะทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายตามขอบเกรน ทำให้เงินสเตอร์ลิงมีความเปราะ [2, 3] การเติมธาตุอะลูมิเนียม 1.50% โดยน้ำหนัก จะช่วยป้องกันการเกิดออกไซด์ที่มีสีหมองคล้ำถึงแดงได้ แต่หากเติมมากกว่านี้ จะทำให้สีไม่สวยงาม และมีความแข็งสูงมาก ยากต่อการขึ้นรูปเครื่องประดับ [4] เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว ในปัจจุบันผู้ผลิตเครื่องประดับเงิน จึงสนใจในการเลือกใช้อัลลอย ซึ่งเป็นโลหะผสมสำเร็จรูป มีขายในท้องตลาดหลายชนิด เป็นสินค้านำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งไม่เปิดเผยส่วนผสมทางเคมี อาจมีข้อมูลบ้างว่าให้อัลลอยนี้เพื่อต้องการให้ได้สมบัติเฉพาะด้านอย่างไร แต่ในการใช้งานจริง กลับพบปัญหาบางอย่างตามมา เนื่องจากไม่ทราบข้อมูลที่แน่ชัดในการใช้งานให้เหมาะสม รวมถึงการเลือกชนิดของอัลลอย ที่จะนำมาใช้งานให้เหมาะสมกับสมบัติของเงินสเตอร์ลิงที่ต้องการในอุตสาหกรรม

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ เพื่อที่จะศึกษาสมบัติทางกลของเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิงที่มีผลมาจากอัลลอยต่างชนิดกันที่มีขายในท้องตลาด เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญกับภาคอุตสาหกรรม และในด้านการวิจัยและพัฒนาส่วนผสมของอัลลอยต่อไป

2. วิธีดำเนินการทดลอง

อัลลอยที่ศึกษา นี้ เลือกมาจากที่มีจำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบันมา 2 ชนิด โดยเลือกจากปริมาณการใช้งานสูงสุด ของผู้ผลิตเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง ในที่นี้แทนด้วยสัญลักษณ์เป็น A และ B ตามลำดับ ไม่ทราบส่วนผสมทางเคมี ในการทดลองได้ศึกษาโครงสร้างจุลภาค และวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอย ด้วยเทคนิค ICP จากนั้นนำอัลลอยแต่ละชนิด ไปหลอมรวมกับเงินบริสุทธิ์ หล่อเป็นเม็ดเงินสเตอร์ลิง (Sterling Silver Granules) โดยใช้เงินบริสุทธิ์ปริมาณ 92.50% และอัลลอยปริมาณ 7.5% โดยน้ำหนัก ใช้เครื่องเทเม็ดโลหะรุ่น Oldmoon- PM 100 ใช้เวลาหลอมคงที่ 15 นาที

ขั้นตอนต่อไป นำเม็ดเงินสเตอร์ลิงที่ได้ ไปหลอมและหล่อเป็นชิ้นงานหล่อโลหะเงินสเตอร์ลิง แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกล การหล่อใช้เครื่องหล่อระบบสูญญากาศ รุ่น YASUI-KT 17 ใช้อุณหภูมิหล่อแตกต่างกัน 3 ค่า ได้แก่ ก) อุณหภูมิที่ได้รับการแนะนำจากแหล่งขายอัลลอยเป็นอุณหภูมิกลาง ข) อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิกลาง 10 องศาเซลเซียส และ ค) อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกลาง 10 องศาเซลเซียส การหล่อนี้ใช้ความดันและเวลาที่อุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อ ชิ้นงานโลหะเงินสเตอร์ลิง แสดงในตารางที่ 1 การทดสอบความแข็งจุลภาค ตามมาตรฐาน ASTM-E38 การทดสอบแรงดึงใช้ชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM E8-99 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วย EDS สารเคมีที่ใช้กัดชิ้นงาน ประกอบด้วย $K_2Cr_2O_7$ 1 กรัม H_2SO_4 4 มิลลิลิตร และ H_2O 50 มิลลิลิตร

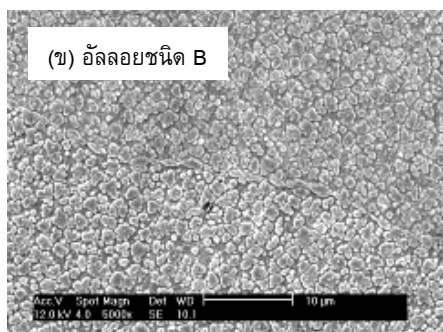
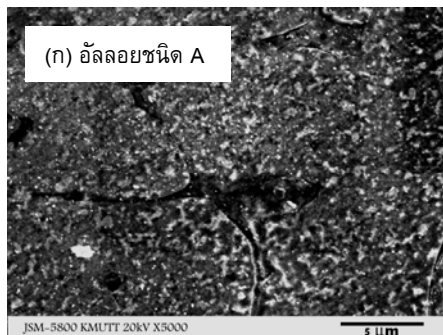
ตารางที่ 1 อุณหภูมิหล่อชิ้นงานโลหะเงินสเตอร์ลิง

อัลลอย	อุณหภูมิหล่อชิ้นงาน (องศาเซลเซียส)		
	ค่ากลาง-10	ค่ากลาง	ค่ากลาง +10
A	980	990	1000
B	995	1005	1015

3. ผลการทดลอง

3.1 โครงสร้างและส่วนผสมทางเคมีของอัลลอย

โครงสร้างจุลภาคของอัลลอยชนิด A และ B แสดงในรูปที่ 1(ก)-(ข) ตามลำดับ โครงสร้างของอัลลอยทั้งสองชนิดมีลักษณะแบบเดนไดรต์ ขนาดต่างกัน



รูปที่ 1 โครงสร้างจุลภาคของอัลลอย 2 ชนิด

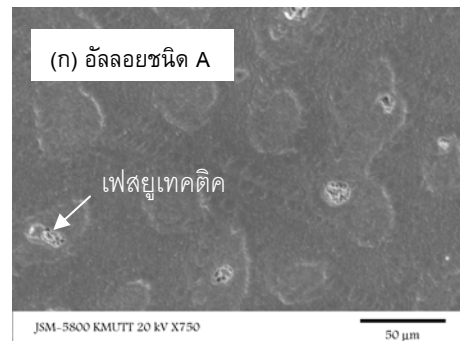
ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอย A และ B โดยเทคนิค ICP แสดงในตารางที่ 2 บอกได้ว่าอัลลอย A และ B มีส่วนผสมเป็นทองเหลืองแอลฟา (Yellow Brass) เนื่องจากส่วนผสมประกอบด้วย Cu และ Zn เป็นธาตุผสมหลัก มีปริมาณของ Zn ไม่เกิน 36% นอกจากนี้ยังมีธาตุผสมในปริมาณน้อยที่ต่างกันไป

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอย

อัลลอย	ชนิดและปริมาณของธาตุ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)							
	Cu	Zn	Si	Sn	Al	P	Ge	In
A	68.25	31.09	0.04	0.47	0.05	trace	-	0.05
B	63.23	35.36	0.98	0.16	-	-	1.39	0.17

3.2 โครงสร้างและส่วนผสมของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิง

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิง ที่ได้จากการใช้อัลลอย ชนิด A และ B หล่อด้วยอุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ค่า พบว่า มีลักษณะโครงสร้างไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ โครงสร้างมีลักษณะเป็นเดนไดรต์ ในที่นี้จึงเลือกแสดงรูปถ่ายเฉพาะของชิ้นงานที่หล่อด้วยอุณหภูมิต่ำสุดเท่านั้น แสดงในรูปที่ 2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อโลหะเงินสเตอร์ลิง

จะเห็นว่าโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ใช้อัลลอยชนิด A ให้โครงสร้างเดนไดรต์ของเฟสแอลฟาที่มีเงินเป็นส่วนผสมหลัก (Ag-rich phase) และเฟสยูเทคติกบ้างเล็กน้อย ส่วนโครงสร้างของชิ้นงานที่หล่อด้วยอัลลอยชนิด B พบว่าเกิดเฟสที่สอง (Secondary Phase) ที่บริเวณช่องว่างระหว่างเดนไดรต์ (Interdendritic dendrite) อย่างชัดเจนและยาวต่อเนื่องกันไป

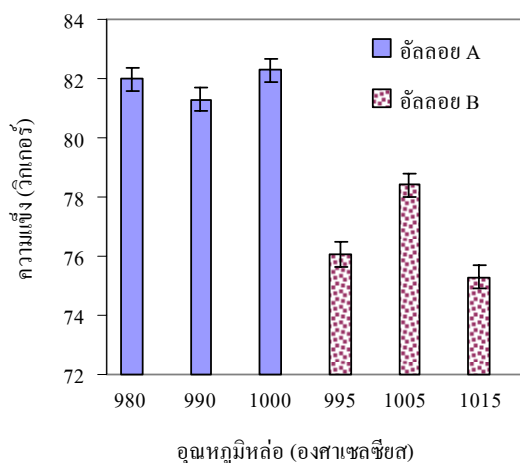
ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานหล่อนี้ ที่บริเวณเดนไดรต์ และบริเวณช่องว่างระหว่างเดนไดรต์ โดยใช้เทคนิค EDS แสดงผลในตารางที่ 3 จะเห็นว่าส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานที่หล่อด้วยอัลลอย A มีส่วนผสมค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ส่วนผสมของชิ้นงานที่หล่อด้วยอัลลอย B พบว่าเฟสที่สองประกอบด้วยซิลิคอนและสังกะสีในปริมาณสูง

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ใช้อัลลอย A และ B

ชนิด	บริเวณ	ชนิดและปริมาณของธาตุ (%โดยน้ำหนัก)						
		Ag	Cu	Zn	Si	Al	Ge	Mg
A	เดนไดรต์	94.55	3.21	1.80	0.06	0.19	-	0.29
	ช่องว่าง	93.79	3.18	1.85	0.05	0.19	-	0.27
B	เดนไดรต์	94.30	4.09	1.64	0.76	0.14	0.05	0.09
	ช่องว่าง	51.58	42.22	2.45	3.42	0	0.39	0.28

3.5 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิง

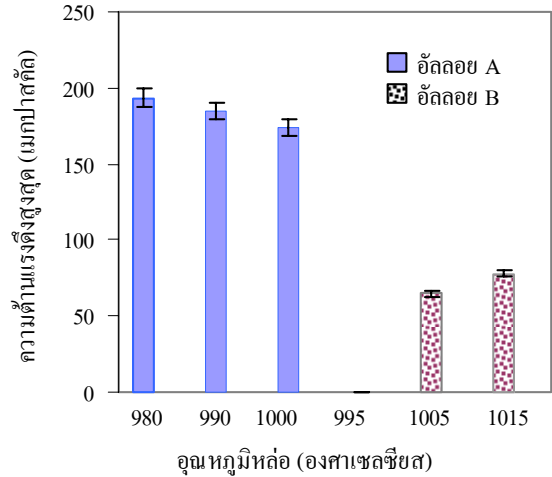
ผลการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานหล่อโลหะเงินสเตอร์ลิงหล่อด้วยอัลลอยทั้งสอง ด้วยอุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ค่า แสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าความแข็งของชิ้นงานหล่อด้วยอัลลอยชนิด A ที่อุณหภูมิ 980, 990 และ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าไม่แตกต่างกันนัก ให้ค่าความแข็งเฉลี่ยช่วง 81-82 HV แสดงว่าอุณหภูมิการหลอมไม่มีผลต่อความแข็งของชิ้นงาน สำหรับชิ้นงานที่หล่อด้วยอัลลอย B ที่อุณหภูมิ 995, 1005 และ 1015 องศาเซลเซียส พบว่าความแข็งเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกัน ค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75-78 HV จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ใช้อัลลอย A มีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงกว่าชิ้นงานที่หล่อด้วยอัลลอย B



รูปที่ 3 ความแข็งของชิ้นงานที่หล่อด้วยอัลลอย 2 ชนิด

ผลการทดสอบแรงดึง ได้ความต้านแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานที่หล่อด้วยอัลลอย 2 ชนิด แสดงในรูปที่ 4 พบว่าชิ้นงานที่หล่อด้วยอัลลอย

ชนิด A ที่หล่อด้วยอุณหภูมิต่างกัน มีค่าความต้านแรงดึงสูงสุดต่างกัน ชิ้นงานที่หล่อด้วยอุณหภูมิ 980 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ย 196 เมกกะปาสคัล ซึ่งมีค่าสูงกว่าความต้านแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานที่หล่อด้วยอุณหภูมิต่ำกว่า



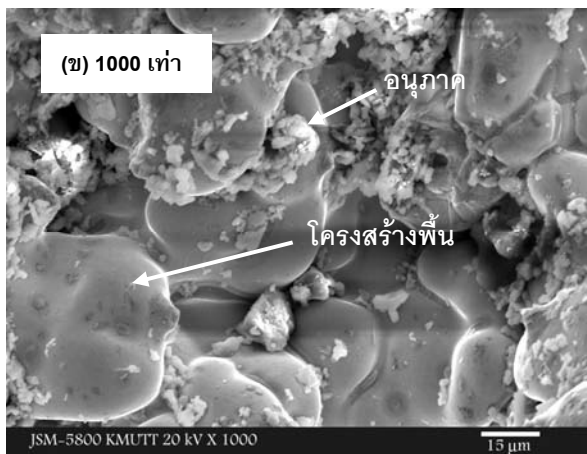
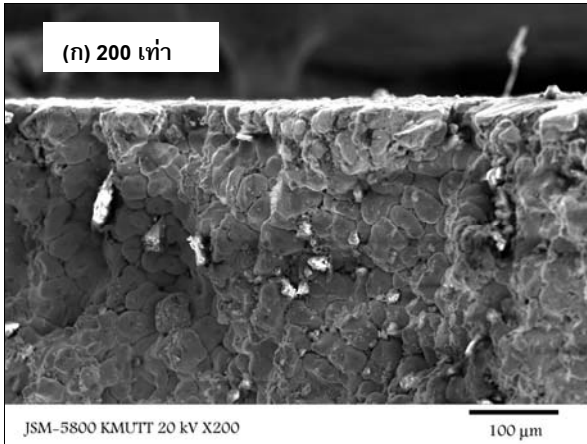
รูปที่ 4 ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานหล่อ

ส่วนชิ้นงานหล่อด้วยอัลลอยชนิด B หล่อด้วยอุณหภูมิ 1005 และ 1015 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าความต้านแรงดึงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเป็น 68 และ 78 เมกกะปาสคัล ตามลำดับ สำหรับชิ้นงานที่อุณหภูมิ 995 องศาเซลเซียส ไม่สามารถทดสอบแรงดึงได้ เนื่องจากเกิดการแตกหักขึ้นที่ชิ้นงานหลังหล่อ จะเห็นว่าชิ้นงานหล่อด้วยอัลลอยชนิด B มีค่าความต้านแรงดึงสูงสุดต่ำกว่าชิ้นงานหล่อด้วยชนิด A เนื่องจากในชิ้นงานหล่อด้วยชนิด B พบรอยร้าวขนาดเล็ก ๆ ในโครงสร้างของชิ้นงานก่อนการทดสอบ

ลักษณะผิวของชิ้นงานที่แตกหัก ของงานหล่อด้วยอัลลอย B แสดงในรูปที่ 5 (ก)-(ข) จะเห็นได้ว่ามีอนุภาคเป็นเม็ดที่เห็นเป็นสีขาวกระจายทั่วในโครงสร้างพื้น ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี พบว่าบริเวณที่เห็นอนุภาคเม็ดสีขาวประกอบด้วย ส่วนผสมหลักของ 14.78%Ca และ 32.50%Si จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดรอยร้าวได้เนื่องจาก Ca และ Si เป็นเฟสที่เปราะ ธาตุ Ca, Mg อาจหลุดมาจากปูนที่ใช้ทำแบบหล่อ ส่วนธาตุ Si มาจากอัลลอย มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ หรืออาจเกิดการแยกตัวของเฟสในระหว่างการแข็งตัวก็ได้

จากแผนภาพเฟสสมดุลของ Ag-Si, Zn-Si แสดงว่า Si ไม่สามารถละลายได้เลยใน Ag และ Zn จึงเป็นไปได้ที่จะเกิดการแยกตัวของ Si ออกมา หรือ Si อาจรวมตัวกับธาตุอื่นเกิดเป็นสารประกอบที่แข็งและเปราะได้ ทำให้ค่าความต้านแรงดึงมีค่าต่ำ การที่มีเฟสที่สองยาวต่อเนื่อง มีส่วนผสมของ Zn และ Si จึงเป็นสาเหตุให้แตกได้ จากงานวิจัยของ Carrano [4] กล่าวว่า การเติมธาตุผสม Zn และ Si ในเงินสเตอร์ลิง ช่วยเพิ่มความสามารถในการหล่อได้ดีขึ้น แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไป ก็จะก่อให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมา [7] การเติม Ge และ Zn

ช่วยเป็นตัวลดออกซิเจนที่ดี การเติมปริมาณ 1-2% Zn ช่วยทำให้ผิวเรียบ เงางาม โดยลดข้อบกพร่องที่เกิดจากปฏิกิริยากับปูนที่ใช้เป็นแบบ ชิ้นงานหล่อด้วยอัลลอยชนิด A มีสมบัติทางกลและผิวงานดี มีส่วนผสมทางเคมีสม่ำเสมอ ดังนั้นผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงเป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรม ต้องระมัดระวังปัญหาการแตกร้าวจากการหล่อที่มาจากส่วนผสมของอัลลอย



รูปที่ 5 รอยแตกหักของชิ้นงานหล่อด้วยอัลลอย B

5. สรุปผลการทดลอง

1. อัลลอยทางการค้าทั้งสองชนิดที่ศึกษา มีส่วนผสมของทองแดงและสังกะสีเป็นองค์ประกอบหลัก และมีธาตุผสมในปริมาณน้อยๆ ที่แตกต่างกัน จึงส่งผลต่อสมบัติทางกลแตกต่างกัน
2. สมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ได้จากการหลอมด้วยอัลลอย A มีค่าความต้านแรงดึงสูงสุด 196 เมกกะปาสคัล ความแข็งเฉลี่ย 82 วิกเกอร์ ซึ่งมีสมบัติทางกลที่ดีกว่าชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ได้จากการหลอมด้วยอัลลอย B
3. ชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ได้จากการหลอมด้วยอัลลอย B โดยใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน มีผลให้สมบัติทางกลที่ได้มีค่าแตกต่างกันมาก ชิ้นงานมีรอยแตกจึงส่งผลเสียต่อค่าที่วัดได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี 2550 ที่ให้ทุนในการทำวิจัย และ ขอขอบคุณบริษัทบางกอกกราฟท์ จำกัด ที่ให้การอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร ศิริรัตน์ นิสารัตนพร "อิทธิพลของธาตุผสมในโลหะเงินสเตอร์ลิงผสม" วารสารศาสตร์และศิลป์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับด้วยงานวิจัย หน้า 51- 52 และ 56 – 57
2. Nisaratanaporn, S., and Nisaratanaporn, E., 2003, "The Anti-tarnishing, Microstructure Analysis and Mechanical Properties of Sterling Silver with Silicon Addition", Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.12, No. 2, pp.13-18.
3. สิริพร โรจนนันต์ สุรศิษฐ์ โรจนนันต์ วีรภัทร ธรรมเจริญ ฉลองชัย โพรธินาแคะ อภิชาติ ดาราภัย 2549 "กรณีศึกษาการแตกร้าวของโลหะเงินสเตอร์ลิงจากการรีดเย็นขึ้นรูป" วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 29 เล่ม 4 ต.ค.-ธ.ค. 2549 หน้า 515-526.
4. R. Carrano, 1990, Proceedings of the 4th Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, p. 91.
5. A. Phillip Eccles., Apr. 2004, Patent Sterling, Database METADEX, Silver Alloy Compositions, United States Patent.
6. P. Johns, 1997, Fire-stain Resistant Silver Alloys the Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, pp. 38 – 42.
7. ฉัตรลัดดา วรรณทอง สิริพร โรจนนันต์ 2550 "การวิเคราะห์ความเสียหายของเงินสเตอร์ลิงในการประกอบชิ้นส่วนเครื่องประดับ" วารสารรามคำแหง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ ฉบับที่ 2 หน้า 8-13.