

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือ 58.4%
สำหรับการผลิตเครื่องประดับ

**THE STUDY ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES
OF SILVER ALLOY 58.4 % FOR JEWELRY**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2554

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือ 58.4%
สำหรับการผลิตเครื่องประดับ



ธนารักษ์ สะและหนาย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

**THE STUDY ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES
OF SILVER ALLOY 58.4 % FOR JEWELRY**



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN MANUFACTURING ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2011

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือ
เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า



นายธนธิป สะและหน่าย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือ 58.4% สำหรับการผลิตเครื่องประดับ
นักศึกษา	นายธนาริป์ สะและหน่าย
รหัสประจำตัว	115270440116-3
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. ศิริชัย ต่อสกุล

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของโลหะเงินเจือ 58.4% ที่มีธาตุทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) เป็นธาตุเจือ ซึ่งมีปริมาณส่วนผสม 20.85-41.76% และ 0-20.83% ตามลำดับ โดยทำการเปรียบเทียบกับสมบัติของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 จากการศึกษพบว่า สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบมีค่าสูงกว่าโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 โดยค่าความแข็ง ความต้านแรงดึง ความเค้นคราก และค่าความยืดของชิ้นทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 54.6-95.3 HV1, 209.5-379.3 MPa., 100.6-193.8 MPa. และ 32.1-51.7% ตามลำดับ ในขณะที่โลหะเงินสเตอร์ลิง 925 มีค่าสมบัติทางกลเท่ากับ 52.8 HV1, 193.5MPa., 96.0 MPa. และ 29.8% ตามลำดับ

จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ พบว่ามีลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ แต่เมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น โครงสร้างเดนไดรต์มีปริมาณลดลง และเมื่อนำสังกะสีผสมในชิ้นทดสอบ จะพบว่าปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้บริเวณที่เป็นเฟส α เปลี่ยนเป็นเฟส Eutectic และปริมาณของเฟส α มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้สมบัติทางกลต่างๆ เพิ่มขึ้น

สำหรับในส่วนการวัดระดับสีของชิ้นทดสอบ พบว่า ชิ้นทดสอบ 58.67%Ag 39.20%Cu 2.14%Zn มีค่าระดับสีใกล้เคียงกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 มากที่สุด โดยมีค่าความแตกต่างของ Δa เพียง 0.236 และ Δb เพียง 5.268 นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อความเข้มข้นของทองแดงที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า a มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่า b มีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ผลที่ได้มีค่าตรงข้ามกัน

คำสำคัญ : โลหะเงินสเตอร์ลิง , โลหะเงินเจือ ,ทองแดง, สังกะสี

Thesis Title : THE STUDY ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF SILVER ALLOY 58.4 % FOR JEWELRY

Student Name : Mr. Thanathip Salanay

Student ID : 115210440116-3

Degree Award : Master of Engineering

Study Program : Manufacturing Engineering

Academic Year : 2010

Thesis Advisor/s : Dr. Sirichai Tersakul

ABSTRACT

The research involved the characterization of the properties of silver alloys -bearing copper and zinc. The alloys composed of 58.4% silver 20.85-41.76% copper and 0-20.83% zinc, respectively. When comparing the characteristics of this alloy and sterling silver 925, the alloy specimen had mechanical properties better than the sterling silver 925. The alloy tests presenting the mechanical values of the hardness, shear bond strength, elasticity of the specimen were in a range of 54.6-95.3 HV1, 209.5-379.3 MPa., 100.6-193.8 MPa. and 32.1-51.7%, respectively. While the mechanical values of sterling silver 925 were 52.8 HV1, 193.5MPa., 96.0 MPa. and 29.8%, respectively.

Besides these, the microstructure of the alloy specimen showed the dendrite structure. We found that this structure decreased when the concentration copper in the specimen increased. After adding zinc into the alloys, the high amount of zinc caused the zinc-rich (alpha) phase changed to Eutectic phase, together with the significantly increased area of alpha phase. These effects, therefore, brought up the better various mechanical properties of the alloys.

At the same time, the another test specimen composed 58.67% Ag 39.20% Cu and 2.14% zinc. The color level of this specimen was close typically to the sterling silver 925, with the difference of Da at 0.236 and Db only at 5.268. Additionally, the higher copper concentration in the alloy provided a value tentatively increased but b value decreased. However, more remarkable results were that the zinc showed opposite effects from the copper.

Key words: Sterling silver, Silver alloy, Copper, Zinc.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ศิริชัย ต่อสกุลซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบคุณ ดร.สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และ รศ.บริบูรณ์ เสนาะลำ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำรวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนการแก้ไขปัญหา อันเป็นประโยชน์ต่องานทดลองนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และอาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครเหนือ ที่ให้การสนับสนุนทางการอนุเคราะห์ด้านอาคาร สถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ในการทำงานวิจัย ทำนี้ขอขอบคุณสมาชิกคณะผู้วิจัยทุกท่านที่สนับสนุน ร่วมคิดร่วมสร้างจนทำให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ธนชาติป สະและนาย

6 มีนาคม 2554



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติของโลหะเงิน และ โลหะเงินสเตอร์ลิง	3
2.2 ลักษณะทั่วไปของเงินเจือประเภทต่างๆ	8
2.3 อิทธิพลของธาตุเจือในโลหะเงิน	9
2.4 อิทธิพลของธาตุเจือต่อคุณสมบัติของโลหะเงินเจือ	10
2.5 ทฤษฎีการทดสอบความแข็ง (Hardness Testing)	12
2.6 การทดสอบแรงดึง (Tension Test)	14
2.7 ทฤษฎีเทคนิค และวิธีการวัดทดสอบระดับสีตามมาตรฐานการทดสอบ CIELAB	17
2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	30
3.1 แผนการดำเนินงาน	30
3.2 วัสดุ เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการทดลองศึกษาวิจัย	31
3.3 การดำเนินการหล่อหลอมผสมโลหะเพื่อผลิตเป็นมาสเตอร์อัลลอย	31
3.4 ดำเนินการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของมาสเตอร์อัลลอยด์	33
3.5 การดำเนินการหลอมผสมโลหะและหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.4% สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบต่างๆ	33
3.6 การดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค ระดับสีของชิ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.4%	39

3.7	ดำเนินการทดลองหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับโลหะเงินผสม 58.4%	45
3.8	การวิเคราะห์รอยขีดข่วนบนผิวชิ้นงานตัวเรือนเครื่องประดับที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป	46
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์	47
4.1	การศึกษาโลหะเงินผสม 58.4% ภายใต้ปริมาณโลหะเงินประมาณ 58.4%	47
4.2	การปรับความขาวสว่าง ด้วยการพัฒนาองค์ประกอบของโลหะเงินผสม 58.4%	
	ด้วยดีบุก (Sn)	55
4.3	การศึกษาสัณฐานเชิงพื้นผิว	69
4.4	การศึกษาการขยายตัวของวงแหวน	72
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	76
5.1	สรุปผล	76
5.2	ข้อเสนอแนะ	77
เอกสารอ้างอิง		78
ภาคผนวก		
ก	ตัวอย่างโค้ดสำหรับการหาความหนาแน่นใน Matlab	79
ข	สถานที่ทำการทดสอบและวิจัย	85
ค	กราฟทดสอบแรงดึง 9	91
ง	ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	98
ประวัติผู้เขียน		106



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณธาตุโลหะมีค่าเจือที่ค่ามาตรฐานต่าง	3
2.2	คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะเงิน, ทองแดง, อินเดียม, ฟอสฟอรัส	4
2.3	ความหนาแน่นของโลหะเงินหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ	5
2.4	ปริมาณสารเจือปนในโลหะเงินบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน ASTM	5
2.5	คุณสมบัติทางกลของโลหะเงินบริสุทธิ์ 99.97 % ที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ กัน	6
2.6	แสดงคุณสมบัติของเงินเจือประเภทต่าง ๆ	9
2.7	ค่าความแข็งแรงของโลหะเงินเจือที่ขึ้นกับธาตุเจือต่างๆ	11
2.8	ค่าความแข็ง (HV10) ของโลหะเงินเจือที่ขึ้นกับอัตราการขึ้นรูปและสัดส่วนของธาตุเจือทองแดง	11
2.9	สัญลักษณ์ระดับสีทองคำ ค่าการวัดและพิสัยความถี่ตามมาตรฐาน DIN 8238	28
3.1	อัตราการผสมของชั้นทดสอบสำหรับการศึกษาวิจัย Ag + Cu + Zn	34
3.2	อัตราการผสมของชั้นทดสอบสำหรับการศึกษาวิจัย Ag + Cu + Zn + Sn	34
3.3	แสดงขนาดของชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 8M – 99	42
4.1	ผลการวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของชั้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป สำหรับโลหะเงินผสม 14k	48
4.2	ค่าปริภูมิสีของชั้นทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu และ Ag+Cu+Zn	52
4.3	ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925(Ag+Cu) และโลหะเงินผสม 14k (Ag+Cu, Ag+Cu+Zn)	53
4.4	ผลการวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของชั้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป สำหรับโลหะเงินผสม 14k โดยมีปริมาณการผสมดีบุก (Sn) ในอัตรา 0.5% และ 1%	56
4.5	ค่าปริภูมิสีของชั้นทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 0.5%Sn	60
4.6	ค่าปริภูมิสีของชั้นทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 1%Sn	62
4.7	ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของโลหะเงินผสม 14k (ที่ผสม Ag+Cu+Zn+0.5%Sn)	65
4.8	ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของโลหะเงินผสม 14k (ที่ผสม Ag+Cu+Zn+1%Sn)	67

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพสมมูลโลหะเงิน-ทองแดง	7
2.2	ปริมาณธาตุเจือชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งของโลหะเงิน	11
2.3	ลักษณะหวัคและรอยกดของการทดสอบความแข็ง Vickers	13
2.4	รูปร่างของตัวอย่างทดสอบแบบแท่งกลม	15
2.5	ลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างทดสอบที่ไม่ควรนำมาใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุ	16
2.6	ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานของเหล็กเหนียวตามมาตรฐาน ASTM E8	16
2.7	ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานของเหล็กหล่อตามมาตรฐาน ASTM E8	17
2.8	ไดอะแกรมสี x, y ของ CIE ในปี 1931	18
2.9	ความไวแสงของตามนุษย์ (Color-matching Function)	19
2.10	ภาพสีรุ้งของรุ้งกินน้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ที่เกิดจากแสงอาทิตย์ทะลุผ่านหยดน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นปริซึม	19
2.11	แสดงภาพคลื่นแสงในช่วงความยาวที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าที่เรียกว่า Visible light	20
2.12	ไดอะแกรมสัมประสิทธิ์สี a^* , b^*	21
2.13	ค่าสัมประสิทธิ์สีและความสว่าง (A) ค่าสัมประสิทธิ์สีและความสว่าง (B) ปริภูมิสีระบบ L^*a^*b (L^*a^*b Color Space)	22
2.14	ค่าสัมประสิทธิ์สี a^* , b^* ที่ใช้แสดงค่าปริภูมิสีระบบ L^*C^*h	23
2.15	ค่าโครมาและความสว่าง	24
2.16	ค่าความแตกต่างสีในปริภูมิสีระบบ L^*a^*	25
2.17	ส่วนหนึ่งของไดอะแกรมสี a^* , b^* ในปริภูมิสีระบบ L^*C^*h	25
2.18	คำที่ใช้อธิบายถึงค่าโครมาหรือความอิ่มตัวของสีและความสว่าง (Chroma and Lightness)	26
2.19	พิกัดการวัดสี	27
3.1	แผนภาพการไหลกระบวนการในการทำวิทยานิพนธ์	30
3.2	เครื่องหลอมผสมเทเม็คโลหะ Indutherm รุ่น VC 600	32
3.3	ลักษณะของเม็คโลหะมาสเตอร์อัลลอย 45 wt% Cu + 55 wt% Zn หลังจากผ่านการเทหดยเม็ค	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.4	เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRFS) ยี่ห้อ Fischer รุ่น Xan	33
3.5	โปรแกรมทองเหลืองสำหรับการผลิตขึ้นรูปตัวแบบเทียนสำหรับการวิเคราะห์ทดสอบความต้านแรงดึง	35
3.6	ขนาดของตัวแบบเทียนขึ้นทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ทดสอบความแข็งการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและระดับลิ	35
3.7	การติดตั้งเทียนสำหรับหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบสำหรับการทดสอบความต้านแรงดึง ความแข็งการศึกษาโครงสร้างจุลภาค และระดับลิ	36
3.8	เครื่องหล่ออุตสาหกรรมยี่ห้อ Yasui รุ่น K2	36
3.9	ขั้นตอนต่างๆ ของขบวนการหล่อโลหะเพื่อหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบในสุญญากาศและการล้างปูนออกจากขึ้นทดสอบ	37
3.10	ลักษณะขึ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป	39
3.11	เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Testing Machine)	40
3.12	ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง	41
3.13	เครื่องทดสอบแรงดึง	42
3.14	ลักษณะการจับขึ้นทดสอบที่สภาพต่างๆ	42
3.15	ลักษณะของขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 8M-99	42
3.16	ชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์	44
3.17	เครื่องมือและการวัดระดับลิ	45
3.18	เครื่องประดับเทียนที่ได้จากการหล่อ	45
4.1	โครงสร้างจุลภาค a), b), c) ขึ้นทดสอบโลหะเงิน 93.71Ag + 6.30Cu และ d), e), f) โลหะเงินเจือ 14k 58.45Ag + 41.55Cu	49
4.2	โครงสร้างจุลภาค a), b), c) โลหะเงินผสม 14k 58.45Ag + 41.55Cu d), e), f) โลหะเงินผสม 14k - 58.67Ag + 39.20Cu + 2.14Zn g), h), i) โลหะเงินผสม 14k - 58.83Ag + 35.47Cu + 5.79Zn j), k), l) โลหะเงินผสม 14k - 58.93Ag + 31.57Cu + 9.57Zn m), n), o) โลหะเงินผสม 14k - 59.35Ag + 26.88Cu + 13.82Zn และ p), q), r) โลหะเงินผสม 14k - 59.44Ag + 22.17Cu + 18.45Zn	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	ค่าการกระจายปริภูมิสีของชั้นทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu และ Ag+Cu+Zn	52
4.4	กราฟเปรียบเทียบสมบัติทางกลของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925(Ag+Cu) และโลหะเงินผสม 14k (Ag+Cu, Ag+Cu+Zn)	54
4.5	กราฟเปรียบเทียบค่าความยืดของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925(Ag+Cu) และโลหะเงินผสม 14k (Ag+Cu, Ag+Cu+Zn)	54
4.6	กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็งของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925(Ag+Cu) และโลหะเงินผสม 14k (Ag+Cu, Ag+Cu+Zn)	55
4.7	โครงสร้างจุลภาค a), b), c) โลหะเงินผสม 14k - 58.40Ag + 40.99Cu + 0.68Sn d), e), f) โลหะเงินผสม 14k - 59.35Ag + 26.88Cu + 13.82Zn g), h), i) โลหะเงินผสม 14k - 58.49Ag + 37.54Cu + 2.64Zn + 1.39Sn j), k), l) โลหะเงินผสม 14k - 58.45Ag + 33.91Cu + 6.26Zn + 1.42Sn m), n), o) โลหะเงินผสม 14k - 58.74Ag + 28.75Cu + 11.08Zn + 1.45Sn p), q), r) โลหะเงินผสม 14k - 59.41Ag + 24.77Cu + 14.43Zn + 1.46Sn s), t), u) โลหะเงินผสม 14k - 58.75Ag + 21.67Cu + 18.16Zn + 1.47Sn	56
4.8	โครงสร้างจุลภาค a), b), c) โลหะเงินผสม 14k - 58.36Ag + 40.09Cu + 1.60Sn d), e), f) โลหะเงินผสม 14k - 59.35Ag + 26.88Cu + 13.82Zn g), h), i) โลหะเงินผสม 14k - 58.72Ag + 37.34Cu + 2.27Zn + 1.73Sn j), k), l) โลหะเงินผสม 14k - 58.90Ag + 33.61Cu + 5.82Zn + 1.74Sn m), n), o) โลหะเงินผสม 14k - 58.76Ag + 29.12Cu + 10.30Zn + 1.91Sn p), q), r) โลหะเงินผสม 14k - 58.87Ag + 25.10Cu + 14.11Zn + 1.93Sn s), t), u) โลหะเงินผสม 14k - 60.01Ag + 20.99Cu + 17.00Zn + 2.08Sn	58
4.9	ค่าการกระจายปริภูมิสีของชั้นทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu+Zn+Sn (ที่ผสม 0.5%Sn)	61
4.10	ค่าการกระจายปริภูมิสีของชั้นทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu+Zn+Sn (ที่ผสม 1%Sn)	63
4.11	ผลการทดสอบของชั้นทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 0.5%Sn	65

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	ผลการวิเคราะห์ ทดสอบสมบัติทางกล ภายใต้ส่วนผสม 14k Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม (0.5%) Sn ที่ให้ค่าเป็น Elongation (%)	66
4.13	กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็งของโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสมAg+Cu+Zn+0.5%Sn)	66
4.14	กราฟเปรียบเทียบสมบัติทางกลของโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสมAg+Cu+Zn+1%Sn)	67
4.15	ผลการวิเคราะห์ ทดสอบสมบัติทางกล ภายใต้ส่วนผสม 14k Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม (1%) Sn ที่ให้ค่าเป็น Elongation (%)	67
4.16	กราฟเปรียบเทียบสมบัติทางกลของโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสม Ag+Cu+Zn+1%Sn)	68
4.17	ตัวอย่างพื้นผิวที่ถ่ายด้วยด้วย Nikon SMZ 1500 ภายใต้กำลังขยาย x11.25 สำหรับ ในกรณี ไม่มีการแต่งชิ้นงาน มีการแต่งชิ้นงาน มีดีบุก และไม่มีดีบุก โดยแสดงดังภาพ A B C และ D ตามลำดับ ส่วนภาพ A' B' C' และ D' แสดง ตัวอย่างของ บริเวณที่พิจารณา ความขรุขระ	69
4.18	การจำแนกความแตกต่างของความขรุขระโดยสี่เหลี่ยมแทนกรณี ไม่มีการแต่งชิ้นงาน(40) สี่เหลี่ยมแทนกรณีมีการแต่งชิ้นงาน(R2) ส่วนสี่เหลี่ยมแดงและดำแทนกรณีที่มี(Tin) และไม่มีดีบุก(non-Tin)	70
4.19	Surface plot (A, B) และ Contour plot (A', B') ของบริเวณที่พิจารณาความขรุขระ สำหรับกรณีไม่มีการแต่งชิ้นงานกับมีการแต่งชิ้นงาน	71
4.20	Surface Plot (A, B) และ Contour Plot (A', B') ของบริเวณที่พิจารณา ความขรุขระ สำหรับกรณีมีดีบุก กับ ไม่มีดีบุกตามลำดับ	72
4.21	ตัวอย่างแหวนที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้อง Sony Cybershot ที่กำลังขยาย x5 และระยะ 30cm โดยที่ A แทนกรณี ไม่มีการแต่งชิ้นงานส่วน B แทนกรณี มีการแต่งชิ้นงานและ C กับ D แทนกรณีที่มีและไม่มีดีบุก สำหรับวงกลมสีเหลืองแทนวงกลมเฉลี่ย	73
4.22	การขยายตัวของวงแหวนเชิงความยาวโดยการวัดจากความยาวของเส้นรอบวงกลมภายในแหวน สำหรับกรณี ไม่มีการแต่งชิ้นงาน (40) มีการแต่งชิ้นงาน (R2) ส่วนสี่เหลี่ยมแดงและดำแทนกรณีที่มี(Tin)และไม่มีดีบุก (non-Tin)	74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.23	การขยายตัวของวงแหวนเชิงรัศมีโดยการวัดจากความยาวรัศมีของเส้นรอบวงกลมภายในแหวน สำหรับกรณี "ไม่มีการแตงชั้นงาน(40) มีการแตงชั้นงาน(R2) กรณีที่มีดีบุก(Tin)และไม่มีดีบุก(non-Tin) ตามลำดับ	74
4.24	การขยายตัวของวงแหวนเชิงพื้นที่โดยการวัดจากพื้นที่วงกลมภายในวงแหวน สำหรับกรณี "ไม่มีการแตงชั้นงาน(40) มีการแตงชั้นงาน(R2) กรณีที่มีดีบุก(Tin) และไม่มีดีบุก (non-Tin) ตามลำดับ	75



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา [1]

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยหนึ่งที่มีมูลค่าส่งออกในแต่ละปีนับแสนล้านบาท และมีแนวโน้มที่ประเทศไทยจะพัฒนาเป็นศูนย์กลางการค้าอัญมณีและเครื่องประดับที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก คาดว่าจะสามารถส่งเสริมให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาเป็นศูนย์กลางการผลิตและการค้าอัญมณีและเครื่องประดับที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลกได้ในอนาคตอันใกล้ ซึ่งจะส่งผลดีต่อระบบเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศค่อนข้างมาก เนื่องจากอุตสาหกรรมสาขานี้ เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แรงงานฝีมือในการผลิตเป็นหลัก ก่อให้เกิดการจ้างแรงงานค่อนข้างมากและมีอัตราค่าจ้างแรงงานค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมสาขาอื่น

วิกฤติเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นในขณะนี้ ได้ส่งผลให้พฤติกรรมผู้บริโภคสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับของผู้บริโภคเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจสินค้าเครื่องประดับที่มีราคาถูกลง แต่ยังคงต้องการเครื่องประดับที่ผลิตจากโลหะมีค่าต่างๆ เช่นเดิม โดยมีการลดปริมาณส่วนผสมของโลหะมีค่าลง และนอกจากนี้กลุ่มผู้บริโภคบางกลุ่มหันมาให้ความสนใจเครื่องประดับที่ผลิตจากสแตนเลสและทองเหลืองมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ผลิตต้องมีการพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตามการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภคสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับของผู้บริโภค

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงวัตถุดิบเพื่อหาแนวทางแก้ไข ให้สอดคล้องกับปัญหาและความต้องการของผู้บริโภค โดยการนำส่วนผสมวัตถุดิบ เรียกว่าโลหะ เงินผสม 58.4% (จากเดิมที่นิยมใช้เงินสเตอร์ลิง 92.5%) แต่คงคุณภาพในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับและสีให้ใกล้เคียงกับโลหะเงินผสม 92.5% โดยใช้โลหะผสมในส่วนผสมที่ (1) เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) เพื่อเป็นต้นแบบที่มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงหรือเทียบเท่า และสามารถนำไปใช้ทดแทนเงินสเตอร์ลิง 925 ส่วนผสมที่ (2) เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และ ดีบุก (Sn) เพื่อให้ได้ สีที่มีความใกล้เคียงกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาโลหะเงินผสม 58.4 % ที่ประกอบด้วย เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) เพื่อ กำหนด เป็นต้นแบบที่มีคุณสมบัติของสีที่ใกล้เคียงหรือเทียบเท่า และสามารถนำไปใช้ทดแทนเงินสเตอร์ลิง 925 สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

1.2.2 เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณลักษณะความขาวของเงิน 58.4 % ด้วยดีบุก เพื่อให้มีความขาว และคุณลักษณะเทียบเท่ากับหรือ ใกล้เคียง เงินสเตอร์ลิง 925

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาองค์ประกอบของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 ที่ประกอบด้วยเงิน (Ag) และทองแดง (Cu) ที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ เพื่อนำมาเป็นต้นแบบในการศึกษาเปรียบเทียบ เพื่อพัฒนาโลหะเงินผสม 58.4%

1.3.2 ศึกษาความเป็นได้ของโลหะเงินผสม 58.4% ที่ประกอบด้วย เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) ที่มีผลต่อการนำไปพัฒนาเพื่อหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ โดยเปรียบเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925

1.3.3 ศึกษาความเป็นได้ของโลหะเงินผสม 58.4% ที่ประกอบด้วย เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ที่เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาเพื่อหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ โดยเปรียบเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925

1.3.4 ศึกษาความเป็นได้ของโลหะเงินผสม 58.4% ที่ประกอบด้วย เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และ ดีบุก (Sn) โดยการพัฒนาผลการศึกษาในข้อที่ 1.3.3 เพื่อให้ผลของ สี โลหะผสมมีความใกล้เคียงกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 ภายใต้เปอร์เซ็นต์ของดีบุก ที่ 0.5% และ 1%

การศึกษาวิจัยนี้ ทางผู้วิจัย ได้มุ่งประเด็นไปที่การวิเคราะห์ผลของการศึกษามีดังนี้

- การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition Analysis)
- การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Microstructure Analysis)
- การวิเคราะห์สี (Color Analysis)
- การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Analysis)

โดยที่การวิเคราะห์ทั้ง 4 ประเด็นเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่นำเข้าสู่การกำหนดความแตกต่างของการพัฒนาตัวชิ้นงาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงคุณสมบัติต่างๆ ของโลหะเงินผสม 58.4%

1.4.2 ได้สีของโลหะเงินผสม 58.4% ที่มีความใกล้เคียงกับโลหะเงินผสม 92.5%

1.4.3 ได้โลหะเงินผสม 58.4% ที่เหมาะสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

1.4.4 สามารถนำโลหะเงินผสม 58.4% มาทำการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับที่ใช้ได้จริง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติของโลหะเงิน และโลหะเงินสเตอร์ลิง [2]

โลหะเงินสเตอร์ลิง 925หรือเงินสเตอร์ลิง 925 หมายถึงโลหะเงินเจือที่มีปริมาณเนื้อเงินบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 925 ใน 1000 ส่วนเจือรวมกับธาตุอื่นๆ ปริมาณไม่เกินกว่า 75 ส่วน โดยน้ำหนัก จากมาตรฐาน ISO 9202:1991(E) ได้กำหนดปริมาณธาตุโลหะมีค่าต่างๆ ที่ใช้สำหรับการทำเครื่องประดับไว้หลายระดับ ในปริมาณธาตุเป็นส่วนใน 1000 ส่วน (Values in Parts per Thousand) ไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณธาตุโลหะมีค่าเจือที่ค่ามาตรฐานต่างๆ [3]

โลหะมีค่าเจือ	ปริมาณธาตุใน 1000 ส่วนอย่างต่ำ
Gold alloy	375 (ทองคำกะรัต 9K)
	585 (ทองคำกะรัต 14K)
	750 (ทองคำกะรัต 18K)
	916 (ทองคำกะรัต 22K)
Platinum alloy	850
	900
	950
Palladium alloy	500
	950
	800
Silver alloy	835
	925

2.1.1 โลหะเงินบริสุทธิ์

โลหะเงินเป็นธาตุโลหะที่หายากและมีราคาแพง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของโลหะมีค่า เช่นเดียวกับทองคำ ธาตุโลหะเงินมีสัญลักษณ์ทางเคมี Ag และมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ FCC (Face Center Cubic) คุณสมบัติหลักๆ ของธาตุโลหะเงินสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

ก. คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ลักษณะโดยทั่วไปของโลหะเงิน เป็นโลหะสีขาวมันวาว อ่อนนุ่ม ก้อนโลหะเงินสามารถตีแผ่หรือรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้บางถึง 0.00025 มม.

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะเงิน, ทองแดง, อินเดียม, ฟอสฟอรัส[3]

คุณสมบัติต่างๆ	เงิน(Ag)	ทองแดง(Cu)	อินเดียม(In)	ฟอสฟอรัส(P)
เลขอะตอม	47	29	49	15
การจัดเรียง อิเล็กตรอน	2,8,18,18,1	2,8,18,1	2,8,18,18,3	2,8,5
น้ำหนักอะตอม	107.868	63.54	114.82	30.974
จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	960.8	1083	156.81	44.3
จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$)	2210	2593	2080	280.7
ความหนาแน่น (g/cm^3)	10.5	8.92	7.31	1.82
รัศมีอะตอม (nm)	0.144	0.128	0.167	0.110
โครงสร้างผลึก	fcc	fcc	tetragonal	triclinic
ความจุความร้อนจำเพาะ ($\text{cal}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$)	0.0559	0.092	0.0548	0.1833
ความร้อนในการหลอมละลาย (cal/g)	25	50.6	-	-
การนำความร้อน ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{cm}/\text{s}/^{\circ}\text{C}$)	1	0.941	-	-
ความแข็ง (HB)	30	37	-	-

ความหนาแน่น (Density) โลหะเงินบริสุทธิ์มีความหนาแน่นเท่ากับ 10.49 g/cc ที่อุณหภูมิ 20°C ค่าความหนาแน่นของโลหะเงินยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต การขึ้นรูปและการขึ้นรูปในลักษณะต่างๆ อาทิเช่น การหล่อขึ้นรูป การรีด การตัดและการกดลากขึ้นรูป นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นยังขึ้นอยู่กับกรรมวิธีทางความร้อนต่างๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น การอบเป็นเนื้อเดียว การอบอ่อน และการอบเพิ่มความแข็ง ค่าความหนาแน่นของโลหะเงินที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความหนาแน่นของโลหะเงินหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ [3]

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
960	9.30
976	9.285
1000	9.259
1043	9.210
1070	9.188
1092	9.200
1094	9.170
1145	9.150
1195	9.100
1250	9.050
1302	9.000

ข. คุณสมบัติทางกล (Mechanical Property) ในการศึกษาคุณสมบัติทางกลโลหะเงินนั้น จะต้องคำนึงถึงระดับความบริสุทธิ์ของโลหะเงิน โดยกำหนดให้โลหะเงินบริสุทธิ์จะต้องมีเนื้อเงินอย่างน้อย 99.95% โดยปกติปริมาณของสารเจือปน (Impurities) แต่ละชนิดที่ผสมในเนื้อโลหะเงินจะต้องมีปริมาณไม่เกินกำหนดตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสารเจือปนในโลหะเงินบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน ASTM [3]

สารเจือปน	ปริมาณสารเจือปน (wt%)	ปริมาณสูงสุด ASTM (wt%)
Silver		99.95 (min)
Copper	0.05	0.08
Lead	0.004	0.025
Iron	0.003	0.002
Nickel	< 0.001	-
Indium	< 0.001	-
Magnesium	< 0.001	-
Silicon	< 0.001	-
Bismuth	< 0.001	0.001

จากการทดลองนำโลหะเงินบริสุทธิ์ 99.97% มาทำการขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ กันพบว่าความต้านทานแรงดึง อัตราการยืดตัวและความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกลของโลหะเงินบริสุทธิ์ 99.97 % ที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ กัน [3]

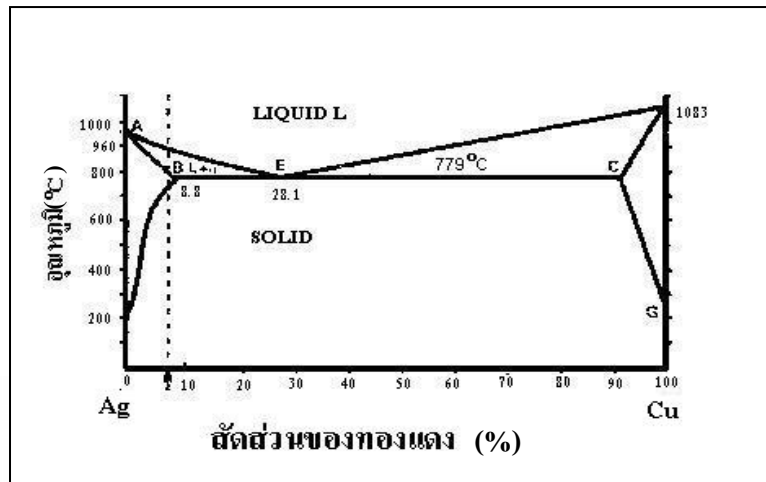
อัตราการขึ้นรูป(%)	ความต้านแรงดึง (MPa)	ความยืด (%)	ความแข็ง (HV)
0	150	50	26
10	180	30	54
20	230	10	65
30	260	5	70
50	290	3	80
80	360	2	90

ค. คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Property) เงินละลายได้ดีในกรดไนตริก (Nitric Acid) เกิดเป็นอาร์เจนตริกไนเตรท (Argentric Nitrate) หรือที่ทราบกันทั่วไปคือลูনারคอสติก (Lunar Caustic) ส่วนกรดซัลฟูริก (Sulphuric Acid) เข้มข้นที่ร้อนละลายเงินได้อย่างช้าๆ เป็นเงินอาร์เจนตริกซัลเฟต (Argentric Sulphate) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur Dioxide) กรดซัลฟูริกเจือจางไม่สามารถทำปฏิกิริยากับเงินได้ในลักษณะของซิลเวอร์ซัลเฟต (Silver Sulphate)

กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) ทำปฏิกิริยากับเงินช้ามากและเกิดเพียงเฉพาะที่ผิวเท่านั้น โดยจะเกิดคลอไรด์เคลือบโลหะไว้ ไปติดเชื่อมไซยาไนด์ (Potassium Cyanide) สามารถละลายเงินได้ อัลคาไลส์ไม่ทำปฏิกิริยากับเงินด้วยเหตุนี้ เบ้าหลอมเงินจึงเป็นพวกอัลคาไลน์ การตกตะกอนของเงิน กรดไฮโดรคลอริกและคลอไรด์ทำให้เงินคลอไรด์ตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่น ซึ่งถ้าให้ความร้อนและคนให้ทั่วสารละลายจะมีลักษณะเป็นขุยและตกตะกอนอย่างรวดเร็ว เมื่อถูกกับแสงตะกอนจะมีสีเทาอมน้ำเงินและค่อยๆ เป็นสีม่วง จนในที่สุดจะเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ

2.1.2 โลหะวิทยาโลหะเงินสเตอร์ลิง

โลหะเงินบริสุทธิ์ที่ใช้สำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องเงิน มีคุณสมบัติทางกลอ่อนนุ่มความสามารถในการคงรูปต่ำไม่เหมาะสำหรับกระบวนการผลิตและการนำไปใช้งาน จึงต้องมีการเจือธาตุเจือลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล คุณสมบัติด้านการหล่อขึ้นรูปและเพิ่มความต้านทานการหมอง ซึ่งธาตุเจือที่เจือเข้าไปจะต้องไม่ทำให้คุณค่าและความสวยงามของโลหะเงินลดลง ธาตุเจือหลักที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ ทองแดง เพราะทองแดง มีคุณสมบัติที่สามารถละลายรวมกับเงินได้ในลักษณะสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ดังรูปที่ 2.1 และนอกจากนี้ ทองแดงยังมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะเงิน จากการตกตะกอน (Precipitate) ของทองแดงด้วยกระบวนการ Precipitation Strengthening



รูปที่ 2.1 แผนภาพสมดุลโลหะเงิน-ทองแดง [4]

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการละลายของโลหะเงินเข้ากับทองแดง ในสถานะสารละลายของแข็งของโลหะเงินเจือทองแดง (Solid Solution of Copper in Silver Alloy) และโลหะทองแดงเจือเงิน (Silver in Copper Alloy) ซึ่งมีจุดยูเทคติกที่ 28.1 เปอร์เซ็นต์ทองแดง ความสามารถในการละลายทองแดงในเงินสูงสุดที่ 8.8 เปอร์เซ็นต์ทองแดง โดยความสามารถของการละลายทองแดงในเงินจะลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ สำหรับในกรณีของโลหะเงินเจือทองแดงที่มีปริมาณของทองแดง 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักหรือโลหะเงินสเตอร์ลิง เมื่อทำการหลอมละลายรวมเข้าด้วยกันที่สภาวะสมดุลแล้วลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้องอย่างช้าๆ โครงสร้างจะประกอบด้วย Primary Silver-rich Solid Solution (α), Secondary Copper-rich Solid Solution (β) ที่เกิดจากทองแดงแยกผลึกออกมาและยังมีส่วนที่เป็น โครงที่เกิดจาก Silver-Copper Eutectic รวมอยู่ด้วย ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 745°C ขึ้นไปโครงสร้างจะเป็น Primary Silver-rich Solid Solution (α) เพียงเฟสเดียว แต่ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 745°C ความสามารถในการละลายทองแดงในโลหะเงินสิ้นสุดลงทำให้เกิดโครงสร้าง Silver-Copper Eutectic และทองแดงแยกผลึกเป็นโครงสร้าง Secondary Copper-rich Solid Solution (β) ซึ่งมีคกรณของโครงสร้าง Secondary Copper-rich Solid Solution (β) ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ และมีผลทำให้โลหะเงินเจือทองแดงมีความแข็งแรงต่ำ โครงสร้างและคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ด้วยกระบวนการขึ้นรูปเย็นและกรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment)

2.1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์เครื่องเงิน

สินค้าอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทยที่ทำจากโลหะเงินสเตอร์ลิง เป็นผลผลิตที่เกิดจากงานช่างฝีมือทางด้านศิลปหัตถกรรมที่แสดงถึง วัฒนธรรมของชนชาติไทยโดยเฉพาะ จึงเป็นสินค้าที่รู้จักกันแพร่หลาย และเป็นที่ยอมรับของชาว ต่างประเทศทั่วโลก นับได้ว่าเป็นการเผยแพร่งานศิลปหัตถกรรม วิจิตรกรรมและวัฒนธรรมไทยให้ชาวโลกได้รู้จักประเทศไทย เพื่อเป็น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ว่าด้วยข้อกำหนดเกี่ยวกับชนิดและคุณลักษณะที่
ต้องการของเครื่องเงินรวมทั้งวิธีทดสอบเครื่องเงินและขاتمเพื่อหาปริมาณ โลหะเงินบริสุทธิ์ ซึ่ง
สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ [2]

- ก. เครื่องเงิน หมายถึงวัสดุที่ทำด้วยโลหะเงินหรือประกอบขึ้นจากโลหะเงินเป็นส่วนสำคัญ
- ข. โลหะเงินมาตรฐาน หมายถึงโลหะเงินที่อาจมีโลหะชนิดอื่นปนไม่เกินร้อยละ 7.5
ของน้ำหนัก
- ค. โลหะเงินบริสุทธิ์ หมายถึงโลหะเงินที่อาจมีโลหะอื่นปนไม่เกินร้อยละ 0.01 ของน้ำหนัก
- ง. ขاتم หมายถึงสารเคมีที่มีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 ของ
น้ำหนักสำหรับใช้ในการลงขاتم
- จ. ยาสี หมายถึงสารเคมีสีสำหรับใช้ในการลงยาสี

2.2 ลักษณะทั่วไปของเงินเจือประเภทต่างๆ [4]

Ag950 มีลักษณะเช่นเดียวกับเงินบริสุทธิ์ และด้านการเกิดออกซิเดชัน หลังการอบเหนียวจะ
เกิดออกไซด์ ที่ผิวนอกเกือบจะถึงผิวใน และจะไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับชั้นของออกไซด์ จุด
หลอมเหลวที่สูงจะเหมาะกับการชุบผิว อย่างไรก็ตาม โลหะจะมีความแข็งเท่ากับเงินบริสุทธิ์และ
สามารถทำเป็นแผ่นบาง ๆ และขึ้นรูปได้ดี และยังสามารถทำให้บางได้ถึง 75 % ในระหว่างการอบ
เหนียวและต่อเนื่องกัน เพราะฉะนั้นวัสดุนี้เหมาะกับการขึ้นรูป (Ag950) และสามารถดัดเป็นลวดได้
ดี ส่วนความแข็งจะเริ่มต้นจากอุณหภูมิที่ 600 °C และจำเป็นต้องเย็นตัวอย่างรวดเร็วหลังการ
หลอมเหลวและอบเหนียว ดังนั้นความสามารถในการบดและการขีดและหัดจะลดลง ลักษณะด้อยของ
Ag950 คือการเสียรูปร่างง่าย [4]

เมื่อเพิ่มความแข็งจาก 50HB จนถึงกว่า 100 HB ด้วยการชุบแข็ง เป็นไปได้ว่าเกือบจะไม่มี
การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กมากนัก

Ag925 โดยทั่วไปจะเรียกว่า เงินสเตอร์ลิง ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมากถึงคุณภาพเหมือนกับ Ag950 มี
ลักษณะเหมือนกับเงินบริสุทธิ์ นิยมจะใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ มีความต้านทานการเกิดออก
ซิเดชันสูง โลหะผสมชนิดนี้ใช้ในงานเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวได้ดีเท่ากับ Ag950 อัตราการเย็น
ตัวที่แตกต่างกันจะให้ได้คุณสมบัติที่แตกต่างกันตามความต้องการ

1. การอบเหนียวที่ 650 °C เย็นตัวเร็วจะเกิดการแตกหักด้วยอัตราการยืดตัว 42%
2. การอบเหนียวที่ 650 °C เย็นตัวช้า (ในเตาครึ่งชั่วโมงที่ 350 °C) จะเกิดการแตกหักด้วยอัตราการยืดตัวที่ 25%

Ag835 ปกติจะใช้ในการทำเครื่องประดับ แต่ลักษณะสีของ Ag835 จะไม่ขาว สะอาด เหมือนกับเงินบริสุทธิ์มากนัก การใช้งานสามารถรู้ถึงขีดถึงความต้านทานการสึกหรอที่มากขึ้น Ag800 โลหะผสมชนิดนี้เหมาะกับการนำไปเป็นอุปกรณ์บนโต๊ะอาหาร เช่น ช้อน มีด ฯลฯ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลที่ดี และมีความแข็งสูง และมีราคาค่อนข้างไม่แพงเมื่อเทียบกับโลหะผสมที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ของเงินที่น้อยกว่า แต่โลหะชนิดนี้จะมีลักษณะออกเป็นสีเหลืองอ่อน ๆ เนื่องจากเกิดออกไซด์ อย่างไรก็ตามจะนำมาทำการชุบผิวด้วยเงิน คือโลหะที่มีเปอร์เซ็นต์ของเงินสูงกว่า และจำเป็นต้องทำการอบเหนียวอีกครั้ง พร้อมกับทำการจัดให้แกมมันในทางกลับกัน เมื่อเปอร์เซ็นต์ทองแดงสูงมากขึ้น จะทำให้เกิดเป็นพิษ เมื่อสัมผัสกับกรดอาหาร ตัวอย่างเช่น สนิมเขียวที่ทองแดง Copper Acetate ในน้ำส้มเป็นต้น ถ้าโลหะผสมมีการกัดมาก ๆ หรือมีการขึ้นรูป จำเป็นต้องมีการอบเหนียว อย่างไรก็ตาม Ag800 สามารถที่จะหลอมและหล่อ ได้ง่ายกว่าโลหะผสมที่มีเปอร์เซ็นต์เงินในปริมาณที่มากกว่า จุดหลอมเหลวจะอยู่ที่ 800 °C ซึ่งโดยทั่วไปใช้อุณหภูมิการหลอมเหลวที่ 900 °C ในการหลอมละลาย โลหะผสมนี้สามารถเพิ่มความแข็งได้จาก 40 –100 HB โดยการชุบแข็งที่ 725 °C ปลดปล่อยไว้ 17 ชม.ที่อุณหภูมิ 280 °C [4]

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของเงินเจือประเภทต่าง ๆ [4]

โลหะเงินเจือ	จุดหลอม (°C)	ความแข็ง (HB)	ความต้านแรง ดึง(MPa)	ความยืด (%)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
Ag 1000	960	35	180	49	10.39
Ag 925	910 / 779	68	300	29	10.29
Ag 835	840 / 779	76	300	33	10.16
Ag 800	820 / 779	79	300	30	10.13
Ag 720	779	90	330	27	10

2.3 อิทธิพลของธาตุเจือในโลหะเงิน [4]

ธาตุเจือที่ผสมเข้าไปในโลหะเงินทำให้คุณสมบัติทางกลต่าง ๆ ของโลหะเงินเปลี่ยนแปลงไป ธาตุมีอยู่หลายธาตุด้วยกันที่มีอิทธิพลต่อโลหะเงิน ดังตัวอย่างที่จะกล่าวไปนี้

นิกเกิล(Ni) สามารถจะผสมลงไปในอัลลอยเงิน-ทองแดง ได้ถึง 1% นิกเกิลสามารถป้องกันการเกิดลักษณะเกรนโตและเพิ่มการต้านทานการกัดกร่อนได้ แต่ถ้ามีนิกเกิลมากกว่า 2.5 %จะทำให้

ตะกั่ว(Pb) เมื่อผสมในอัลลอย จะทำให้เปราะเมื่อได้รับความร้อน นอกจากนี้ตะกั่วสามารถที่จะแยกจากเงินได้ ที่จุดหลอมเหลว eutectic ที่อุณหภูมิ 304 °C บางครั้งจะต้องผสมตะกั่วเพื่อให้ง่ายต่อการตัดเฉือน (machined) แต่จะไม่สามารถทำการปรับปรุงด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ [4]

ดีบุก(Sn) ปริมาณดีบุกเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้จุดหลอมเหลวดำลง เงินบริสุทธิ์ สามารถที่จะผสมดีบุกได้มากถึง 19 % อัลลอยที่มีดีบุกจะเกิดออกซิเดชันน้อยกว่า อัลลอยเงิน-ทองแดง แต่จะทำให้เนื้ออัลลอยนิ่ม และดึงเป็นเส้นได้ดี ถ้ามีดีบุกผสมมากกว่า 9 %จะทำให้เกิด Cu_3Sn ซึ่งจะทำให้เปราะ และในระหว่างการหลอมเหลวจะทำให้มีออกซิเจนเข้าผสมทำให้เกิดเป็น SnO_2 [4]

อลูมิเนียม(Al) 4 – 5% จะไม่มีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ และการใช้งานของอัลลอย แต่ถ้ามีอลูมิเนียมมากขึ้นจะทำให้เกิดเป็น Ag_3Al และจะทำให้อัลลอยเปราะ ในระหว่างการหลอมเหลวหรือการอบเหนียวจะเกิด อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และเกิดตะกอนบนขอบเกรน ซึ่งเป็นสาเหตุให้วัสดุเปราะในระหว่างการใช้งาน [4]

สังกะสี (Zn) ประมาณ 20% สามารถละลายได้ในสถานะของแข็ง แต่ในทางปฏิบัติสามารถผสมได้ประมาณ 14 % อัลลอยที่ได้ สามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชัน และมีคุณสมบัติเป็น มันเงา จึงสามารถขัดเป็นเงาได้ง่าย และช่วยลดการรวมตัวของเงินกับออกซิเจนและทำให้น้ำโลหะไหลตัวได้ดีและมีอัตราการยึดตัวสูงขึ้น [4]

ซิลิกอน(Si) เกือบจะไม่ละลายในเงิน ซิลิกอนจะทำให้อัลลอยแข็งและเปราะ ซึ่งจะมีตะกอนบนขอบเกรน และเกือบที่จะทำให้อัลลอยใช้งานไม่ได้ แต่สามารถลดปริมาณของซิลิกอนได้ โดยการใส่หินเขี้ยวหนูมาน (Quartz) ลงในบ่อน้ำหลอม [4]

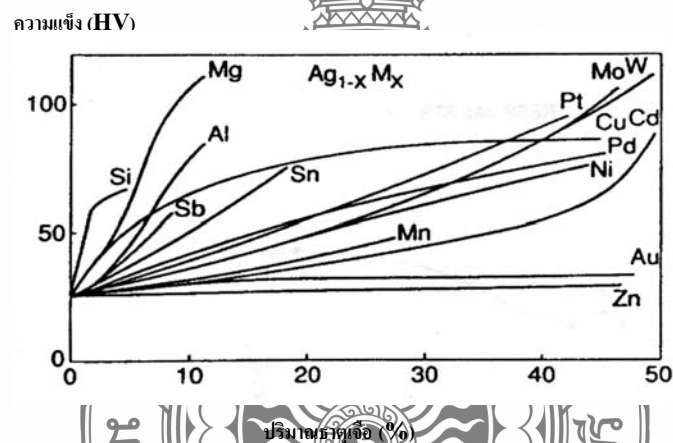
ฟอสฟอรัส(P) ที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็พอที่จะทำให้อัลลอยเปราะได้ โดยอัลลอยจะมี ส่วนประกอบ AgP_2 หรือ Cu_3P ซึ่งจะมีตะกอนที่ขอบเกรน จึงทำให้อัลลอยเปราะ เกิดออกซิเดชันเกิดขึ้นเร็วขึ้น ฟอสฟอรัสสามารถจะทำให้จุดหลอมเหลวดลดลง สำหรับ ทองแดง – ฟอสฟอรัส ถ้าการดูดเอาออกซิเจนออกไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดทองแดงออกไซด์ [4]

2.4 อิทธิพลของธาตุเจือต่อคุณสมบัติของโลหะเงินเจือ [4]

ธาตุเจือที่ผสมเข้าไปในโลหะเงินทำให้คุณสมบัติทางกลของโลหะเงินเปลี่ยนแปลงไป ทั้งในด้านความแข็งและความแข็งแรง ซึ่งมีอยู่หลายธาตุด้วยกันที่มีอิทธิพลต่อโลหะเงิน แสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณของธาตุซิลิกอนจำนวนที่ไม่มากนักมีผลทำให้โลหะเงินมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและยังมีทองแดง ซึ่งเป็นธาตุที่น่าสนใจและส่วนใหญ่นิยมนำมาเป็นธาตุเจือหลักในโลหะเงินอยู่แล้ว เพราะง่ายในการหล่อหลอมและสามารถละลายเข้ากับเงินได้ดี ในด้านความแข็งแรงของโลหะเงินเจือที่ผสมธาตุเจือชนิดต่างๆ ในอัตราผสมของธาตุเจือ 2%,5%,10%,20% แสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าความแข็งแรงของโลหะเงินเจือที่ขึ้นกับธาตุเจือต่างๆ [5]

ธาตุเจือ	ค่าความต้านแรงดึง (MPa)			
	ปริมาณธาตุเจือ (%)			
	2	5	10	20
Au	160	170	180	200
Cd	160	170	180	210
Cu	190	240	280	310
Pd	160	180	210	270
Sb	190	240	300	-
Sn	190	240	300	-
Zn	180	190	200	-



รูปที่ 2.2 ปริมาณธาตุเจือชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งแรงของโลหะเงิน [5]

ตารางที่ 2.8 ค่าความแข็ง (HV10) ของโลหะเงินเจือที่ขึ้นกับอัตราการขึ้นรูปและสัดส่วนของธาตุเจือทองแดง [5]

ธาตุเจือ	ความแข็ง (HV10)		
	อัตราการขึ้นรูป (%)		
	0	40	80
ทองแดง 5%	58	108	134
ทองแดง 10%	76	126	158
ทองแดง 15%	98	136	177

สำหรับความแข็งของโลหะเงินเจือที่มีการเจือทองแดง ในสัดส่วนต่างๆ และที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.8 นอกจากคุณสมบัติทางกลแล้ว จุดประสงค์ของการผสมธาตุเจือต่างๆ เข้าไปในเงินเพื่อหวังผลทางด้านอื่นๆ อีกเช่น การหล่อขึ้นรูป (Casting) การเกิดผิวไหม้ (Fire Staining) และความต้านทานการหมอง (Tarnishing Behavior)

ในด้านการหล่อขึ้นรูปสำหรับโลหะเงินสเตอร์ลิง ผู้ผลิตและผู้ประกอบการต้องการชิ้นงาน ที่มีคุณภาพดี มีการสูญเสียน้อยที่สุด และนอกจากนี้โลหะเงินไม่สามารถขึ้นรูปได้ดีด้วยวิธีการตีขึ้นรูปร้อน (Forging) เพราะได้ผิวงานที่ไม่ดีเนื่องจากเกิดผิวไหม้ (Fire Staining) ได้ง่ายมาก สำหรับการหล่อขึ้นรูปโดยทั่วไปนิยมใช้ทองแดงและสังกะสีปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่านั้นผสมเข้าไปด้วยเพื่อหวังผลทางด้านการไหลตัวเข้าโพรงแบบได้ดี และช่วยลดก๊าซออกซิเจน (Deoxidized) ในโลหะเงินหลอมละลาย

2.5 ทฤษฎีการทดสอบความแข็ง (Hardness Testing) [6]

2.5.1 การทดสอบแบบ Vickers

ความแข็งเป็นการแสดงสมบัติของวัสดุที่บ่งบอกถึงความต้านทานในการเกิดรอยกดที่พื้นผิว ในการทดสอบความแข็งไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่จะสามารถทำการทดสอบได้กับทุกวัสดุ ซึ่งในบทนี้ได้แสดงถึงกระบวนการทดสอบความแข็งแบบต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแบบรอยกด (Indentation) แบบกระดอน (Rebound) แบบขีดข่วน (Scratch) แบบสึกหรอ (Wear) และในแบบของความสามารถในการกลึงไส (Machinability) โดยการทดสอบความแข็งส่วนใหญ่เป็นการวัดแรงที่กระทำที่รอยกดที่ เกิดขึ้นจากแรงที่กระทำนั้นด้วยกระบวนการเคลื่อน หัวกดลงบนวัสดุ ซึ่งเป็นการทดสอบความแข็งแบบรอยกด ส่วนการทดสอบในลักษณะการ ปล่อยลูกตุ้มที่ทราบน้ำหนักลงบนผิววัสดุ จากนั้นวัดการกระดอนของลูกตุ้มเรียกว่าความแข็งแบบกระดอน และการทดสอบความแข็งที่สะดวกที่สุดคือการทดสอบความแข็งแบบรอยขีด ข่วน โดยการขีดข่วนพื้นผิววัสดุด้วยวัสดุต่างๆ ขนาดและคุณภาพของผลการทดสอบจะขึ้น เป็นตัวบ่งบอกค่าความแข็งของวัสดุ ส่วนปริมาณการสึกหรอของพื้นผิววัสดุภายใต้เงื่อนไข การทดสอบจะใช้ในการทดสอบความแข็ง การสึกหรอและความต้านทานการขัดสี และ สุกท้ายความสามารถในการกลึงไสใช้เป็นตัวบ่งบอกความยากง่ายในการกลึงวัสดุ

หลักการ หลักการเกี่ยวกับการทดสอบความแข็งจะเกี่ยวข้องกับการวัดความต้านทานต่อการ เกิดเป็นรอยกด ซึ่งใช้เป็นหลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัดความแข็งแบบต่างๆ หัวกดมีทั้งที่เป็นแบบหัวบอล แบบระนาบ หรือแบบกรวยปลายมนหรือปิรามิด ซึ่งปกติทำจากเหล็กกล้า แข็งหรือเพชรและใช้ทดสอบภายใต้สภาวะน้ำหนักคงที่ โดยการวัดน้ำหนักที่จะทำให้เกิดรอย กดตามที่กำหนดหรือวัดรอยกดที่เกิดขึ้นภายใต้แรงกระทำนั้น ส่วนความแข็งแบบกระดอนการทดสอบความแข็งกับวัสดุโลหะส่วนใหญ่เป็นการทดสอบแบบ Brinell หรือ Rockwell ส่วนการทดสอบแบบอื่นคือการทดสอบแบบ Shore Scleroscope, Vickers, Monotron, Rockwell Superficial และเครื่องทดสอบ

การทดสอบความแข็ง Vickers เป็นการทดสอบความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็ก ซึ่งมีองศาของปลายแหลม 136o ดังรูปที่ 7.6 และน้ำหนักกดที่ใช้ จะอยู่ระหว่าง 5-120 กิโลกรัม โดยจะเพิ่มครั้งละ 5 กิโลกรัม การทดสอบนี้มีหลักการเดียวกัน กับการทดสอบความแข็ง Brinell คือค่าความแข็งที่ได้คิดจากน้ำหนักกดที่กระทำต่อพื้นที่ของ รอยกด และจากรูปที่ 2.3 สามารถหาค่าพื้นที่รอยกดได้ดังสมการ พื้นที่รอยกด = ซึ่งจะมีค่าโดยประมาณ = ดังนั้นค่าความแข็ง Vickers หัวกดเพชรปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส DPH (Vickers Diamond Pyramid Hardness) หรือ HV (Vickers Hardness) จะมีค่าดังสมการ

จากความแข็ง Vickers = จะได้ DPH = เมื่อ DPH คือความแข็ง Vickers (kg/mm²) F คือน้ำหนักกด (kg) และ d คือความยาว

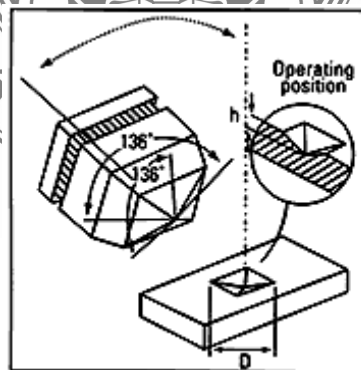
$$\text{พื้นที่รอยกด} = \frac{d^2}{2 \sin(136^\circ/2)} \text{ ซึ่งจะมีค่าโดยประมาณ} = \frac{d^2}{1.8544}$$

ดังนั้นค่าความแข็ง Vickers หัวกดเพชรปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส DPH (Vickers Diamond Pyramid Hardness) หรือ HV (Vickers Hardness) จะมีค่าดังสมการ

จากความแข็ง Vickers = (แรงกด/พื้นที่รอยกด)

$$\text{จะได้ DPH} = \frac{1.8544 F}{d^2}$$

เมื่อ DPH คือความแข็ง Vickers (kg/mm²) F คือน้ำหนักกด (kg) และ d คือความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ย (mm)



รูปที่ 2.3 ลักษณะหัวกดและรอยกดของการทดสอบความแข็ง Vickers [6]

ในการทดสอบนำขึ้นทดสอบวางบนแท่นทดสอบ จากนั้นยกแท่นวางขึ้นจนชิ้นงานเข้าใกล้หัวกด จากนั้นให้ปลดลือระบบคานน้ำหนักจะถูกส่งไปยังหัวกดในอัตรา 20:1 อย่าง ต่อเนื่อง จากนั้นน้ำหนักกดออก ลดระดับแท่นวางลง นำชิ้นงานไปส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อทำการวัดเส้นทแยงมุมของรอยกดสี่เหลี่ยมที่ปรากฏ การทดสอบความแข็งแบบ Vickers ขึ้นต้นจะใช้ในงานวิจัย ข้อดีของการทดสอบนี้ คือการวัดขนาดของเส้นทแยงมุมจะมีความแม่นยำกว่าการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และสามารถทดสอบกับชิ้นงานที่บางได้ คือหนาประมาณ 0.006 นิ้ว นอกจากนั้นยังให้ค่าความ แข็งที่ถูกต้องเมื่อใช้ทดสอบกับวัสดุที่แข็งมากประมาณ 1300 HV หรือประมาณ 850 BHN เนื่องจากหัวกดไม่เกิดการยุบตัวขณะทดสอบ และค่าความแข็งที่ได้เป็นที่ยอมรับมากกว่า ข้อเสียคือ เป็นการทดสอบแบบทำลาย ขั้นตอนการทดสอบใช้เวลามากกว่าการ ทดสอบแบบ Brinell และ Rockwell ขึ้นทดสอบต้องทำการขัดเงาซึ่งใช้เวลานาน นอกจากนั้น เครื่องทดสอบมีราคาแพง ตัวอย่าง 7.3 หากค่าความแข็ง Vicker ของขึ้นทดสอบที่มีเส้นทแยงมุมของรอยกดเฉลี่ย 0.75 mm จากน้ำหนักกด 100 kg DPH = = 330 kg/mm²

2.6 การทดสอบแรงดึง (Tension Test) [7]

การทดสอบแรงดึงและแรงกดอัดแบบสถิตย์ (Static) เป็นการทดสอบที่ง่ายที่สุดและถูกใช้ อย่างกว้างขวางที่สุดในการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ซึ่งคุณสมบัติทางกลของวัสดุภายใต้ แรงดึงที่เราสนใจได้แก่

1. proportional limit, σ_p
2. yielding stress, σ_y
3. ultimate stress, σ_u
4. fracture stress, σ_f
5. percent of elongation
6. percent of area reduction
7. modulus of elasticity, E
8. modulus of resilience, u_r

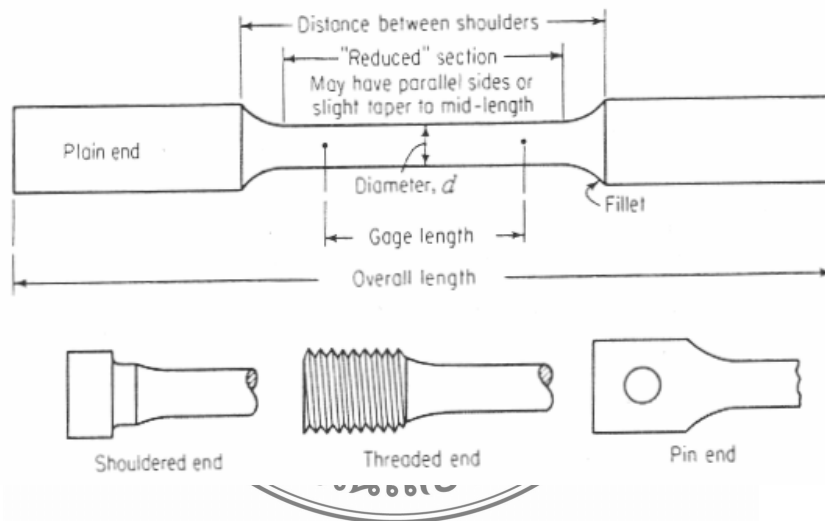
การที่จะเลือกว่าการทดสอบแรงดึงหรือการทดสอบแรงกดอัดอย่างไรนั้นมีความเหมาะสม มากกว่ากันนั้น เราจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้

1. ความเหมาะสมของวัสดุที่เรากำลังจะทดสอบ เช่น โลหะมักจะถูกนำมาใช้ในโครงสร้าง เพื่อรับแรงดึง เพราะมีกำลังรับแรงดึงที่สูง ดังนั้น โดยส่วนใหญ่โลหะจะถูกทดสอบแรงดึง แต่ในวัสดุ เปราะบางประเภท เช่น คอนกรีตและอิฐ เป็นต้น จะมีกำลังรับแรงดึงที่ต่ำเมื่อเทียบกับกำลังรับแรงกด อัด ดังนั้น วัสดุเหล่านี้จึงถูกนำไปใช้ในการรับแรงกดอัด และมักจะถูกทดสอบโดยการทดสอบแรง กดอัด

2. ความแตกต่างของคุณสมบัติของวัสดุภายใต้แรงดึงและแรงกดอัด เช่น ไม้เป็นวัสดุที่มีกำลังรับแรงดึงที่ค่อนข้างสูง แต่ไม้ไม่สามารถนำมาใช้ในโครงสร้างรับแรงดึงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม้มีกำลังรับแรงเฉือนที่ต่ำ ทำให้เกิดการวิบัติที่จุดเชื่อมต่อได้ง่าย ดังนั้น การทดสอบแรงกดอัดของไม้จึงได้รับความนิยมมากกว่าการทดสอบแรงดึง

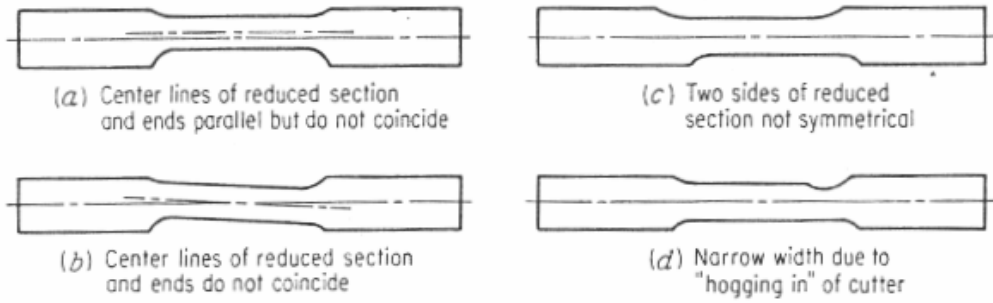
3. ความยากและความซับซ้อนในการจับยึดตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงอาจจะมีหน้าตัดทรงกลม สี่เหลี่ยมด้านเท่า หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็ได้ ถ้าแผ่นเหล็กมีความหนาพอที่จะทำการกลึงให้เป็นหน้าตัดทรงกลมได้ (>10 mm) ตัวอย่างทดสอบในรูปของแท่งกลมก็จะถูกนำมาใช้ทดสอบ แต่หากว่าแผ่นเหล็กนั้นบางมากจนไม่สามารถนำมากลึงได้แล้ว เราก็จะใช้ตัวอย่างทดสอบที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปที่ 5-1 แสดงรูปร่างของตัวอย่างทดสอบแบบแท่งกลม เราควรระวังด้วยว่า ปลายทั้งสองของตัวอย่างทดสอบจะถูกขยายให้ใหญ่กว่าบริเวณกึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติของตัวอย่างทดสอบที่บริเวณดังกล่าวเนื่องจากผลของความเข้มข้นของหน่วยแรง (Stress Concentration) ที่เกิดจากการจับตัวอย่างทดสอบที่ปลายทั้งสองของตัวอย่างทดสอบ และปลายของตัวอย่างทดสอบที่นิยมใช้มี 3 แบบคือ Shouldered End, Treaded End และ Pin End ดังที่แสดงในรูป โดยที่ Shouldered End และ Treaded End จะได้รับความนิยมมากกว่า Pin End [7]



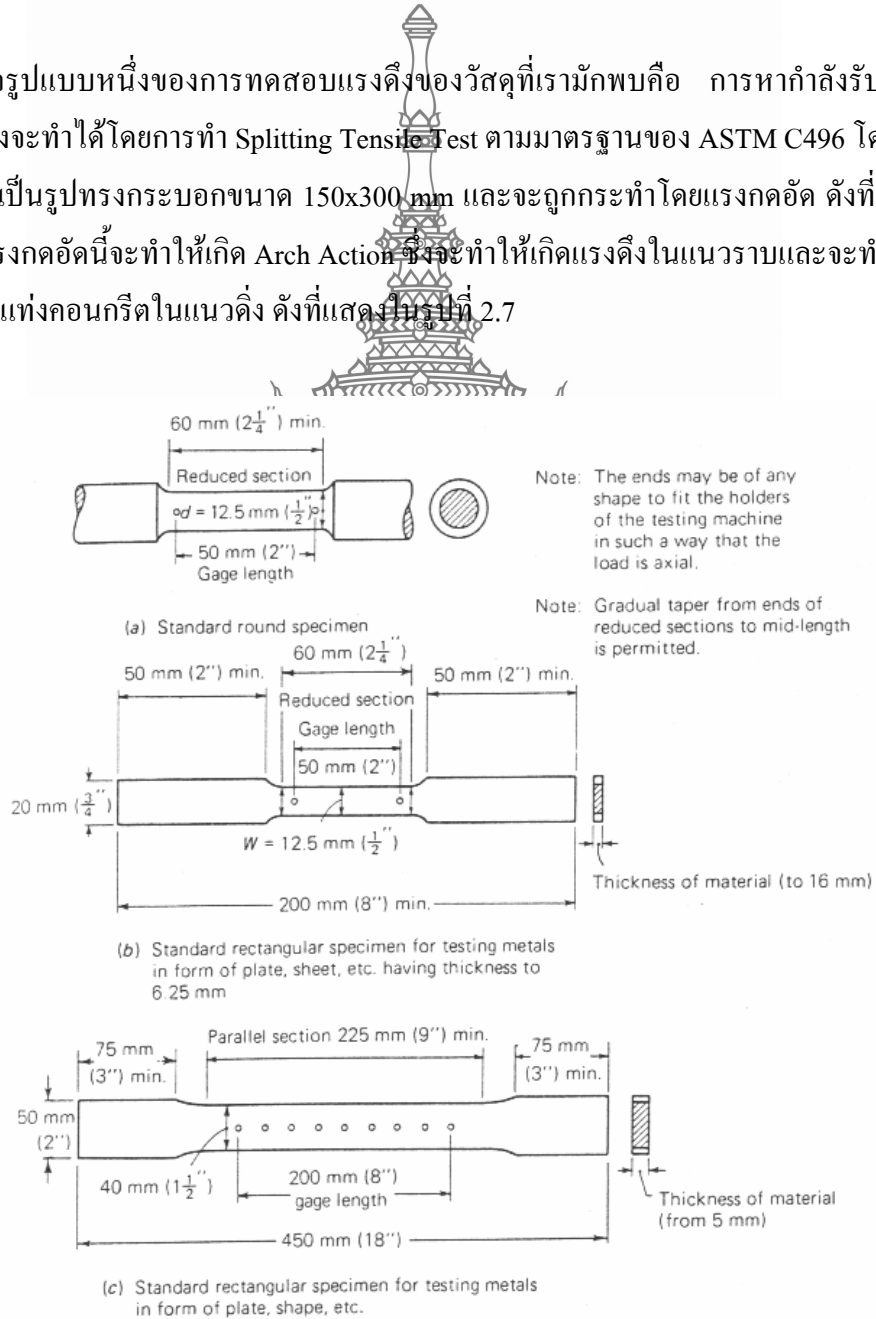
รูปที่ 2.4 รูปร่างของตัวอย่างทดสอบแบบแท่งกลม [7]

รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างทดสอบที่ไม่ควรนำมาใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุ เนื่องจากตัวอย่างทดสอบไม่มีความสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้ผลการทดสอบที่ได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงตัวอย่างทดสอบมาตรฐานของเหล็กเหนียวและเหล็กหล่อได้ถูกกำหนดไว้ใน ASTM E8 ดังที่แสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

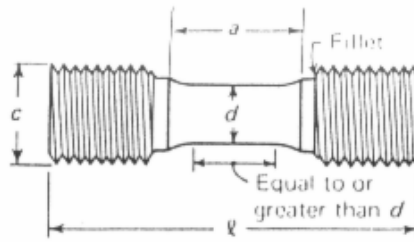


รูปที่ 2.5 ลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างทดสอบที่ไม่ควรนำมาใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุ [7]

อีกรูปแบบหนึ่งของการทดสอบแรงดึงของวัสดุที่เรามักพบคือ การหาค่ารับแรงดึงของคอนกรีตซึ่งจะทำได้โดยการทำให้ Splitting Tensile Test ตามมาตรฐานของ ASTM C496 โดยที่ตัวอย่างทดสอบจะเป็นรูปทรงกระบอกขนาด 150x300 mm และจะถูกกระทำโดยแรงกดอัด ดังที่แสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งแรงกดอัดนี้จะทำให้เกิด Arch Action ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงดึงในแนวราบและจะทำให้เกิดการแตกร้าวในแท่งคอนกรีตในแนวตั้ง ดังที่แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานของเหล็กเหนียวตามมาตรฐาน ASTM E8 [7]



Specimen size:	Dimensions, mm			Dimensions, inches		
	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
a, min.	32	38	60	1 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$
c, appr.	20	30	48	$\frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{8}$	1 $\frac{7}{8}$
d (\pm tol.)	12.5	20.0	30.0	0.50	0.75	1.25
l, min.	95	100	160	3 $\frac{3}{4}$	4	6 $\frac{3}{8}$

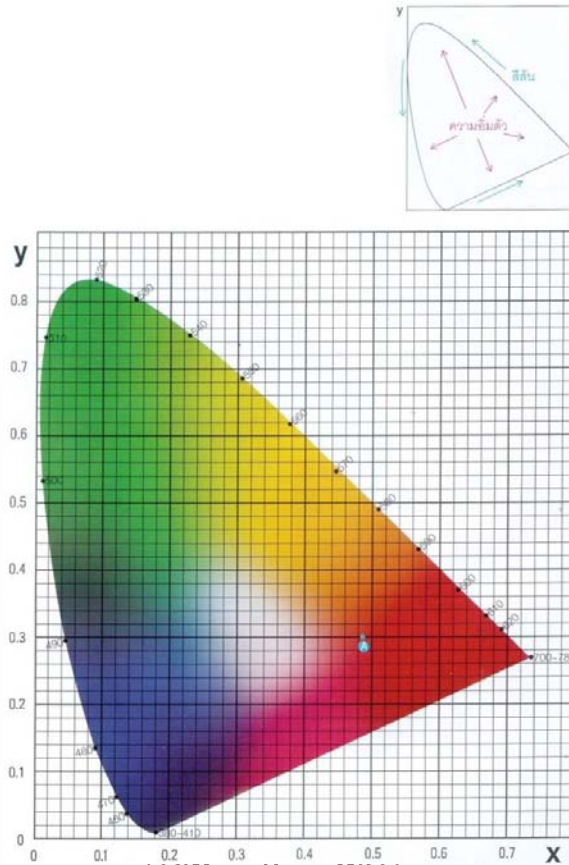
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานของเหล็กหล่อตามมาตรฐาน ASTM E8 [7]

2.7 ทฤษฎีเทคนิค และวิธีการวัดทดสอบระดับสีตามมาตรฐานการทดสอบ CIELAB [8]

เทคนิค และวิธีการวัดทดสอบระดับสี ที่ระก่ล่าวถึงต่อไปน้ เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎีการวัดสีระบบของการวัดสีและการสื่อคองมหมายของสี เพื่อท้าวความเข้าใจเกี่ยวกับสื่อสารสีที่มองเห็น

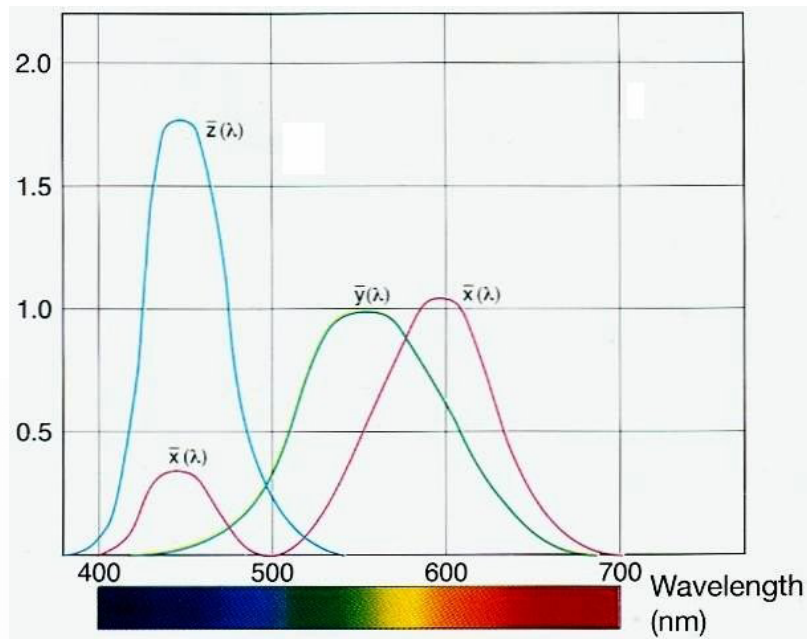
2.7.1 ทฤษฎีการมองเห็นสีและการวัดสี [8]

ในอดีตที่ผ่านมามีเป็นสิ่งที่สื่อสารให้มีความเข้าใจได้ยาก เนื่องจากสีหรือสีส้นนั้นมีความหลากหลาย การที่จะบอกคุณภาพของสีนั้นแตกต่างจากการบอกความยาวและน้ำหนัก เพราะไม่มีหน่วยบอกค่าสี ทำให้เป็นเรื่องที่น่าวุ่นวายในการที่จะให้คำตอบหรืออธิบายให้ผู้คนได้เข้าใจอย่างชัดเจนเกี่ยวกับระดับสี เช่น การบอกความแตกต่างของสีฟ้า น้ำทะเลกับสีฟ้าของฟ้า ซึ่งคนแต่ละคนจะมีจินตนาการในสีทั้งสองที่แตกต่างกัน เพราะการรับรู้เรื่องสีและประสบการณ์ของแต่ละคนมีความแตกต่างกัน ดังนั้นในปี ค.ศ. 1931 The Commission International De/ Éclair Age (CIE) ซึ่งเป็นองค์กรระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของสีและแสง ได้พัฒนาระบบที่ทำให้เห็นความแตกต่างของสีมีระยะที่สัมพันธ์ใกล้เคียงกับความแตกต่างที่มองเห็นด้วยตามนุษย์มากขึ้น โดยกำหนดเป็นค่าปริภูมิสี (Color Space) ขึ้นมา และถูกนำมาใช้ในการสื่อสารเกี่ยวกับสีและระบบของสีที่ใช้กันทั่วโลกในปัจจุบัน

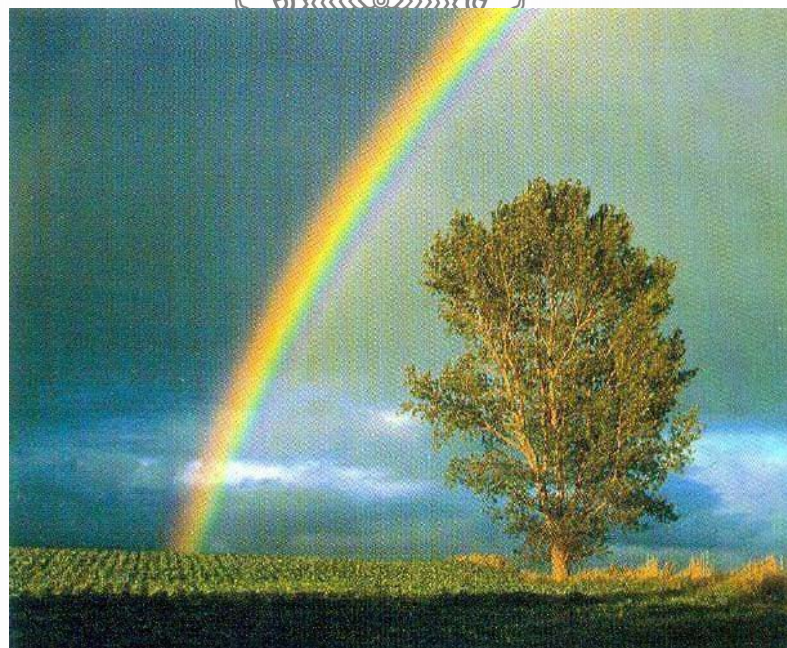


รูปที่ 2.8 โคออร์ดิเนต x, y ของ CIE ในปี 1931 [8]

ปริภูมิสี (Color Space) เป็นขอบเขตแสดงความกว้างขวางของสีของวัตถุหรือแหล่งกำเนิดแสงโดยใช้เครื่องหมายหรือตัวเลข ที่ได้รับการพัฒนาจากแนวคิดพื้นฐานจากทฤษฎี 3 องค์ประกอบในการมองเห็น คือ ความมีสีต้น (Hue หรือ H) ความสว่าง (Value หรือ V) และความอิ่มตัวหรือโครมา (Chroma หรือ C) โดยปกติแล้วตาของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ไวแสงสามสี คือ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน ซึ่งสีทั้งหมดที่มนุษย์มองเห็นเกิดจากการผสมผสานของสามสีดังกล่าวปริภูมิสีที่ CIE พัฒนาขึ้นเป็นกราฟสองมิติที่ไม่รวมค่าความสว่างเข้ามาด้วย เรียกว่า ปริภูมิสี Yxy (Yxy Color Space) ทั้งนี้ให้ Y แทนค่าความสว่าง ส่วน x และ y คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสีที่ได้จากการคำนวณฟังก์ชันความไวแสงของเซลล์ไวแสงทั้งสามสีของตามนุษย์ (Color-matching Function) ดังกล่าวข้างต้น (ซึ่งประกอบด้วยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน) คือ $\bar{x}(\lambda)$ $\bar{y}(\lambda)$ และ $\bar{z}(\lambda)$ ที่อยู่ในรูปของสเปกตรัมการกระจายแสงหรือความยาวคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 แล้วแสดงค่าออกมาในรูปของปริภูมิสีระบบต่างๆ เช่น ปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ปริภูมิสีระบบ L^*C^*h และปริภูมิสีระบบ Hunter Lab [8]

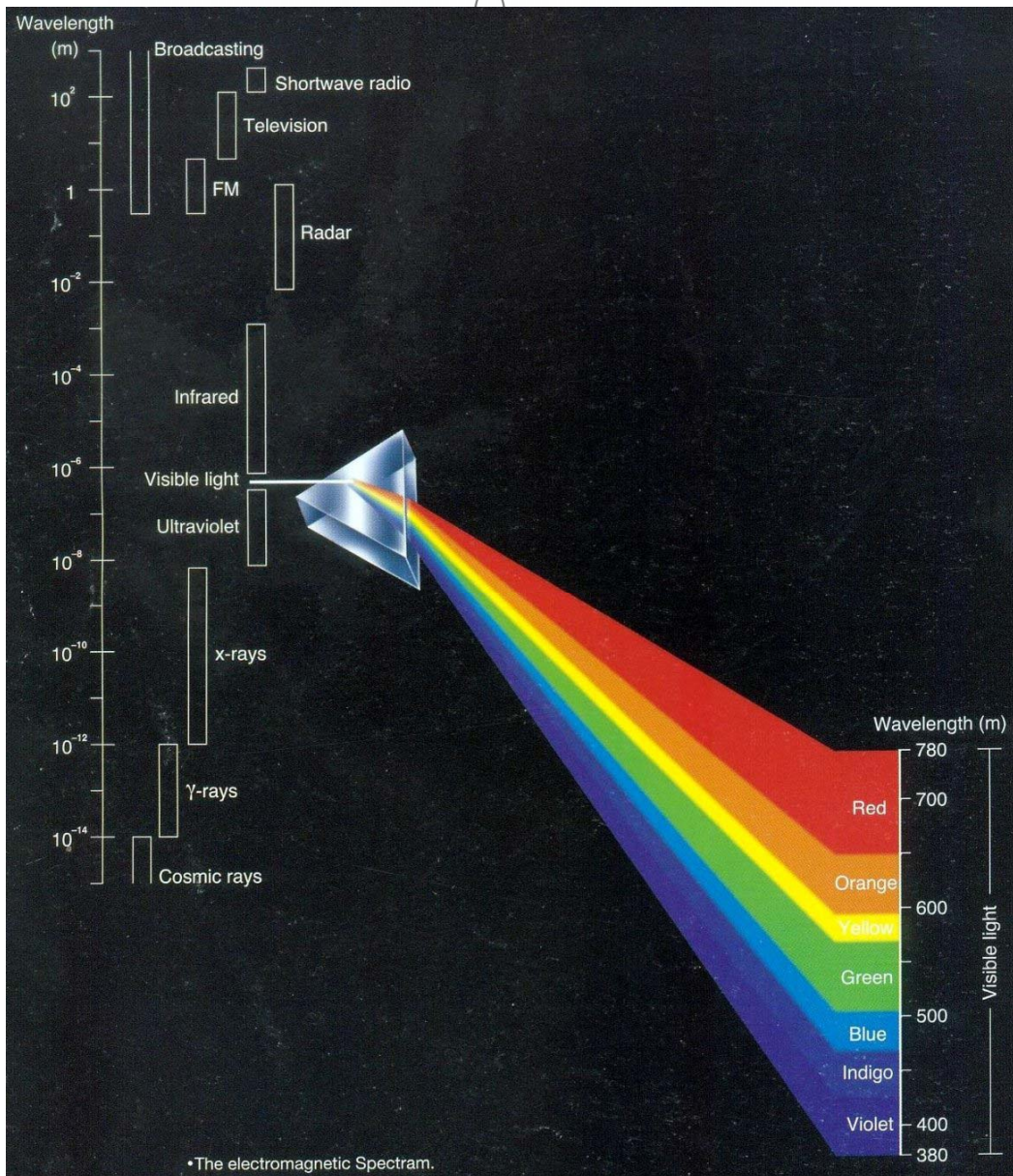


รูปที่ 2.9 ความไวแสงของตามนุษย์ (Color-matching Function) [8]



รูปที่ 2.10 ภาพสีรุ้งของรุ่งกีนน้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ที่เกิดจากแสงอาทิตย์ทะลุผ่านหยดน้ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นปริซึม [8]

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดปริภูมิสีระบบต่างๆ ขอทำความเข้าใจเกี่ยวกับการมองเห็นสีของมนุษย์ ซึ่งผู้คนส่วนใหญ่ทราบกันดีว่า ถ้าให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านแท่งแก้วปริซึม แสงจะหักเหออกมาคล้ายสีรุ้ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.10 ปรากฏการณ์นี้เกิดจากการกระจายแสงของสี หรือที่เรียกว่า

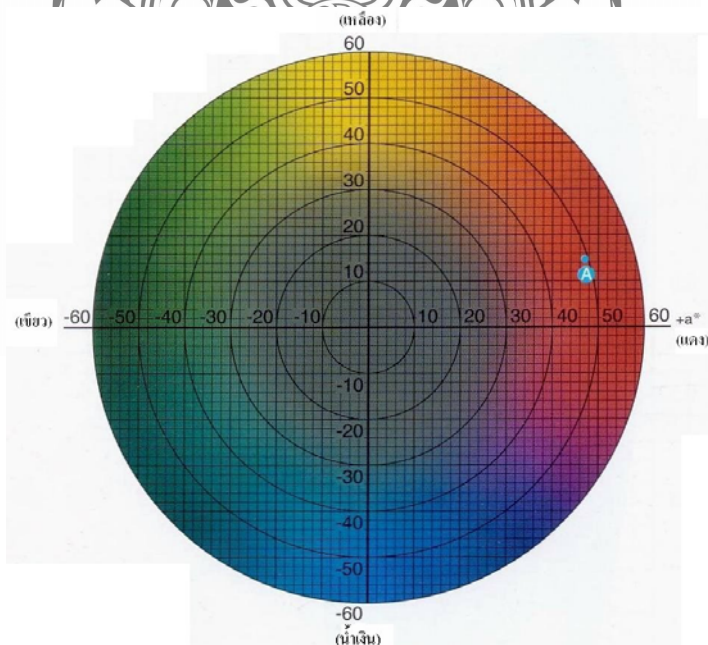


รูปที่ 2.11 ภาพคลื่นแสงในช่วงความยาวที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าที่เรียกว่า Visible light [8]

2.7.2 ระบบของปริภูมิสี (Color Space System) [8]

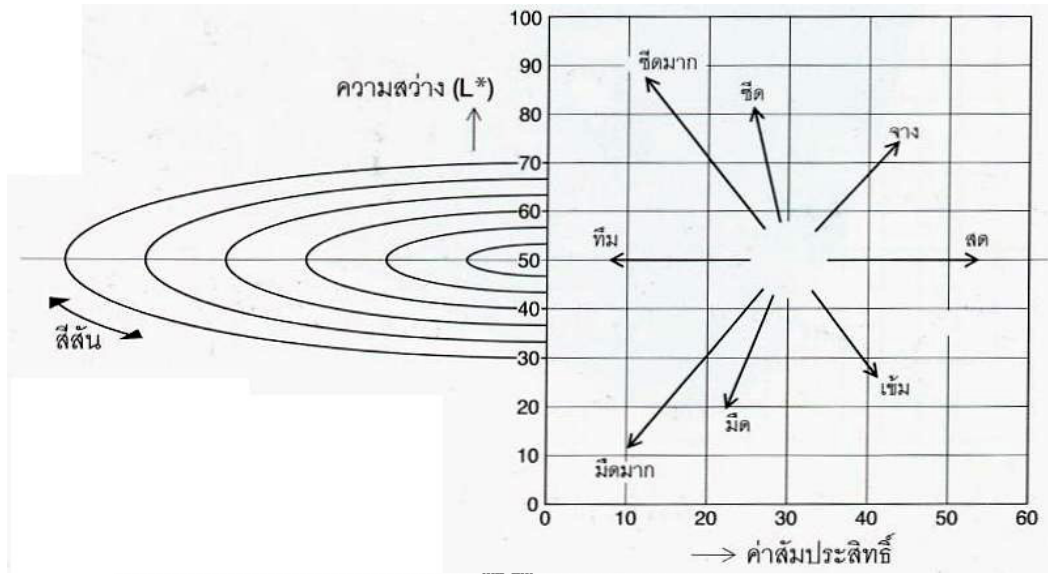
ปริภูมิสีเป็นค่าที่ใช้แสดงขอบเขตความกว้างขวางของสีของวัตถุหรือแหล่งกำเนิดแสง โดยการใช้เครื่องหมายหรือตัวเลขแสดงค่าสี ระบบปริภูมิสีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปประกอบด้วย ปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ปริภูมิสีระบบ L^*C^*h และปริภูมิสีระบบ Hunter Lab ซึ่งรายละเอียดของค่าปริภูมิสีในแต่ละระบบมีดังนี้

ก. ปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ($L^*a^*b^*$ Color Space) หรือบางครั้งเรียกว่า CIELAB เป็นระบบที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้วัดค่าสีและใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในหลายๆวงการ โดยปริภูมิสีเป็นประเภทที่มีสเกลสมมาตร ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย CIE ในปี ค.ศ. 1976 เพื่อแก้ปัญหาการแปลค่าสีที่เกิดขึ้นในระบบ Yxy เพราะพบว่าระยะห่างระหว่าง x กับ y บนไดอะแกรมสีจะไม่สอดคล้องกับความแตกต่างของสีที่เกิดจากการมองเห็นจริง ในระบบปริภูมิสี $L^*a^*b^*$ นี้ ค่า L^* หมายถึง ความสว่าง ส่วนค่า a^* และค่า b^* หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สี ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งไดอะแกรมดังกล่าว ค่า a^* และค่า b^* จะบอกถึงทิศทางของสี เช่น $+a^*$ หมายถึง อยู่ในทิศทางของสีแดง $-a^*$ หมายถึง อยู่ในทิศทางของสีเขียว $+b^*$ หมายถึง อยู่ในทิศทางของสีเหลือง และ $-b^*$ หมายถึง อยู่ในทิศทางของน้ำเงิน พื้นที่ตรงกลางจะไม่สามารถแยกสีได้ (Achromatic) เมื่อค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้นและจุดดังกล่าวเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางความอิ่มตัวของสีก็จะเพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.13 ซึ่งแสดงให้เห็นค่าสีต่างๆ ของปริภูมิสี $L^*a^*b^*$ อย่างชัดเจนจากรูปที่ 2.13 เป็นภาพตัดตามขวาง โดยค่าความว่าง (L^*) มีค่าคงที่ ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการวัดสีวัตถุชนิดหนึ่งโดยใช้ปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ได้ค่า $L^* = 43.31$ ค่า $a^* = +47.63$ และค่า $b^* = +14.12$ เมื่อพล็อตค่า a^* และค่า b^* ลงบนแกน a^* และ b^* ในรูปที่ 2.13 จุด A เป็นจุดที่แสดงสีของวัตถุ [8]

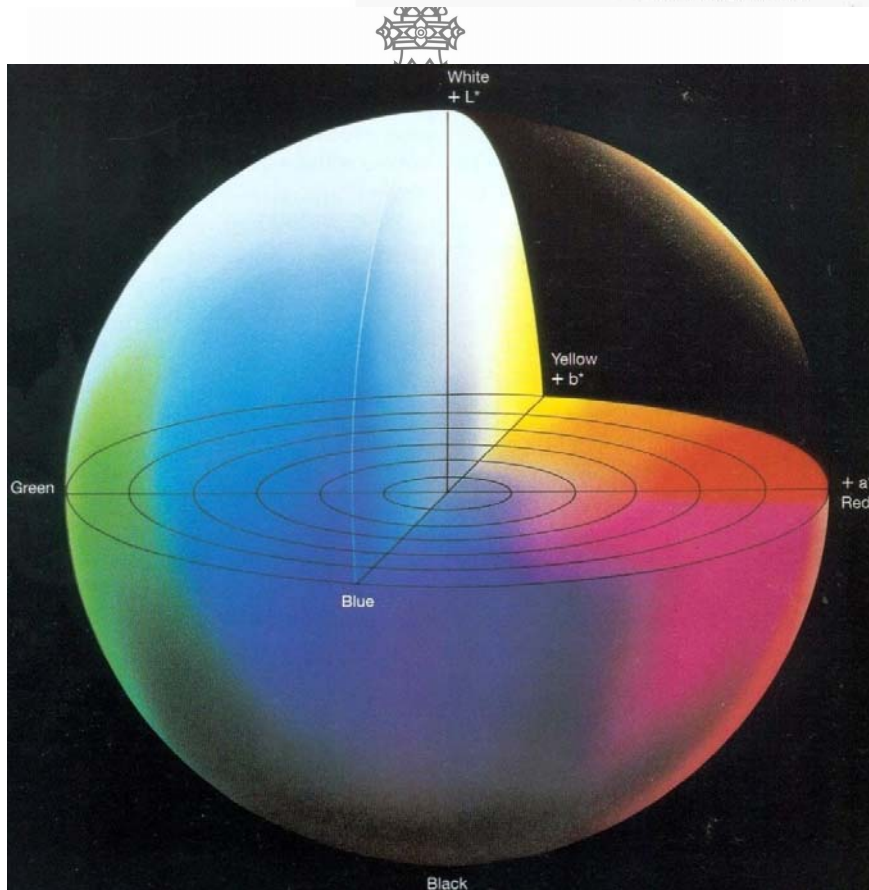


รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมสัมประสิทธิ์สี a^* , b^* [8]

(A)



(B)



รูปที่ 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์สีและความสว่าง (A) ค่าสัมประสิทธิ์สีและความสว่าง (B) ปริภูมิสีระบบ L^*a^*b (L^*a^*b Color Space) [8]

ข. ปริภูมิสีระบบ L*C*h (L*C*h Color Space) ปริภูมิสีระบบ L*C*h ใช้โดอะแกรมสีแบบเดียวกับระบบ L*a*b แต่รูปร่างต่างกันที่เป็นรูปกรวยแหลมแทนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในระบบนี้ค่า

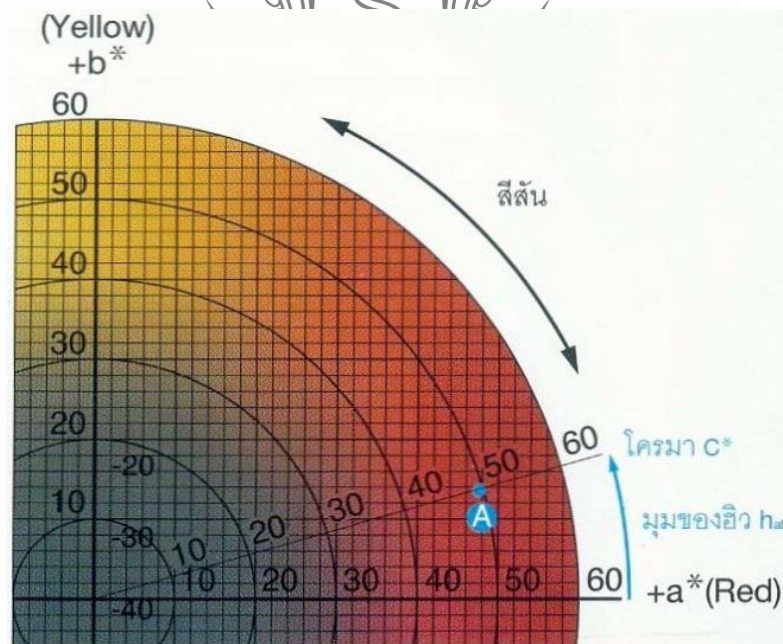
L* หมายถึง ความสว่าง เช่นเดียวกับค่า L* ในระบบ L*a*b โดยค่า

C* หมายถึง ค่าโครมา (Chroma) และ

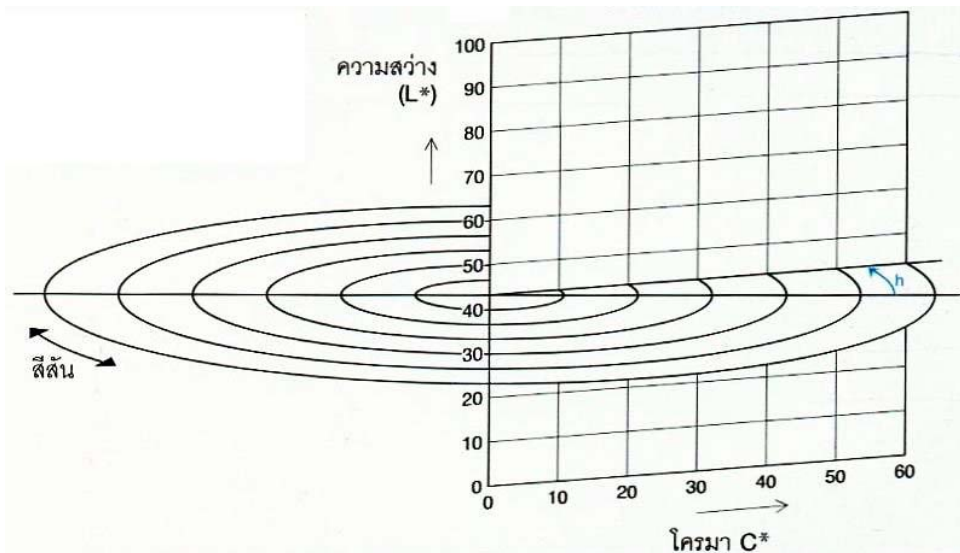
h หมายถึง มุมของสี (Hue angle) ค่า C* จะมีค่าเป็น 0 ที่จุดศูนย์กลางและจะมีสีอึมดัวมากขึ้น เมื่อออกห่างจากศูนย์กลางมากขึ้น ส่วนค่ามุมสี ที่แทนค่าด้วย h จะเริ่มนับค่าบนแกนด้าน +a* โดยมีค่าเริ่มต้นที่ 0 องศาบนแกนด้าน +a* จะเป็น (สีแดง) เมื่อเป็นมุม 90 องศา จะเป็นแกน +b* (สีเหลือง) ที่มุม 180 องศา จะเป็นแกน -a* (สีเขียว) และเมื่อเป็นมุม 270 องศา จะเป็นแกน -b* (สีน้ำเงิน) ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการวัดสีของวัตถุ ด้วยขอบเขตปริภูมิสีระบบ L*C*h ได้ค่า L* = 43.31 ค่า C* = 49.68 และค่า h* = 16.5 เมื่อพล็อตจุดบนกราฟในรูปที่ 2.14 ก็จะได้จุด A ตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.15 ซึ่ง

$$\text{ค่า } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2.1)$$

$$\text{Hue angle } h_{ab} = \tan^{-1}(b^* / a^*) \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สี a*, b* ที่ใช้แสดงค่าปริภูมิสีระบบ L*C*h [8]



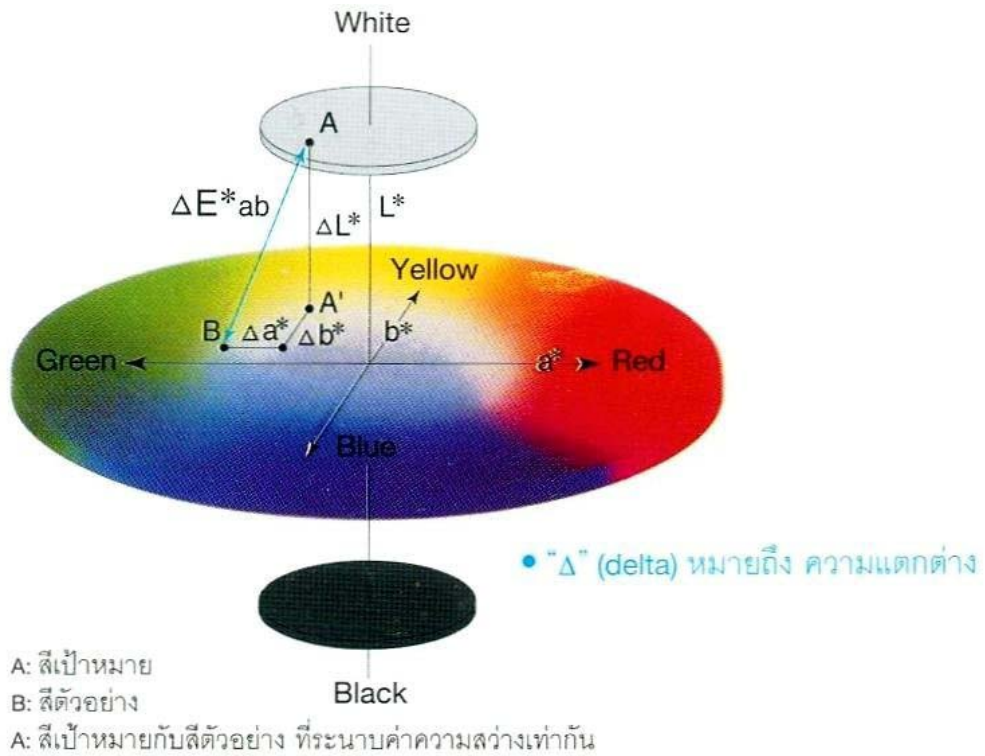
รูปที่ 2.15 ค่าโครมาและแสง [8]

2.7.3 ความแตกต่างของสี

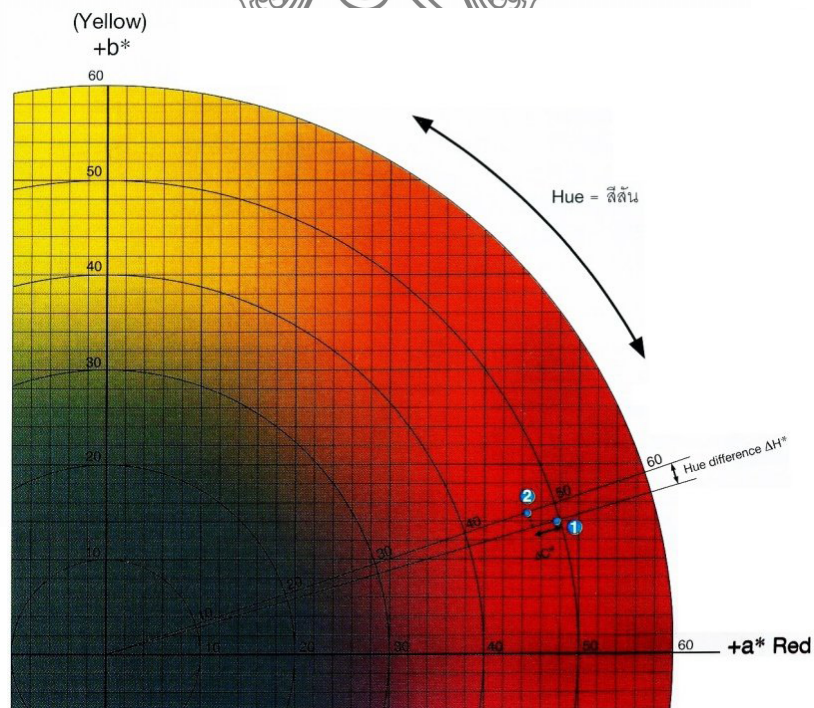
เนื่องจากตาของมนุษย์สามารถมองเห็นแสงได้ในช่วงความถี่ที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าเท่านั้น ดังนั้นแสงจึงไม่ใช่สี แสงเป็นเพียงรังสีที่มาจากกระตุนเรตินาของตาและทำให้เกิดการมองเห็น จากนั้นจึงถ่ายทอดข้อมูลต่อไปยังสมอง สิ่งนี้คือแนวคิดเรื่องการเกิดสี โดยสมองจะทำการตอบสนองต่อข้อมูลที่ส่งต่อมาจากตา ซึ่งบางครั้งสายตามนุษย์อาจมองเห็นสีสองสีเป็นสีเดียวกัน และไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ แต่ถ้ามีเครื่องวัดสีสามารถบอกความแตกต่างของสีที่พบได้ โดยเฉพาะในกรณีของการวัดสีที่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้การวัดสีด้วยเครื่องวัดสียังสามารถบอกความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ เพื่อให้การสื่อความหมายของสีสามารถเข้าใจได้ง่าย โดยความแตกต่างของสีจะแสดงเป็นค่าเพียงค่าเดียวเรียกว่า เดลต้าอี (ΔE^*_{ab}) ดังค่าที่แสดงในรูปที่ 2.16-2.17 ซึ่งจะบอกเฉพาะปริมาณความแตกต่างของสีเท่านั้น แต่ไม่ได้บอกทิศทางความแตกต่างของสี ซึ่งค่า เดลต้าอี (ΔE^*_{ab}) สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.3

$$(\Delta E^*_{ab}) = \sqrt{(\Delta L^*_{ab})^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.3)$$

ตัวอย่างเช่น การหาความแตกต่างของสีของวัตถุ 2 ชิ้น ด้วยปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ วัตถุชิ้นที่ 1 วัดสีได้ $L^* = 43.31$, $a^* = +47.83$, $b^* = +14.12$ วัตถุชิ้นที่ 2 วัดสีได้ $L^* = 47.34$, $a^* = +44.78$, $b^* = +15.16$ จะได้ค่า $\Delta L^* = +4.03$, $\Delta a^* = -3.05$, $\Delta b^* = +1.04$ สีของวัตถุ 2 ชิ้น เมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการจะได้ $\Delta E^*_{ab} = 5.16$ และในทำนองเดียวกัน ถ้าวัดความแตกต่างของสีด้วยปริภูมิสีระบบ L^*C^*h ค่า ΔL^* เป็นค่าเดียวกับปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ จะได้ $\Delta C^* = -2.59$ ซึ่งหมายความว่าวัตถุชิ้นที่ 2 มีสีสดน้อยกว่าวัตถุชิ้นที่ 1



รูปที่ 2.16 ค่าความแตกต่างสีในปริภูมิสีระบบ L*a*b [8]



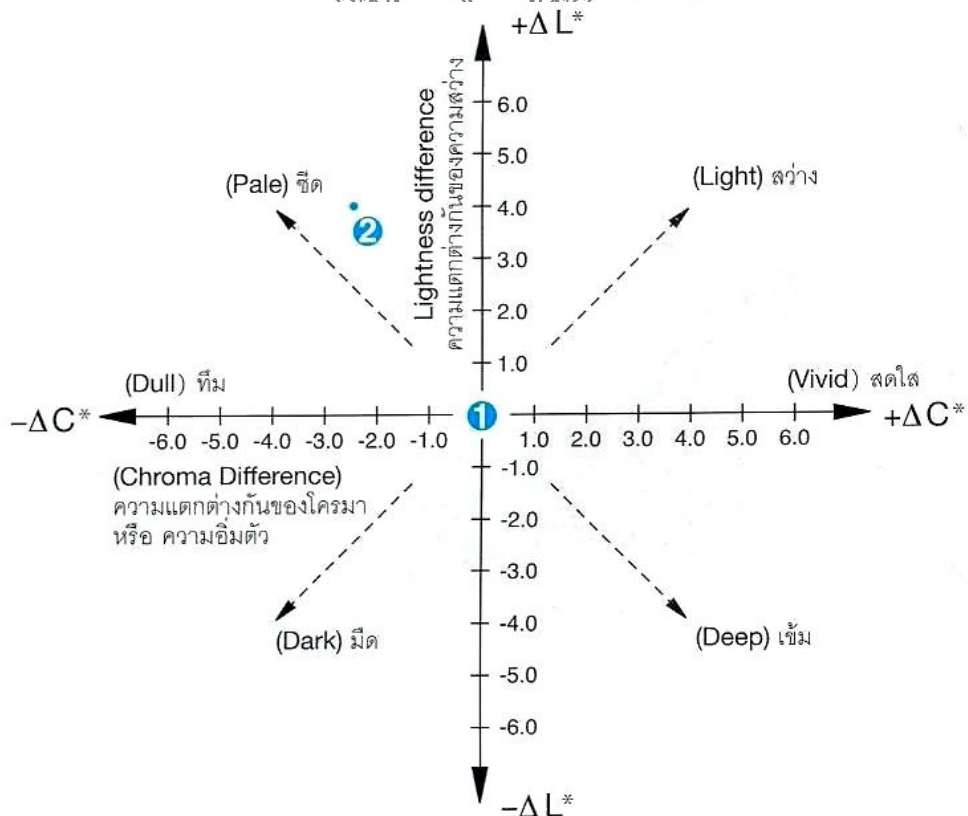
รูปที่ 2.17 ส่วนหนึ่งของไดอะแกรมสี a*, b* ในปริภูมิสีระบบ L*C*h [8]

สำหรับในส่วนของคุณค่าความมีสีที่ต่างกันของวัตถุ 2 ชิ้น คือ ΔH^* ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.4

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.4)$$

ในกรณีนี้ ค่าที่ได้คือ +1.92 แต่ถ้าพิจารณาจากรูปที่ 2.18 จะเห็นว่าวัตถุชิ้นที่ 2 จะอยู่ใกล้กับแกน +b มากกว่า ดังนั้น จะดูมีสีเหลืองมากกว่า

ถึงแม้ว่าจะใช้คำพูดมาบรรยายสีได้ไม่ชัดเจนเท่ากับการแสดงเป็นตัวเลขก็ตาม แต่ก็สามารถใช้คำพูดอธิบายค่าความแตกต่างของสีได้เช่นกัน ในรูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นถึงคำบางคำที่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายความแตกต่างของสี เช่นบอกในเรื่องของความสว่างและโครมา เป็นคำที่ใช้อธิบาย ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงทิศทางความแตกต่างของสี แต่ไม่ใช่คำขยายออกไปอีก (เช่น อ่อนๆ เข้มมากๆ เป็นต้น) ก็จะไม่สามารถระบุระดับความแตกต่างของสีได้ ถ้าวัดค่าสีของวัตถุทั้งสองชิ้นที่ได้มาพล็อต เราสามารถกล่าวได้ว่าวัตถุชิ้นที่ 2 มีสีซีดกว่าวัตถุชิ้นที่ 1 แต่เนื่องจากความแตกต่างกันมีไม่มาก จึงเพิ่มคำขยายท้ายออกไปว่า สีซีดกว่าเล็กน้อย เพื่อระบุถึงระดับความแตกต่าง

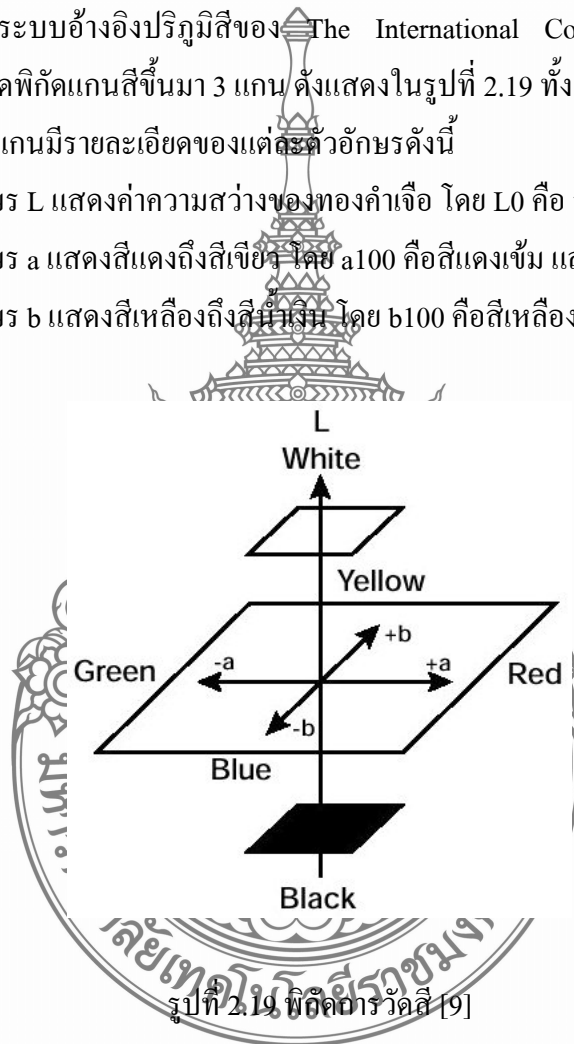


รูปที่ 2.18 คำที่ใช้อธิบายถึงค่าโครมาหรือความอึมตัวของสีและความสว่าง (Chroma and Lightness) [8]

2.7.4 การวัดระดับสีของทองคำเจือ [9]

จากระบบอ้างอิงการวัดสีของ CIELAB เป็นระบบมาตรฐานที่ใช้วัดระดับสีของวัตถุ โดยวัดการกระจายสีหรือที่เรียกว่า “สเปกตรัมการกระจายแสง” ค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปของความยาวคลื่น (Wavelength) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จากนั้นสเปกตรัมการกระจายแสงหรือความยาวคลื่นที่ได้ จะถูกแยกสเปกตรัมแล้วนำมาคำนวณหาค่าสีในปริภูมิสีระบบต่างๆ และแสดงค่าผลการวัดออกมาเป็นตัวเลข เช่น การวัดสีในระบบ CIELAB หรือระบบ Tristimulus หรือระบบ LCh Color Space ซึ่งต่อมา G.raykhtsaum และ D.P.Agarwal ได้แสดงการวัดระดับสีของทองคำเจือด้วยการใช้พิกัดคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นระบบอ้างอิงปริภูมิสีของ The International Committee on Illumination (CIELAB) โดยกำหนดพิกัดแกนสีขึ้นมา 3 แกน ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ทั้ง 3 แกนแทนค่าด้วยตัวอักษร L, a และ b โดยแต่ละแกนมีรายละเอียดของแต่ละตัวอักษรดังนี้

- ตัวอักษร L แสดงค่าความสว่างของทองคำเจือ โดย L0 คือ สีดำ และ L100 คือ สีขาว
- ตัวอักษร a แสดงสีแดงถึงสีเขียว โดย a100 คือ สีแดงเข้ม และ a-100 คือ สีเขียว
- ตัวอักษร b แสดงสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน โดย b100 คือ สีเหลือง และ b-100 คือ สีน้ำเงิน



รูปที่ 2.19 พิกัดการวัดสี [9]

2.7.5 มาตรฐานสีทองคำกะรัต [10]

มาตรฐานรับรองระดับสีทองคำกะรัต ประกอบด้วยมาตรฐาน NIHS-03-50 มาตรฐาน CETEHOR-07 และมาตรฐาน DIN 8238 ที่ได้อ้างอิงระบบการวัดค่าระดับสีตามระบบ CIELAB และเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปและใช้เป็นมาตรฐานยุโรป ที่เรียกว่ามาตรฐาน DIN EN 28654 ตลอดจนมีการนำมาใช้เป็นมาตรฐานสากล ที่เรียกว่ามาตรฐาน ISO 8654 นั้น ได้แบ่งค่า

ตารางที่ 2.9 สัญลักษณ์ระดับสีทองคำ ค่าการวัดและพิถีความเพื่อตามมาตรฐาน DIN 8238 [10]

สัญลักษณ์	สี		ค่าสีมาตรฐาน					
	สี	ตรงกับมาตรฐาน NIHS-03-50 และ CETEHOR-07-07	L		a		b	
				พิถี ความถี่		พิถี ความถี่		พิถี ความถี่
8N	ขาว	-	1.2	±0.2	0.9	±0.1	1.6	±0.3
0N	เขียวเหลือง	-	24.8		1.6		1.2	
1N	เหลืองอ่อน	/	1.7	±0.1	1.7	±0.1	1.2	±0.15
2N	เหลืองสด	/	1.8		1.8		1.3	
3N	เหลือง	/	2.0		1.8		1.3	
4N	ชมพู	/	2.4		1.6		1.4	
5N	แดง	/	2.6		1.5		1.4	

2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาอิทธิพลของสารเจือ ฟอสฟอรัสและอินเดียม ต่อคุณสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือทองแดงสำหรับผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ โดยผู้วิจัยได้ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องและใกล้เคียงนำมาเสนอ ดังนี้

อัลโด [11] ได้ศึกษาพื้นฐานทางด้านโลหะวิทยาของเงินสเตอร์ลิงที่ผสมด้วยทองแดง โลหะที่ผสมลงไปดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างจุลภาค ถือเป็นตัวอธิบายว่ามาจาก Non-Equilibrium Solidification แบบใด ปริมาณทองแดงจะแยกตัวออก ซึ่งจะเป็นตัวแสดงถึงการได้มาของส่วนผสมสำหรับการทำหน้าที่ของทองแดง และโลหะผสมอื่นซึ่งสามารถทำการศึกษได้จากส่วนผสมสเตอร์ลิงและเพื่อลด Fire Staining พฤติกรรม Tamish สรุปได้ว่าจากศึกษาเพื่อเข้าใจของสัดส่วนผสมและผลกระทบของแต่ละส่วนผสมที่เติมไม่ว่าจะเป็น Zn Ge และ Si ในตัวแปรของสเตอร์ลิง

ริชาร์ด [12] ได้สรุปปัญหาจากการหล่อเงินสเตอร์ลิง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่ม คือ ปัญหาที่เกิดจากการปฏิบัติงานของผู้กระทำหรือปัญหาที่เกิดขึ้นจากการลำดับขั้นของเทคนิคการหล่อ และปัญหาการดูดซับออกซิเจนในสถานะของเหลว ซึ่งปัญหาดังกล่าวต้องมีวิธีป้องกันและจากการศึกษาถึงการดูดซับออกซิเจน โพรงอากาศ และการเกิดออกไซด์ของทองแดงที่ผสมในงานหล่อ

มาร์ค [9] ได้ศึกษาเวลาที่ใช้สำหรับการอบอ่อนด้วยเตาอบ ซึ่งผลจากการศึกษา ซึ่งมาร์คได้แนะนำว่าในทางปฏิบัติควรใช้เวลาประมาณ 30 นาที แต่ถ้าทำการอบอ่อนด้วยวิธีใช้หัวไฟเผาบนโต๊ะปฏิบัติงานทั่วไปให้อุณหภูมิสูงกล่าวปกติจึงใช้เวลาในการให้ความร้อนสั้น อุณหภูมิที่ใช้สำหรับการอบอ่อนสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงสีโลหะด้วยสายตา ซึ่งแนะนำอุณหภูมิสำหรับการอบอ่อนโลหะชนิดต่าง ๆ

สมนึก และคณะ [7] ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของสารเจือสำคัญที่ใช้ผสมในโลหะเงินเจือ ได้แก่ ทองแดง สังกะสี และซิลิกอน โดยกำหนดปริมาณทองแดงประมาณ 5% สังกะสีระหว่าง 0.5 ถึง 2.5% และซิลิกอน 0.1 ถึง 0.4% ในการศึกษาถึงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางกล การหล่อ กรรมวิธีทางความร้อน และความต้านการหมอง ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ถ้าปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง ถ้าปริมาณซิลิกอนเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลง และพบว่าไม่ควรผสมซิลิกอนเกินกว่า 0.2% เพราะทำให้เปราะมาก ในการศึกษาคุณสมบัติด้านการหล่อเหวี่ยงในเตาเหวี่ยงแบบสูญญากาศด้วยเงินเจือ 4.8%Cu 1.6%Zn และ 0.1%Si ซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีคุณสมบัติทางกลในเกณฑ์ที่ดี พบว่า มุมรุต 65° ความเร็ว 10G และอุณหภูมิเทหล่อ 1050°C มีสิ่งบกพร่องภายในน้อยที่สุด ด้านกรรมวิธีทางความร้อนได้ศึกษาจากโลหะเงินเจือ 4 ตัวอย่าง คือ 1) 0.05%Si 0.75%Zn 5.8%Cu 2) 0.09%Si 1.3%Zn 5.9%Cu 3) 0.1%Si 1.0%Zn 5.1%Cu และ 4) 0.14%Si 1.6%Zn 4.8%Cu พบว่าถ้าให้อุณหภูมิอบเป็นเนื้อเดียวที่ 780°C เวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 65 นาที การอบเพิ่มความแข็งหลังจากการอบเป็นเนื้อเดียวและชุบน้ำ พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 300°C 2 ถึง 3 ชม. การศึกษาต้านความต้านการหมองพบว่าสังกะสีและซิลิกอน รวมถึงการขึ้นรูปเย็นมีผลลบ ในขณะที่ การอบเป็นเนื้อเดียวกันหลังหล่อมีผลดีอย่างชัดเจน

เอกสิทธิ์ และคณะ [13] ได้ศึกษาผลของซิลิกอนต่อคุณสมบัติการต้านทานการหมองและคุณสมบัติทางกลของโลหะเงินสเตอร์ลิง ซึ่งผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกอนจะทำให้ความต้านทานการหมองดีขึ้นและซิลิกอนยังช่วยให้ผิวงานหล่อมีผิวเงาและขาวขึ้นมากกว่า ผิวของชิ้นงานที่ปราศจากซิลิกอน โดยการเพิ่มปริมาณซิลิกอนทำให้โครงสร้างเปลี่ยนเป็นโครงร่างตาข่ายที่เกิดจากเฟสของทองแดง-ซิลิกอนที่ขอบเกรน ซึ่งจะก่อให้เกิดความเหนียวลดลงอย่างเห็นได้ ชัดเจนเมื่อปริมาณซิลิกอนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย(0.04%)ปริมาณซิลิกอนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 0.02-0.2%โดยน้ำหนัก ซึ่งจะให้ความต้านทานการหมองร่วมกับคุณสมบัติทางกลที่ดี

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงาน

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของโลหะเงินผสม 58.4% ที่มีธาตุทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) เป็นธาตุผสม ซึ่งมีปริมาณการผสมอยู่ในช่วงระหว่าง 20.85-41.76% และ 0-20.83% ตามลำดับ โดยทำการเปรียบเทียบกับสมบัติของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 จึงได้กำหนดแผนการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ตามแผนการดำเนินงาน โดยมีแผนภาพการไหลกระบวนการทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลกระบวนการในการทำวิทยานิพนธ์

3.2 วัสดุ เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการทดลองศึกษาวิจัย

3.2.1 วัสดุ

1. โลหะเงินบริสุทธิ์ 100 เปอร์เซ็นต์
2. วัสดุผสม ประกอบด้วย ทองแดง สังกะสีและดีบุก ความบริสุทธิ์ 99.95 เปอร์เซ็นต์
3. วัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้สำหรับการหล่อหลอมผสมโลหะและหล่อขึ้นรูปขึ้นสอบนั้น ประกอบไปด้วย เบ้าหลอมโลหะ ปูนสำหรับทำแบบหล่อ ยางสำหรับทำแม่พิมพ์ยาง และเทียนสำหรับฉีดขึ้นรูปตัวแบบเทียน
4. วัสดุสิ้นเปลืองสำหรับการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ซึ่งประกอบไปด้วย กระดาษทราย ฟ้ายัด ผงเพชรขนาดต่างๆ และสารเคมี

3.2.2 เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการทดลองศึกษาวิจัย

เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการศึกษาวิจัยได้ดำเนินการจัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม

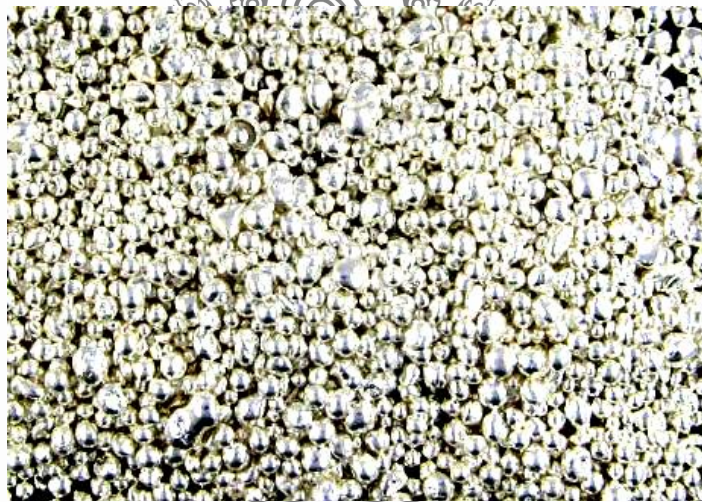
1. เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการหลอมผสมโลหะและการหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบในการทดลองศึกษาวิจัยนี้ ผู้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการผลิตชิ้นงานเครื่องประดับ ซึ่งประกอบไปด้วยหลอมผสมเทเม็ค โลหะ เครื่องหล่ออุตสาหกรรมและเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการเตรียมแบบหล่อ (เครื่องฉีดเทียน เครื่องผสมปูน เครื่องอบนึ่งไอน้ำและเตาอบปูนแบบหล่อ)
2. เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลและศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ประกอบไปด้วย เครื่องขัดเตรียมชิ้นงาน กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) และเครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers Hardness Test) เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Tensile Machine)
3. เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีและวัดสี ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ดังต่อไปนี้ เครื่องวิเคราะห์ขั้นสูง Induction Couple Plasma (ICP) เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRFS) และเครื่องวัดระดับสี Colorimeter

3.3 การดำเนินการหล่อหลอมผสมโลหะเพื่อผลิตเป็นมาสเตอร์อัลลอย

การดำเนินการหล่อหลอมผสมโลหะเพื่อผลิตมาสเตอร์อัลลอยสำหรับการวิจัยนี้ ดำเนินการโดยการหลอมโลหะทองแดงผสมสังกะสีที่อัตราส่วนผสม 45 wt% Cu + 55 wt% Zn เพื่อผลิตโลหะผสมมาสเตอร์อัลลอยทองแดงผสมสังกะสี ซึ่งทำการหลอมผสมด้วยเครื่องหลอมเทเม็ค โลหะที่ทำการหลอมโลหะผสมโลหะภายใต้สภาวะสุญญากาศและปกคลุมผิวหน้าโลหะด้วยก๊าซอาร์กอน ด้วยเครื่องหล่อ Indutherm รุ่น VC 600 ที่ใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หลังจากทำการหลอมผสมโลหะจนส่วนผสมต่างๆ หลอมผสมเข้าด้วยกันแล้วทำการเทหยดน้ำโลหะลงในน้ำเป็นเม็คโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 เครื่องหลอมผสมเทเม็ด โลหะ Indutherm รุ่น VC 600



รูปที่ 3.3 ลักษณะของเม็ดโลหะมาสเตอร์อัลลอย 45 wt% Cu + 55 wt%Zn หลังจากผ่านการเทหดยเม็ด

สภาวะของการหลอมผสมเทเม็ด โลหะเพื่อผลิตเม็ดโลหะมาสเตอร์อัลลอย

- 1) อัตราส่วนผสมของเม็ดโลหะมาสเตอร์อัลลอยประกอบด้วย 45 wt% Cu + 55 wt%Zn
- 2) ความจุของการหลอมผสมโลหะครั้งละ 3 กิโลกรัม
- 3) อุณหภูมิหลอมผสมโลหะ 1150 °C

- 4) ระยะเวลาของการคงอุณหภูมิก่อนทำการเทหขดเม็ดโลหะ 10 นาที
- 5) หลอมผสมโลหะภายใต้สภาวะสุญญากาศและปกคลุมผิวหน้าโลหะด้วยก๊าซอาร์กอน

3.4 ดำเนินการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของมาสเตอร์อัลลอยด์

เม็ดโลหะมาสเตอร์อัลลอยด์ที่ได้จากการหลอมผสมโลหะและเทหขดเม็ดจะถูกนำไปทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของมาสเตอร์อัลลอยด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRFS) ยี่ห้อ Fischer รุ่น Xan ของสาขาวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จากการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการประกอบหรือส่วนผสมทางเคมี พบว่าเม็ดโลหะผสมมาสเตอร์อัลลอยด์มีส่วนผสม 47.88 wt% Cu + 52.12 wt% Zn

การที่ปริมาณของสังกะสีลดลงนั้น เกิดจากการสูญเสีย เนื่องจากที่นำโลหะสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศในระหว่างขั้นตอนการเทหขดน้ำโลหะลงในน้ำเพื่อผลิตเป็นเม็ดโลหะผสมมาสเตอร์อัลลอยด์



รูปที่ 3.4 เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRFS) ยี่ห้อ Fischer รุ่น Xan

3.5 การดำเนินการหลอมผสมโลหะและหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.4%

สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบต่างๆ

เม็ดโลหะผสมมาสเตอร์อัลลอยด์ (ทองแดง-สังกะสี) ที่ได้จากหัวข้อ 3.4 ถูกนำมาหลอมผสมรวมกับโลหะเงิน ทองแดง และดีบุก เพื่อหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.4% สำหรับการศึกษาวเคราะห์สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และระดับสี เพื่อเปรียบเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิงหรือโลหะเงินผสม 92.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถกำหนดอัตราการผสมของชิ้นทดสอบทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราการผสมของชั้นทดสอบสำหรับการศึกษาวิจัย Ag + Cu + Zn (E)

ชั้นทดสอบ	อัตราการผสมที่กำหนด (%)			ปริมาณการผสม (g)			
	Ag	Cu	Zn	Ag	Cu	CuZn	Total
Ag1	92.50	7.50	-	348.73	28.28	0.00	377.00
Ag2	58.33	41.76	-	219.90	157.44	0.00	377.34
Ag3	58.33	37.50	4.17	219.90	126.93	30.16	377.00
Ag4	58.33	33.36	8.31	219.90	96.99	60.11	377.00
Ag5	58.33	29.19	12.48	219.90	66.82	90.27	377.00
Ag6	58.33	25.02	16.65	219.90	36.66	120.43	377.00
Ag7	58.33	20.85	20.82	219.90	6.50	150.60	377.00

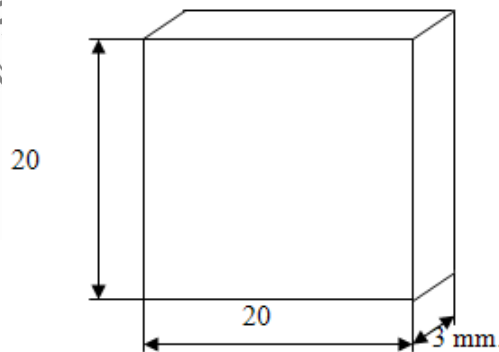
ตารางที่ 3.2 อัตราการผสมของชั้นทดสอบสำหรับการศึกษาวิจัย Ag + Cu + Zn + Sn

ชั้นทดสอบ	อัตราการผสมที่กำหนด (%)				ปริมาณการผสม (g)				
	Ag	Cu	Zn	Sn	Ag	Cu	CuZn	Sn	Total
AgII-1	58.33	41.20	0.00	0.5	219.90	155.32	0.00	1.89	377.00
AgII-2	58.33	37.00	4.17	0.5	219.90	125.05	30.16	1.89	377.00
AgII-3	58.33	32.86	8.31	0.5	219.90	95.10	60.11	1.89	377.00
AgII-4	58.33	28.69	12.48	0.5	219.90	64.94	90.27	1.89	377.00
AgII-5	58.33	24.52	16.65	0.5	219.90	34.78	120.43	1.89	377.00
AgII-6	58.33	20.35	20.82	0.5	219.90	4.61	150.60	1.89	377.00
AgII-7	58.33	40.70	0.00	1.00	219.90	153.44	0.00	3.77	377.00
AgII-8	58.33	36.50	4.17	1.00	219.90	123.16	30.16	3.77	377.00
AgII-9	58.33	32.36	8.31	1.00	219.90	93.22	60.11	3.77	377.00
AgII-10	58.33	28.19	12.48	1.00	219.90	63.05	90.27	3.77	377.00
AgII-11	58.33	24.02	16.65	1.00	219.90	32.89	120.43	3.77	377.00
AgII-12	58.33	19.85	20.82	1.00	219.90	2.73	150.60	3.77	377.00

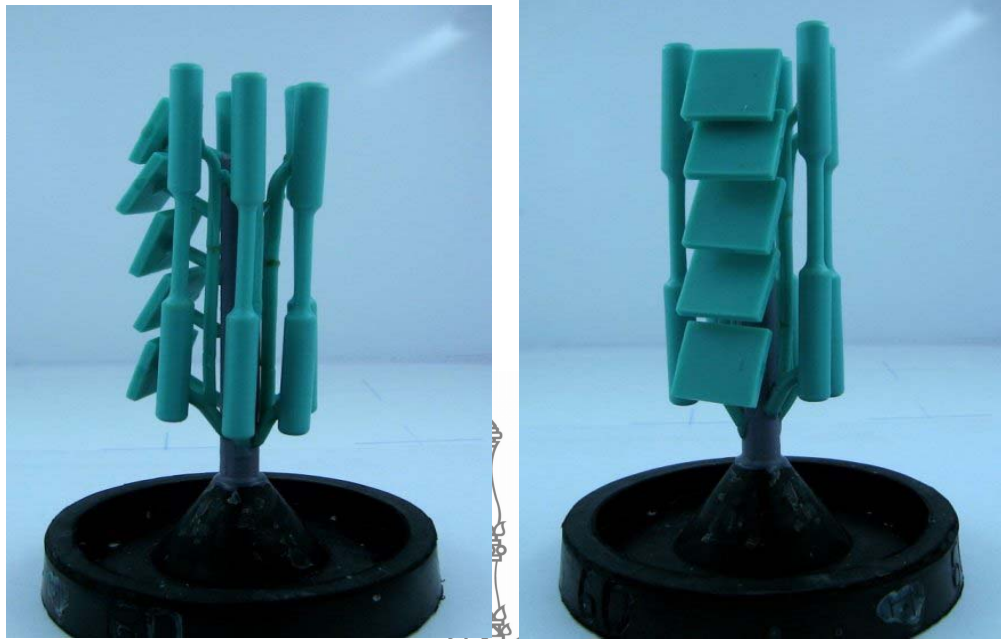
ในการหล่อหลอมขึ้นรูปขึ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.4% ผู้วิจัยดำเนินการหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบเป็นแท่งคัมเบลหรือกระดูกหมา (Dog Born) สำหรับการวิเคราะห์สมบัติความต้านแรงดึง โดยตัวแบบเทียนของขึ้นทดสอบสำหรับการหล่อขึ้นรูปได้จากการฉีดเทียนเข้าไปในโพรงแบบทองเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 สำหรับในส่วนขึ้นทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ทดสอบความแข็ง การศึกษาโครงสร้างจุลภาค และระดับสีนั้น ขึ้นทดสอบถูกกำหนดให้มีขนาด $20 \times 20 \times 3$ mm. ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งตัวแบบเทียนทั้งหมดจะถูกนำไปติดเป็นต้นเทียนสำหรับการหล่อขึ้นรูป ดังแสดงรูปที่ 3.6 ด้วยขบวนการ Investment Casting ด้วยเครื่องหล่ออุตสาหกรรมยี่ห้อ Yasui รุ่น K2 ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.5 โพรงแบบทองเหลืองสำหรับการฉีดขึ้นรูปตัวแบบเทียนสำหรับการวิเคราะห์ทดสอบความต้านแรงดึง



รูปที่ 3.6 ขนาดของตัวแบบเทียนขึ้นทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ทดสอบความแข็ง การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและระดับสี



รูปที่ 3.7 การติดตั้งเทียนสำหรับหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบสำหรับการทดสอบความต้านแรงดึง ความ
แข็งการศึกษาโครงสร้างจุลภาค และระดับสี



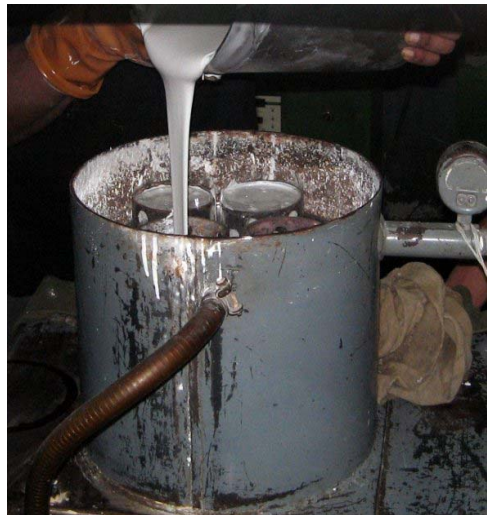
รูปที่ 3.8 เครื่องหล่อคูดสุญญากาศยี่ห้อ Yasui รุ่น K2



ก. การตวงน้ำสำหรับผสมปูนทำแบบหล่อ



ข. เทปูนผสมกับน้ำ



ค. เทปูนลงในกระบอกรูปวงรีที่มีต้นเทียนอยู่ภายใน



ง. การอบปูน



จ. เทเม็ดโลหะลงใบเข้าหลอม



ฉ. นำกระบอกรูปวงรีเข้าเครื่องหล่อ

รูปที่ 3.9 ขั้นตอนต่างๆ ของขบวนการหล่อหลอมโลหะเพื่อหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบในสุญญากาศ และการดึงปูนออกจากชิ้นทดสอบ



ข. นำโลหะในเบ้าหลอมภายใต้สภาวะสุญญากาศ



ค. แสดงการล้างปูนออกจากชิ้นทดสอบ



ฅ. ชิ้นงานที่ได้จากการล้างปูน

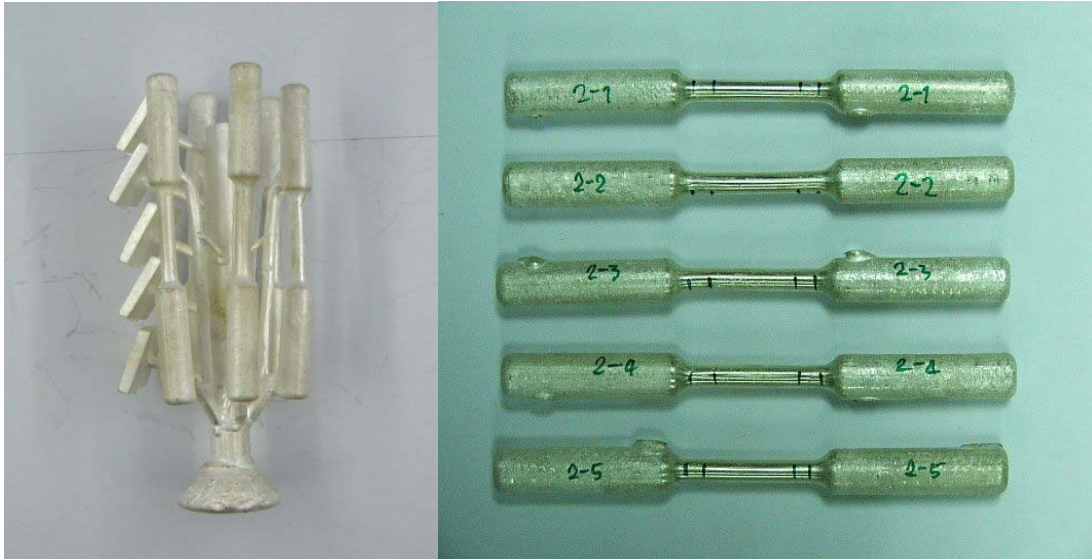


ฉ. นำชิ้นงานแช่ในกรดกัดปูนล้างปูน

รูปที่ 3.9 ขั้นตอนต่างๆ ของขบวนการหลอมโลหะเพื่อหล่อเป็นรูปชิ้นทดสอบในสุญญากาศและการล้างปูนออกจากชิ้นทดสอบ (ต่อ)

สำหรับในส่วนสถานะของกรรหลอมขึ้นรูปชิ้นทดสอบ ประกอบด้วย

1. เครื่องหล่อดูดสุญญากาศ ยี่ห้อ Yasui รุ่น K2
2. ปริมาณการหลอมโลหะครั้งละ 700 กรัม
3. หลอมโลหะภายใต้สภาวะสุญญากาศ
4. ปกคลุมผิวหน้าโลหะด้วยก้ำซาร์กอน
5. อุณหภูมิกระบอบปูนโพรงแบบหล่อ 550°C
6. อุณหภูมิเทหล่อ 1010 °C และคงอุณหภูมิ 5 นาที ก่อนทำการเทหล่อ
7. พักกระบอบปูนแบบหล่อก่อนจุ่มน้ำล้างปูน 20 นาที



รูปที่ 3.10 ลักษณะชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป

3.6 การดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล โครงสร้าง จุลภาค ระดับสีของชิ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.4%

3.6.1 การวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

การวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการตรวจสอบด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้คือ การวิเคราะห์ทดสอบด้วยวิธี X – Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) เป็นวิธีการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี ที่มีความรวดเร็วและสะดวกในการตรวจสอบ แต่ความแม่นยำไม่สูงมากนัก ส่วนของการวิเคราะห์ทดสอบด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งจะประกอบไปด้วยวิธีการไตเตรท (Titration) เพื่อหาปริมาณเงินบริสุทธิ์ตาม มอก. 21-2515 และวิธี Atomic Absorption Spectrometer (AAS) สำหรับการหาทองแดง สังกะสี และดีบุก ซึ่งวิธีการในการตรวจสอบดังกล่าวให้ความแม่นยำสูง แต่มีความยุ่งยากในการตรวจสอบ โดยวิธีการตรวจสอบทั้ง 3 วิธี มีหลักการในการตรวจสอบดังนี้

การไตเตรท (Titration) คือการนำสารที่ต้องการวิเคราะห์ ทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน เรียกว่า ไทเทรนต์ จุดที่เติมไทเทรนต์ลงไปทำปฏิกิริยาจนถึงจุดสมมูลพอดีหรือจุดที่ไทเทรนต์มีปริมาณสัมพันธ์พอดี เรียกว่า จุดสมมูล(equivalent point) จุดที่สามารถมองเห็นได้ว่าใดเกิดปฏิกิริยาขึ้นสมบูรณ์พอดี เรียกว่า จุดยุติ(end point) ซึ่งเป็นจุดที่พบว่าคุณสมบัติบางอย่างของสารละลายเปลี่ยนแปลง เช่น ความต่างศักย์ไฟฟ้า เป็นต้น โดยเมื่อเติมไทเทรนต์เพียงเล็กน้อย ทำให้ความต่างศักย์เปลี่ยนแปลง และเมื่อเติมไทเทรนต์ไปเรื่อยๆ จนทำให้ค่าต่างศักย์ไม่เปลี่ยนแปลง. จุดนี้จะเป็นจุดยุติ ในปัจจุบันมีเครื่องสำหรับการไตเตรทแบบอัตโนมัติทำให้การวิเคราะห์สะดวก

Atomic Absorption Spectrometer (AAS) อะตอมมิกแอซซอร์บชัน เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนพลังงานที่มีความยาวคลื่นหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับธาตุนั้นๆ ธาตุแต่ละชนิดมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน ซึ่งธาตุที่วิเคราะห์จะต้องทำให้อยู่ในรูปของสารละลาย การทำให้ธาตุที่วิเคราะห์ให้เป็นอะตอมเสรี สามารถทำได้ด้วยการให้ความร้อนโดยการ ใช้เปลวไฟ ใช้กระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืน โดยอะตอมเสรีของธาตุที่วิเคราะห์จะแปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของธาตุที่วิเคราะห์ที่มีอยู่ในสารละลายตัวอย่าง

ICP (Inductively Couple Plasma) ที่พลาสมาเกิดจากก๊าซที่แตกตัวเป็นไอออน โดยได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าความถี่สูง พลาสมาจะมีความร้อนสูง ในการวิเคราะห์จะต้องนำสารตัวอย่าง 10-100 มิลลิกรัม มาละลายด้วยกรดแล้วฉีดเข้าไปในพลาสมา ซึ่งจะทำให้ธาตุต่าง ๆ แปรสภาพไปเป็นอะตอมหรือไอออนที่มีพลังงานสูง อยู่ในสภาวะที่ถูกกระตุ้นจึงไม่มีเสถียรภาพจึงต้องคายพลังงานออกมา ซึ่งธาตุหนึ่ง ๆ จะมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ผลจากการตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นสเปกตรัม เมื่อเทียบกับผลจากสารตัวอย่างมาตรฐาน ก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณธาตุต่างๆ จากสารตัวอย่างได้ ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีนี้จะได้ผลทดสอบที่มีความแม่นยำสูงและใช้สารตัวอย่างน้อย

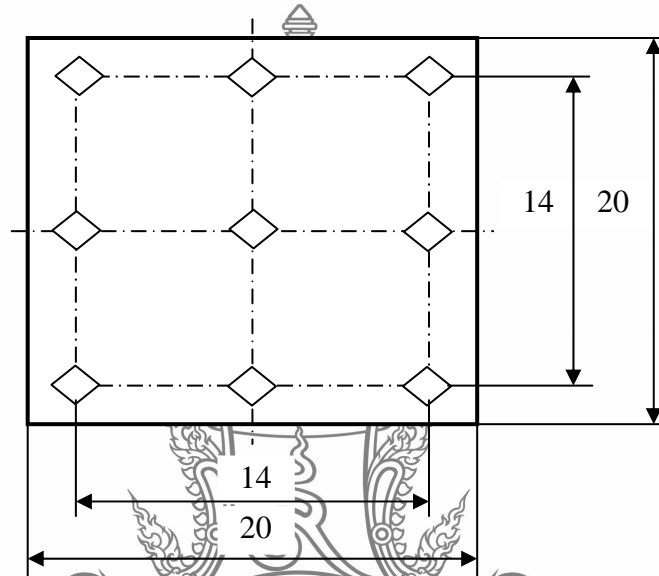
3.6.2 การทดสอบความแข็ง

การตรวจสอบวัดค่าความแข็งสำหรับการทดสอบ ใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Micro Hardness Testing Machine ของ Mitutoyo, Japan รุ่น MVK-H11 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ที่ได้รับการสอบเทียบความแข็งกับแผ่นทดสอบความแข็งมาตรฐานก่อนการทดสอบขึ้นทดสอบทุกครั้ง



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Testing Machine)

ในงานศึกษาครั้งนี้เลือกใช้การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers) เพราะสามารถทดสอบความแข็งโลหะที่มีความแข็งแตกต่างกันได้ดีและยังสามารถเลือกแรงกดที่เหมาะสมกับชิ้นทดสอบได้ โดยแรงกดที่เลือกใช้คือ 9.81 N (HV1) เวลาในการกดแช่ 30 วินาที การทดสอบความแข็งของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น จะทำการทดสอบที่ตำแหน่งหน้าตัด 9 จุด ดังตำแหน่งการกดทดสอบที่แสดงในรูปที่ 3.12 หลังจากนั้นจึงนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าความแข็งที่ได้เป็นค่าความแข็งจำเพาะของโลหะเงินผสมตามส่วนผสมทางเคมี เพื่อต้องการทราบค่าความแข็งของโลหะเงินผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง

3.6.3 การทดสอบความต้านแรงดึง

การทดสอบความต้านแรงดึงโลหะเงินผสม 58.4% เพื่อต้องการตรวจวัดค่าความแข็งแรงสูงสุดและค่าความยืดของของโลหะเงินผสม เครื่องทดสอบความต้านแรงดึงที่ใช้สำหรับงานทดสอบเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้สำหรับทดสอบพลาสติกและโลหะอ่อนที่มีความยืดตัวสูง สามารถวัดแรงดึงได้สูงสุด 10 kN ของ Lloyd รุ่น LR 10 K ที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.13

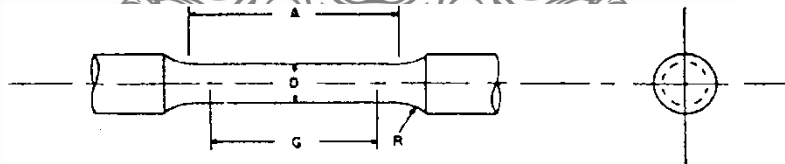
จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านแรงดึง ณ จุดคราก ความต้านแรงดึงสูงสุด ความต้านแรงดึง ณ จุดแตกหัก และความยืดของโลหะเงินผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ โดยทำการทดสอบแรงดึงอัตราส่วนผสมละ 5 ชิ้น และเงื่อนไขการทดสอบเพิ่มความเค้นไม่เกิน 10 N/mm² ต่อวินาที ขนาดของชิ้นทดสอบช่วง Gauge length มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm ยึดถือตามมาตรฐาน ASTM E 8 M - 99 ซึ่งมีสัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ตารางที่ 3.3 และนอกจากนี้ อุณหภูมิของการทดสอบ ดำเนินการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบแรงดึง



รูปที่ 3.14 ลักษณะการจับชิ้นทดสอบที่สภาพต่างๆ



รูปที่ 3.15 ลักษณะของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 8M – 99 [14]

ตารางที่ 3.3 แสดงขนาดของชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 8M – 99 [14]

	Dimensions, mm.				
	Standard Specimen		Small – Size Specimens Proportional to Standard		
	12.5	9	6	4	2.5
G – Gage length	62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1	20.0 ± 0.1	12.5 ± 0.1
D – Diameter	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1
R – Radius of fillet	10	8	6	4	2
A – Length of reduced section	75	54	36	24	20

3.6.4 การวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

เป็นการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะ โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินผสมที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป และนอกจากนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบอิทธิพลของธาตุผสมทองแดง สังกะสีและดีบุกที่ผลต่อการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินผสม 58.4% ซึ่งการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินผสมมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

ก. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบ ซึ่งการเตรียมทำได้โดยตัดชิ้นงานแล้วนำไปหล่อด้วย เรซินให้จับยึดชิ้นทดสอบเพื่อความสะดวกในการจับยึดชิ้นทดสอบมาขัดผิวให้เรียบ

ข. ขั้นตอนการขัดผิวละเอียด (Fine Grinding) การขัดผิวชิ้นงานจะใช้กระดาษทรายน้ำซิลิกอนคาร์ไบด์ติดบนเครื่องขัดแบบจานหมุน ซึ่งปกติชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยแผ่นคอรันดัมแล้วจะมีผิวเรียบ เริ่มขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000, 1500, 2000 และ 4000 ตามลำดับ ในการขัดด้วยกระดาษทรายสองขนาดสุดท้ายต้องขัดให้เกิดรอยกระดาษทรายในทิศทางเดียวกันตลอดผิวชิ้นงานแล้วหมุนไป 90 องศา จัดจนรอยเดิมหายไป โดยมีน้ำไหลผ่านชิ้นงานตลอดเวลาที่ขัดเพื่อระบายความร้อนและกำจัดเศษผงโลหะที่ถูกขัดออกมา

ค. ขั้นตอนการขัดผิวละเอียด (Polishing) หลังจากการขัดกระดาษทรายแล้วจะนำชิ้นงานมาขัดบนผ้าสักหลาด ซึ่งมีผงขัดได้แก่ ผงขัดเพชรหรือผงอะลูมินา (Aluminum Oxide) ผสมกับน้ำแล้วฉีดลงบนผ้าสักหลาดก่อนนำชิ้นงานลงขัด ซึ่งผงอะลูมินาที่ใช้โดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ $1 \mu\text{m}$ การขัดด้วยผงขัดต่างๆ เหล่านี้ โดยจะต้องขัดจนกว่าผิวชิ้นงานเรียบและไม่มีรอยต่าง ๆ ซึ่งผิวของชิ้นงานจะมีความเงาใสและเรียบคล้ายกระจกเงา

ง. การกัดกรวด (Etching) หลังจากการขัดผิวมันแล้วนำมาล้างทำความสะอาดด้วยเอทิลหรือเมทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 96% แล้วเป่าให้แห้ง จากนั้นนำชิ้นทดสอบมากัดผิวด้วยกรดดังต่อไปนี้

- 10% KCN + 10% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 4-6 นาที เพื่อแสดงขอบเกรน
- Conc. HCl + Conc. HNO_3 อัตราส่วนผสม (3:1) 1-3 วินาที เพื่อแสดงรายละเอียดภายในเกรน
- 30% (Conc. HCl + Conc. HNO_3) อัตราส่วนผสม (3:1) เจือจางด้วยน้ำ เพื่อแสดงรายละเอียดภายในเกรน

เมื่อกัดผิวชิ้นทดสอบด้วยกรดดังกล่าวแล้วจะนำชิ้นทดสอบไปล้างด้วยน้ำและตามด้วยแอลกอฮอล์และเป่าด้วยลมร้อนให้แห้งสนิท จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่สภาพต่างๆ ต่อไป ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์, กล้องจุลทรรศน์, กล้องถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์ที่ใช้ ประกอบด้วย

1. คอมพิวเตอร์

2. กล้องจุลทรรศน์
3. กล้องถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.16 ชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์

3.6.5 การตรวจสอบขนาดเกรน

หลังจากทำการถ่ายภาพลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่ผ่านการกัดด้วยสารละลายดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นในหัวข้อ 3.6.4 แล้วจึงนำภาพโครงสร้างจุลภาคที่ได้มาทำการวัดขนาดเกรนด้วยวิธี Linear Intercept หรือ Heyn ตามมาตรฐาน ASTM E 112 [14]

3.6.6 การวิเคราะห์ทดสอบระดับสีเงินผสม 14k ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น

การวิเคราะห์ทดสอบระดับสีของเงินผสม 14k นี้ มีจุดประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบแตกต่างของระดับสีของชิ้นทดสอบโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 กับโลหะเงินผสม 14k ที่ผสมทองแดง ทองแดง + สังกะสี และทองแดง + สังกะสี + ดีบุก เพื่อศึกษาอิทธิพลของธาตุผสมต่างๆ ดังที่ได้กล่าวข้างต้นที่มีผลต่อระดับสีของเงินผสม 14k โดยมีเป้าหมายหลักที่ต้องการให้โลหะเงินผสม 58.4% มีค่าระดับสีใกล้เคียงกับเงินสเตอร์ลิง มากที่สุด

การศึกษาวิจัยในโครงการนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ระบบการวัดค่าโลหะเงินผสมด้วยเครื่องวัดที่มีฟังก์ชันมาตรฐานของตามนุษย์ที่กำหนดโดยองค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศ CIE ที่ให้ค่าการวัดมีค่าที่แน่นอนสำหรับการวัดทุกๆ ครั้ง โดยทำการวัดด้วยเครื่องแคลอริมิเตอร์ (Colorimeter) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR300 ที่มีแหล่งกำเนิดแสงอยู่ในแบบ C ซึ่งเป็นระบบแสงคู่ทำให้เกิดแสงสว่างที่สม่ำเสมอไปตกกระทบวัตถุทุกๆ ครั้งของการวัดค่าระดับสี ที่สามารถคำนวณได้จากมาตรฐานแสงของ CIE ผลการวัดค่าระดับสีที่ได้สามารถแสดงผลการวัดเป็นตัวเลขที่แม่นยำในปริภูมิสี (Color Space) ระบบต่างๆ ทำให้สามารถสื่อสารค่าระดับสีได้อย่างถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 3.17 แสดงเครื่องมือและการวัดระดับสี

3.7 ดำเนินการทดลองหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับโลหะเงินผสม 58.4%

การดำเนินการทดลองหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับโลหะเงินผสม 58.4% นี้ ผู้วิจัยเลือกขึ้นงานหล่อขึ้นรูปที่มีลักษณะเป็นแหวนเกลี้ยงลักษณะดังรูปที่ 3.18 โดยโลหะเงินผสม 58.4% ที่ใช้ในการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ เป็นโลหะเงินผสมที่มีระดับสีใกล้เคียงกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 มากที่สุด เพื่อศึกษาสมบัติทางด้านการหล่อขึ้นรูป โดยทำการหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจริงจำนวน 20 วงต่อการหล่อ 1 ดัน และทำการหล่อจำนวน 5 ดันต่ออุณหภูมิโลหะที่ทำการเทหล่อ ซึ่งอุณหภูมิโลหะที่เทหล่อประกอบด้วย 980, 1000, 1020, 1040 และ 1060 °C (D)

สถานะในการหล่อขึ้นรูป

1. อุณหภูมิกระบอบปูนไฟรงแบบหล่อ 550 °C
2. อุณหภูมิโลหะเทหล่อ 1060 °C
3. ระยะเวลาพักกระบอบปูนไฟรงแบบหล่อ 20 นาที ก่อนทำการจุ่มล้างกระบอบปูน



รูปที่ 3.18 แสดงเครื่องประดับแหวนที่ได้จากการหล่อ

หลังจากการหล่อขึ้นรูป ชิ้นงานที่ได้จะถูกนำไปตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ตามด โพรงอากาศที่เกิดจากแก๊ส โพรงอากาศจากการหดตัวของเนื้อ โลหะ และฝ้าดำที่เกิดที่ผิวชิ้นงาน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหล่อขึ้นรูป

3.8 การวิเคราะห์รอยขีดข่วนบนผิวชิ้นงานตัวเรือนเครื่องประดับที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป

ชิ้นงานตัวเรือนเครื่องประดับที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป หลังจากผ่านการตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากขบวนการหล่อขึ้นรูป จะถูกนำไปขัดผิวเพื่อศึกษาวิเคราะห์คุณภาพพื้นผิวของชิ้นงาน ซึ่งการดำเนินการวิเคราะห์คุณภาพพื้นผิวนี้ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์จากรอยขีดข่วนบนตัวชิ้นงานโดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางด้าน Image Processing ช่วยในการวิเคราะห์



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้มุ่งทำการศึกษาคูสมบัติของโลหะเงินผสม 58.4% ที่มีองค์ประกอบเป็น เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn) ภายใต้ปริมาณโลหะเงินประมาณ 58.4% โดยเทียบกับเงิน 925 ผลจากการศึกษาดังกล่าวผู้วิจัยได้ใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนา ส่วนประกอบ ของโลหะเงิน เพื่อให้ได้คุณลักษณะเชิงความขาวเงาที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเงินในท้องตลาด โดยผู้วิจัยได้เลือกโลหะดีบุก (Sn) เป็นองค์ประกอบในการปรับความขาวเงา สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติของโลหะเงิน ผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition Analysis) การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Microstructure Analysis) การวิเคราะห์สี (Color Analysis) และการวิเคราะห์เชิงกล (Mechanical Analysis) เป็นพื้นฐานในการกำหนดความแตกต่างและ การพัฒนาชิ้นงาน

4.1 การศึกษาโลหะเงินผสม 58.4% ภายใต้ปริมาณโลหะเงินประมาณ 58.4%

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

ในการศึกษาโลหะเงินผสมที่ 58.4% ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดสัดส่วนการผสม (wt.%) สำหรับเป็นโมเดลในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ทางซ้าย หลังจากที่ได้ดำเนินการหลอมผสมโลหะต่างๆ ที่เป็นส่วนผสมสำหรับงานวิจัยแล้ว ทิ้งการหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ และหลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometer และ X-Ray Fluorescence เพื่อทำการศึกษารายละเอียดของเนื้อสารจริง จากการศึกษาวิเคราะห์ พบว่าส่วนผสมทางเคมีของเงิน 14k มีปริมาณของเงินที่มากกว่า 58.4% ที่กำหนดตามโมเดล โดยมีเปอร์เซ็นต์ความต่างที่ 1.05% (ปริมาณเงินประมาณ 58.95 ± 0.386 โดย wt.%) ซึ่งผู้วิจัย พบว่า ชิ้นทดสอบที่มีการผสมสังกะสีมีปริมาณสังกะสีลดลง ซึ่งเกิดจากการสูญเสียหรือสูญเสียไปในขณะทำการหล่อหลอม ส่งผลให้ปริมาณของธาตุอื่นๆ เพิ่มขึ้นดังผลที่แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป สำหรับ โลหะเงินผสม 58.4%

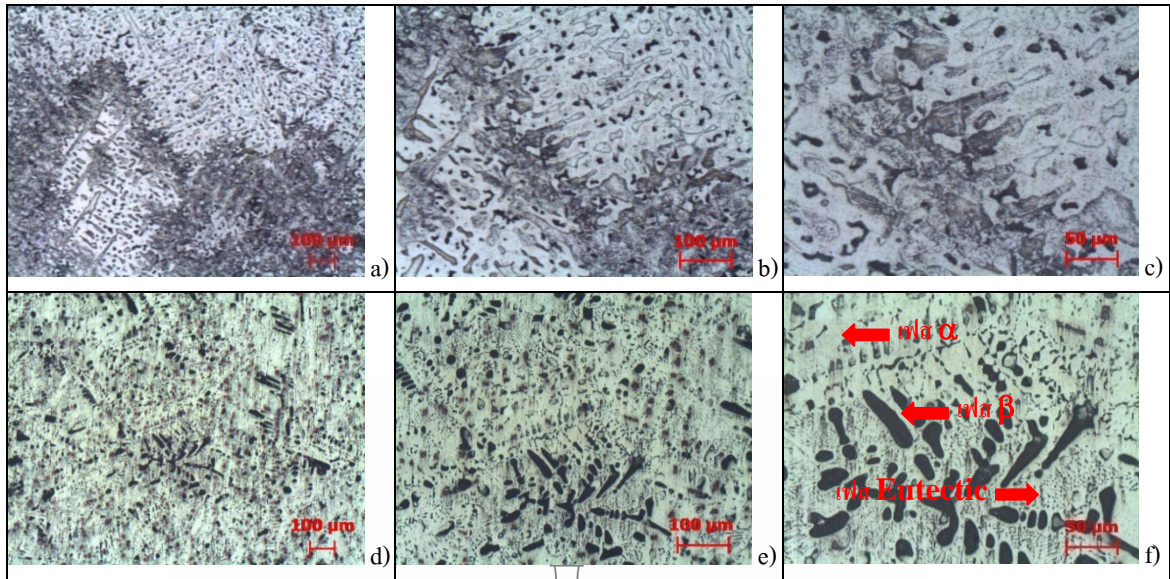
Sample	สัดส่วนการผสม (wt.%) ที่กำหนดในการทดลอง				ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบ (wt.%)			
	Ag	Cu	Zn	Sn	Ag	Cu	Zn	Sn
Ag1	92.5	7.5	-	-	93.71	6.3	-	-
Ag2	58.33	41.76	-	-	58.45	41.55	-	-
Ag3	58.33	37.5	4.17	-	58.67	39.2	2.14	-
Ag4	58.33	33.36	8.31	-	58.83	35.47	5.79	-
Ag5	58.33	29.19	12.48	-	58.93	31.57	9.57	-
Ag6	58.33	25.02	16.65	-	59.35	26.88	13.82	-
Ag7	58.33	20.85	20.82	-	59.44	22.17	18.45	-

4.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

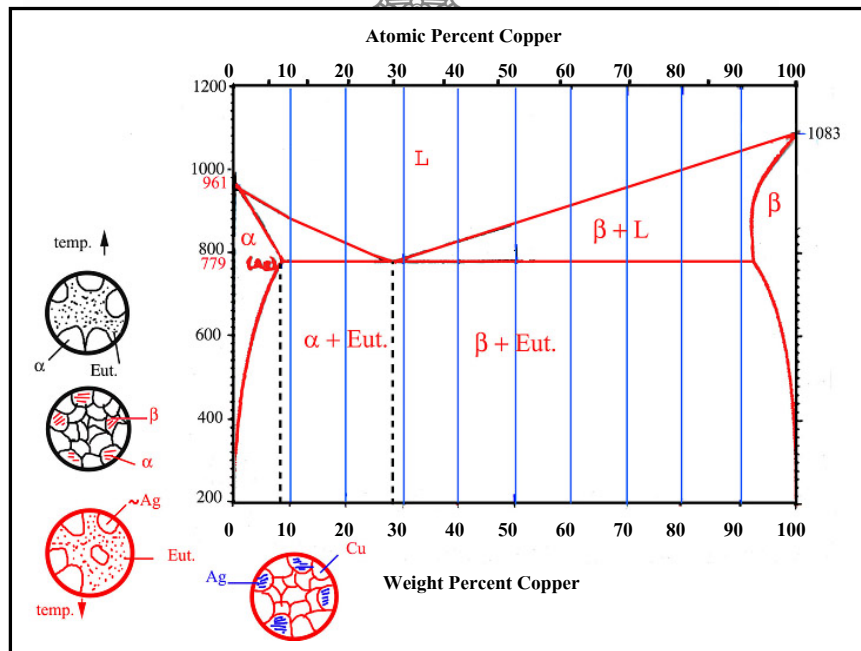
ก. โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 925 เปรียบเทียบกับโลหะเงินผสม 58.4% (Ag+Cu)

โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 925 ซึ่งประกอบด้วย 93.71 wt%Ag + 6.30 wt%Cu มีลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ (Dendrite Structure) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 a), b) และ c) ที่เกิดจากการที่โลหะผสมเย็นตัวเร็วกว่าสถานะสมดุลโดยมีลักษณะเป็นแกนผลึก (Core Structure) เกิดเป็น Coring ภายในเกรน ซึ่งส่งผลให้สมบัติทางกลมีค่าต่ำ และนอกจากนี้ขนาดเกรนที่ได้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ไม่สามารถวัดขนาดเกรนได้ และส่งผลให้สมบัติทางกลมีค่าต่ำเช่นกัน เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคเทียบกับแผนภาพสมดุลโลหะเงิน-ทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่า โลหะเงินผสม 93.71 wt%Ag + 6.30 wt%Cu ประกอบด้วยเฟสของแข็ง α -phase + Eutectic Phase

สำหรับในกรณีของโลหะเงินผสม 58.45 wt%Ag + 41.55 wt%Cu ซึ่งมีปริมาณการผสมของทองแดงมากเพิ่มขึ้นเป็น 41.55 wt%Cu มีผลทำให้โลหะผสมมีค่าสมบัติทางกลสูงขึ้น โครงสร้างจุลภาคที่ได้ พบว่าลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ที่เกิดจากการเย็นตัวเร็วกว่าสถานะสมดุลเช่นกัน และลักษณะของเกรนที่ได้มีขนาดใหญ่ไม่สามารถวัดขนาดเกรนได้ และนอกจากนี้การเย็นตัวของโลหะผสมที่เร็วกว่าสถานะสมดุล ส่งผลให้การกระจายตัวของเฟสต่างๆ ภายในไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคที่แสดงในรูปที่ (A) d), e) และ f) พบว่า ประกอบด้วย α -phase, β -phase และ Eutectic Phase ซึ่งมีลักษณะของเฟสที่สอดคล้องกับแผนภาพสมดุลโลหะเงิน-ทองแดง ที่แสดงในรูปที่ (B)



(A)

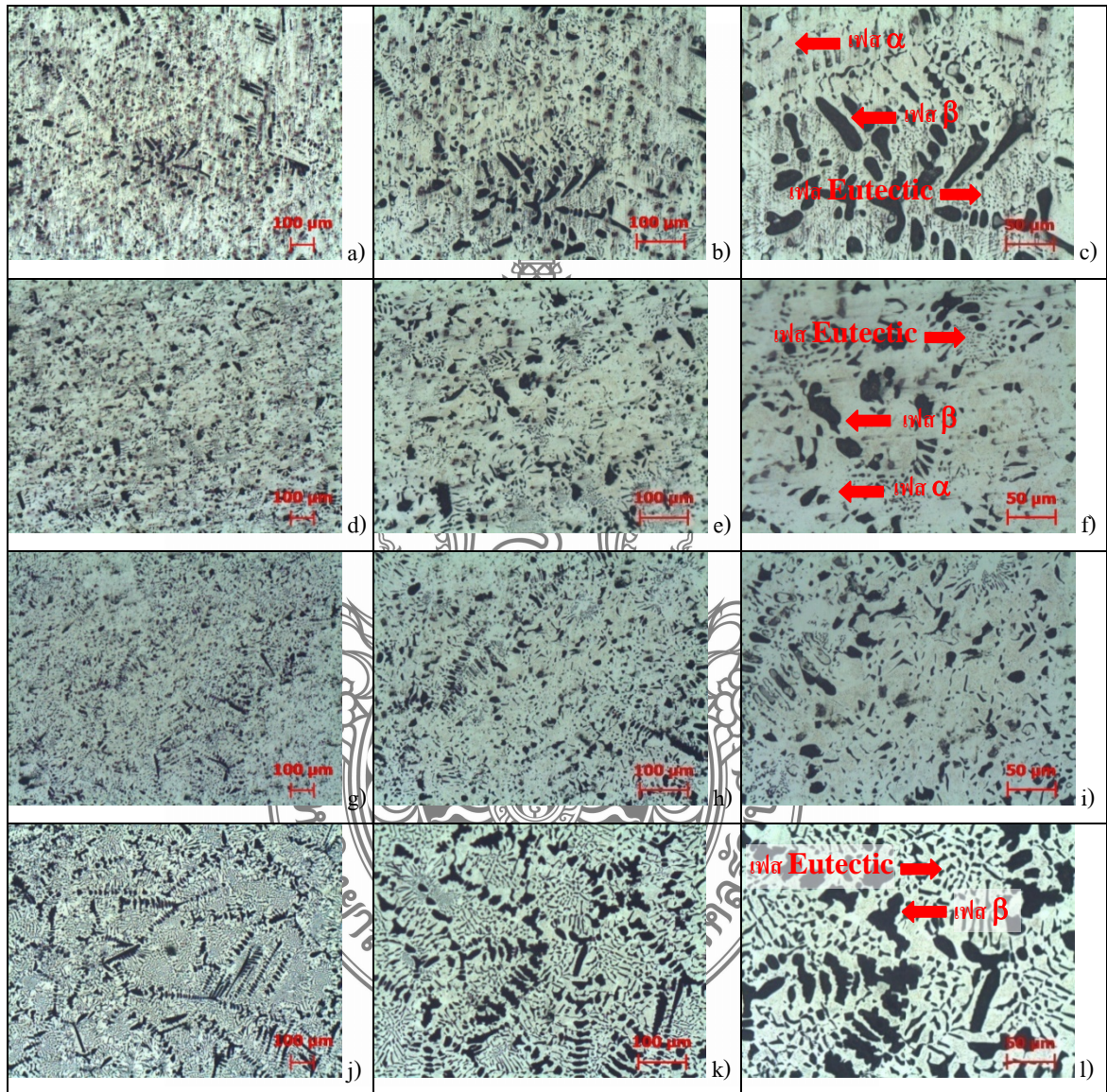


(B)

รูปที่ 4.1 (A) โครงสร้างจุลภาค a), b), c) ชิ้นทดสอบโลหะเงิน 93.71Ag + 6.30Cu และ d), e), f) โลหะเงินผสม 58.45Ag + 41.55Cu
(B) แผนภาพสมดุลโลหะเงิน-ทองแดง

ข. โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 925 เปรียบเทียบกับโลหะเงินผสม 58.4% (Ag+Cu+Zn)

จากลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่แสดงในรูปที่ 4.2 เป็นลักษณะโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินผสม 58.4% ที่มีส่วนผสมของเงิน-ทองแดง เปรียบเทียบกับ เงิน-ทองแดง-สังกะสี พบว่าปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้โครงสร้างจุลภาคที่ได้มีแนวโน้มของเกรนเล็กลง ซึ่งอาจเกิดจาก



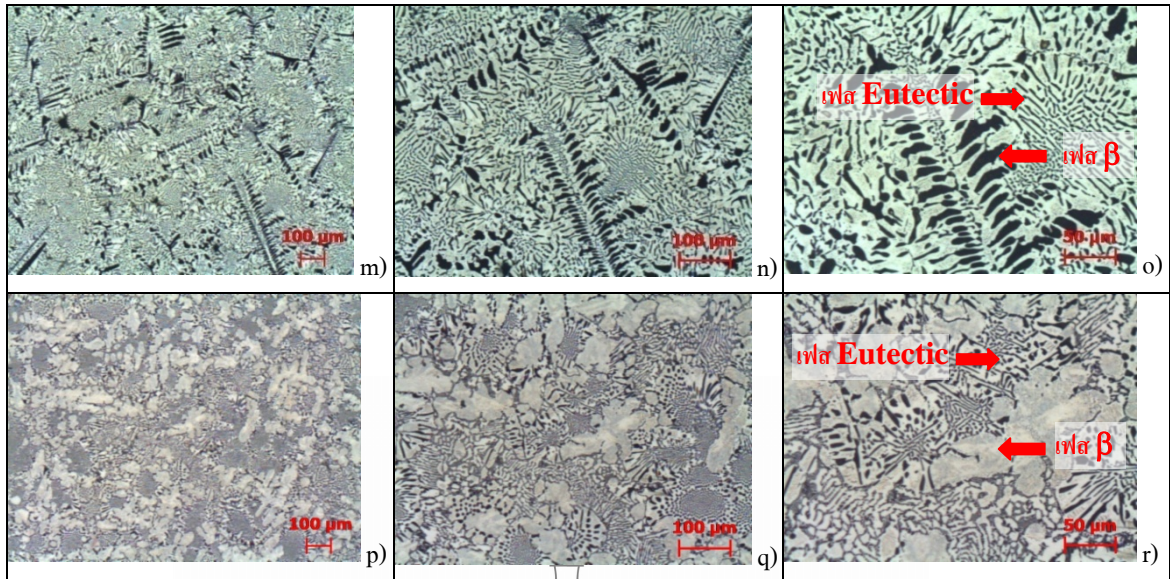
รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาค

a), b), c) โลหะเงินผสม 58.4% 58.45Ag + 41.55Cu

d), e), f) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.67Ag + 39.20Cu + 2.14Zn

g), h), i) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.83Ag + 35.47Cu + 5.79Zn

j), k), l) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.93Ag + 31.57Cu + 9.57Zn



รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาค (ต่อ)

m), n), o) โลหะเงินผสม 58.4% - 59.35Ag + 26.88Cu + 13.82Zn

p), q), r) โลหะเงินผสม 58.4% - 59.44Ag + 22.17Cu + 18.45Zn

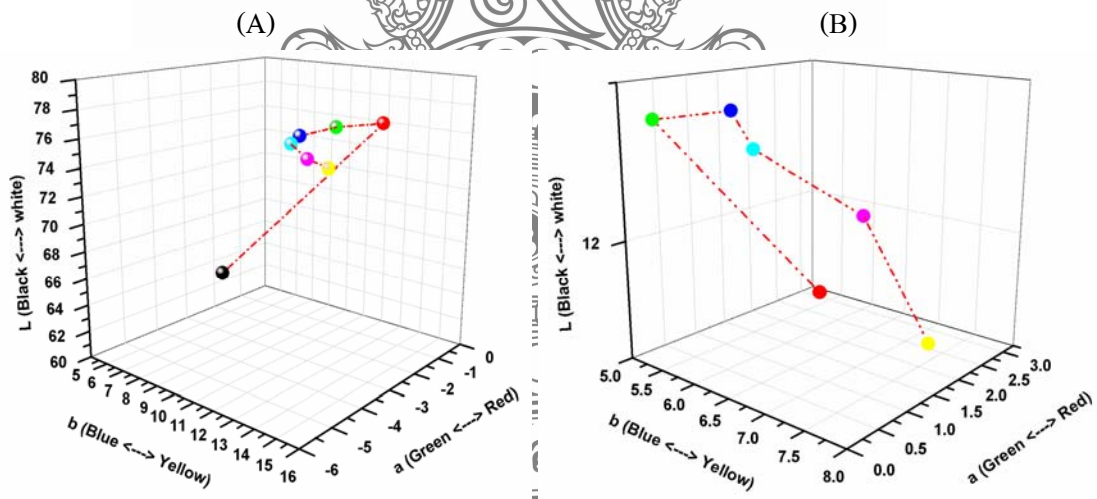
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ทดสอบค่าระดับสี

หลังจากทำการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลและศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบกลุ่มต่างๆ ตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงของธาตุต่างๆ ที่เป็นส่วนผสมแล้ว ผู้วิจัยได้นำชิ้นทดสอบไปทำการวัดวิเคราะห์ค่าระดับสีโดยใช้คิปรูมิเตอร์ระบบ CIELAB และนำค่าที่ได้จากการวัดวิเคราะห์ทดสอบมาคำนวณหาค่า ΔE เพื่อใช้อธิบายความแตกต่างของระดับสีตามทฤษฎีที่ใช้สำหรับการวัดค่าระดับความแตกต่างของสีของค่าที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2.3 และ 2.2.4 ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 โดยค่า ΔE ของชิ้นทดสอบที่มีค่าค่อนข้างสูงและไม่อาจเปรียบเทียบกับความเป็นจริงได้ เนื่องจากชิ้นทดสอบที่มีส่วนผสมของทองแดงเพียงอย่างเดียวมีค่าความแตกต่างจากชิ้นทดสอบที่เป็นโลหะเงิน 925 น้อยที่สุด ดังตัวอย่างการคำนวณในตารางที่ 4.2 ซึ่งชิ้นทดสอบ 58.45Ag + 41.55Cu มีค่า $\Delta E = 12.844$ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด และผลการทดสอบที่ได้ค้ำกับการมองเห็นด้วยสายตาของผู้ทดสอบ ดังนั้นแสดงว่าทฤษฎีการวัดความแตกต่างของระดับสีของค่าไม่สามารถนำมาใช้สำหรับการวัดความแตกต่างของระดับสีโลหะเงินผสมได้ และผลการวิเคราะห์ทดสอบค่าระดับสีที่ได้ยังมีความสอดคล้องกันทุกกลุ่มตัวอย่างชิ้นทดสอบ ดังผลการทดสอบที่แสดงในตารางที่ 4.2 และค่าการกระจายของสีของชิ้นทดสอบที่แสดงในรูปที่ 4.3 จากความผิดพลาดหรือความไม่สอดคล้องกับทฤษฎีการวัดสีของค่าที่เกิดขึ้น ผู้วิจัย จึงเปลี่ยนมาใช้วิธีการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า Δa แทน เนื่องจาก ค่า a เป็นค่าที่บอกความเป็นสีแดงและสีเขียวของชิ้นทดสอบ โดย a = 100 คือสีแดงเข้ม และ

Δa

ตารางที่ 4.2 ค่าปริภูมิสีของซันทอดสอบในกลุ่ม Ag+Cu และ Ag+Cu+Zn

ซันทอดสอบ\ ค่าปริภูมิสี CIELAB	L	a	B	ΔL	Δa	Δb	ΔE
93.71Ag + 6.30Cu	65.146	-3.236	7.708	-	-	-	-
58.45Ag + 41.55Cu	76.426	-0.392	13.152	11.28	2.844	5.444	12.844
58.67Ag + 39.20Cu + 2.14Zn	77.92	-3	12.976	12.774	0.236	5.268	13.82
58.83Ag + 35.47Cu + 5.79Zn	77.956	-4.208	13.412	12.81	0.972	5.704	14.056
58.93Ag + 31.57Cu + 9.57Zn	77.658	-4.711	13.27	12.512	1.474	5.562	13.772
59.35Ag + 26.88Cu + 13.82Zn	77.27	-5.232	14.438	12.124	1.996	6.73	14.01
59.44Ag + 22.17Cu + 18.45Zn	76.544	-5.16	15.37	11.398	1.924	7.662	13.868



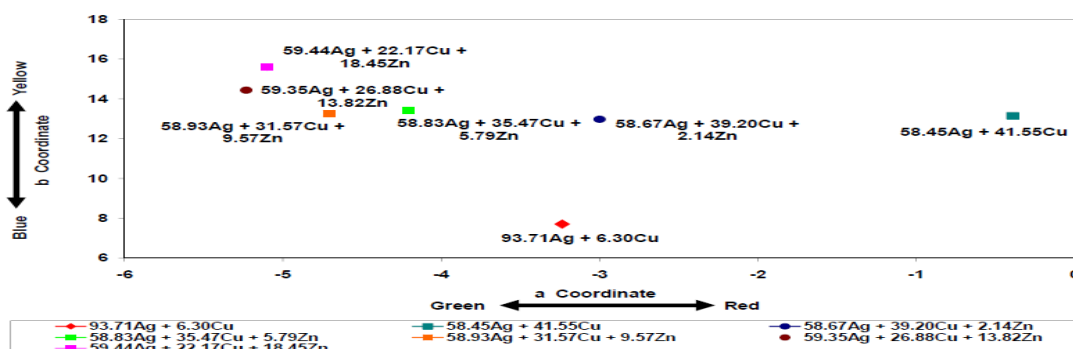
รูปที่ 4.3 (A) ค่าปริภูมิสีในสามมิติที่ได้จากการวัดของซันทอดสอบในกลุ่ม

Ag+Cu และ Ag+Cu+Zn

(B) แสดงค่าปริภูมิสีในสามมิติที่ได้จากการเปรียบเทียบจาก เสินสเตอร์ลิง 925

ของซันทอดสอบในกลุ่ม Ag+Cu และ Ag+Cu+Zn

(C)



รูปที่ 4.3 (C) ค่าการกระจายปริภูมิสีของชิ้นทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu และ Ag+Cu+Zn (ต่อ)

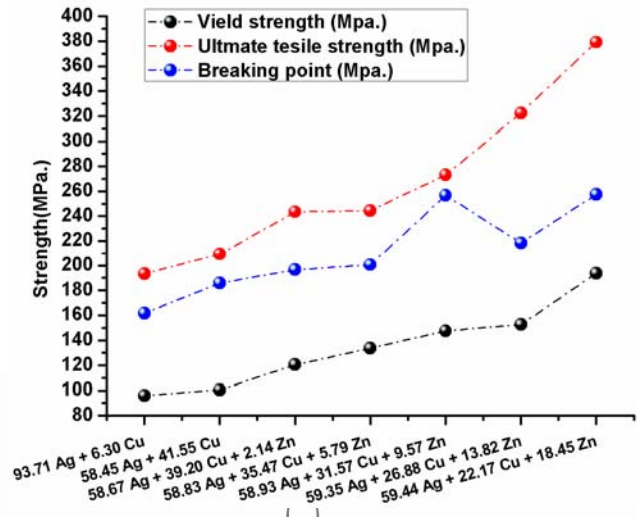
4.1.4 ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกล

ก. ชิ้นทดสอบโลหะเงินสเตอร์ลิง 925(Ag+Cu) และโลหะเงินผสม 58.4% (Ag+Cu, Ag+Cu+Zn)

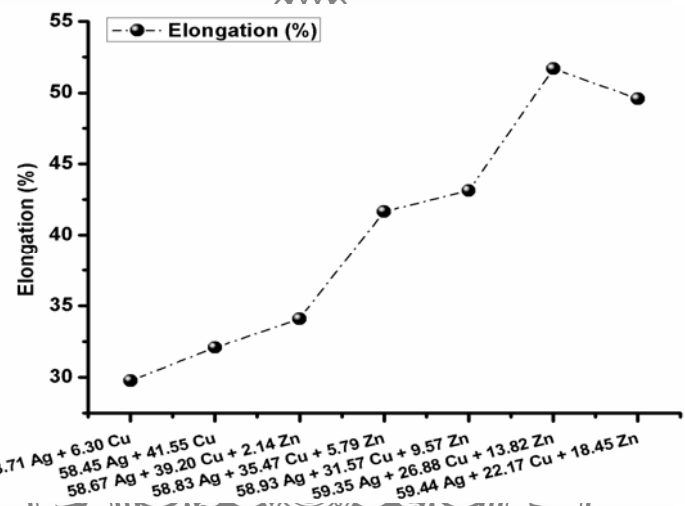
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 และโลหะเงินผสม 58.4% (Ag+Cu, Ag+Cu+Zn) พบว่า ชิ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.4% ทั้งหมดมีค่า Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, Breaking Point, Elongation และ Hardness สูงกว่าโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 ซึ่งเกิดจากธาตุต่างๆ ที่ผสมเข้าไปดังรายละเอียดส่วนผสมและค่าผลการทดสอบต่างๆ ของสมบัติทางกลที่แสดงในตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925(Ag+Cu) และโลหะเงินผสม 14k (Ag+Cu, Ag+Cu+Zn)

อัตราส่วนผสม	Yield strength (MPa.)	Ultimate tensile strength (MPa.)	Breaking point (MPa.)	Elongation (%)	Hardness (HV1)
93.71Ag + 6.30Cu	96	193.5	161.75	29.78	52.82
58.45Ag + 41.55Cu	100.63	209.25	186	32.1	54.6
58.67Ag + 39.20Cu + 2.14Zn	120.5	243.5	196.5	34.1	54.44
58.83Ag + 35.47Cu + 5.79Zn	133.67	244.33	200.67	41.67	57.92
58.93Ag + 31.57Cu + 9.57Zn	147.6	273.2	256.8	43.14	76.82
59.35Ag + 26.88Cu + 13.82Zn	152.5	322.5	218.5	51.7	81.06
59.44Ag + 22.17Cu + 18.45Zn	193.75	379.25	257.5	49.58	95.3

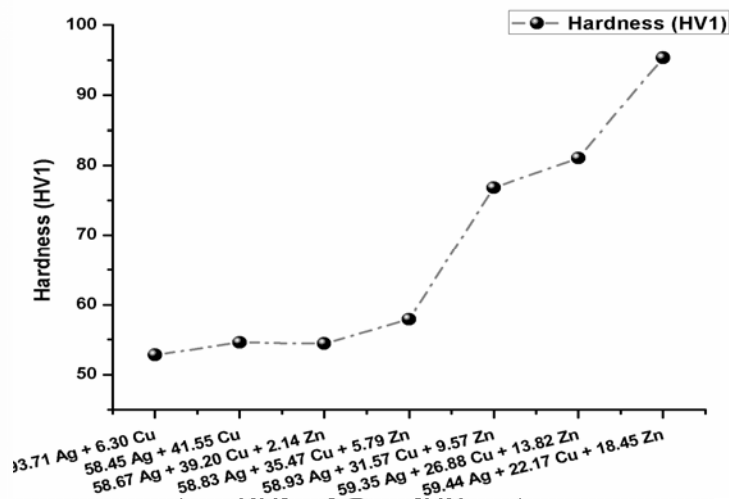


รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 (Ag+Cu) และโลหะเงิน จากตารางที่ 4.3 ภายใต้ส่วนผสม 14k (Ag+Cu, Ag+Cu+Zn) ที่ให้ค่าเป็น(Mpa.)



รูปที่ 4.5. (B) ผลการวิเคราะห์ ทดสอบสมบัติทางกลของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925(Ag+Cu) และโลหะเงิน จากตารางที่ 4.3 ภายใต้ส่วนผสม 14k (Ag+Cu, Ag+Cu+Zn) ที่ให้ค่าเป็น Elongation (%)

เมื่อวิเคราะห์เฉพาะในส่วนของโลหะเงินผสม 58.4% พบว่า ปริมาณทองแดงที่ลดลงและปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, Breaking Point, Elongation และ Hardness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของทองแดงและสังกะสีที่ผสมเข้าด้วยกันในลักษณะสารละลายของแข็งคล้ายๆ กับการผสมเข้าด้วยกันของทองแดงและสังกะสีที่อยู่ในรูปของทองเหลือง โดยขึ้นทดสอบ 59.44Ag + 22.17Cu + 18.45Zn มีค่า Yield Strength มีค่าสูงสุดเท่ากับ 193.75MPa Ultimate Tensile Strength มีค่าสูงสุดเท่ากับ 379.25 MPa



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบสมบัติทางกลของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925(Ag+Cu) และโลหะเงินผสม 58.4% (Ag+Cu, Ag+Cu+Zn)

4.2 การปรับความขาวสว่าง ด้วยการพัฒนาองค์ประกอบของโลหะเงินผสม 58.4% ด้วยดีบุก (Sn)

หลังจากที่ได้ทำการทดลองผสมทองแดงและสังกะสีเข้าไปในโลหะเงินผสม 58.4% ในขั้นแรกแล้ว ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะผสมดีบุก (Sn) เข้าไปเพื่อทำหน้าที่เป็นธาตุเจอร์รองตัวที่สอง ซึ่งมีการผสมน้อยๆ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และค่าระดับสี โดยมีปริมาณการผสมในอัตรา 0.5% และ 1% เท่านั้น

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

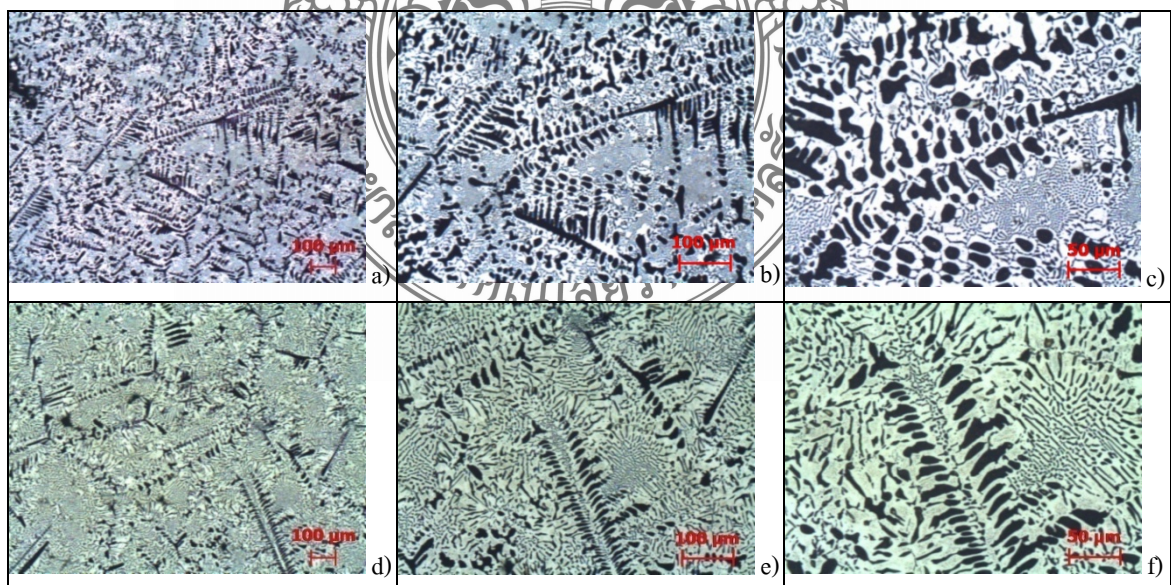
ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำชิ้นทดสอบที่ได้จากการการหล่อขึ้นรูป สำหรับโลหะเงินผสม 58.4% ที่มีปริมาณดีบุกเป็นองค์ประกอบ ไปทำการวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบด้วยเทคนิค Atomic absorption spectrometer และ x-ray fluorescence ดังแสดงตามตารางที่ 4.4 จากผลการทดสอบพบว่า ปริมาณดีบุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสังกะสีมากขึ้น ภายได้ wt.% ของเงินที่ 58.7 ± 0.38 สำหรับกรณี ดีบุก 0.5% และ 58.9 ± 0.56 สำหรับกรณี ดีบุก 1% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป สำหรับ โลหะเงินผสม 58.4% โดยมีปริมาณการผสมดีบุก (Sn) ในอัตรา 0.5% และ 1%

Sample	สัดส่วนการผสม (wt.%) ที่กำหนดในการทดลอง				ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบ (wt.%)			
	Ag	Cu	Zn	Sn	Ag	Cu	Zn	Sn
AgII-1	58.33	41.17	-	0.5	58.4	40.99	-	0.68
AgII-2	58.33	37	4.17	0.5	58.49	37.54	2.64	1.39
AgII-3	58.33	32.86	8.31	0.5	58.45	33.91	6.26	1.42
AgII-4	58.33	28.69	12.48	0.5	58.74	28.75	11.08	1.45
AgII-5	58.33	24.52	16.65	0.5	59.41	24.77	14.43	1.46
AgII-6	58.33	20.35	20.82	0.5	58.75	21.67	18.16	1.47
AgII-7	58.33	40.67	-	1	58.36	40.09	-	1.6
AgII-8	58.33	36.5	4.17	1	58.72	37.34	2.27	1.73
AgII-9	58.33	32.36	8.31	1	58.9	33.61	5.82	1.74
AgII-10	58.33	28.19	12.48	1	58.76	29.12	10.3	1.91
AgII-11	58.33	24.02	16.65	1	58.87	25.1	14.11	1.93
AgII-12	58.33	19.85	20.82	1	60.01	20.99	17	2.08

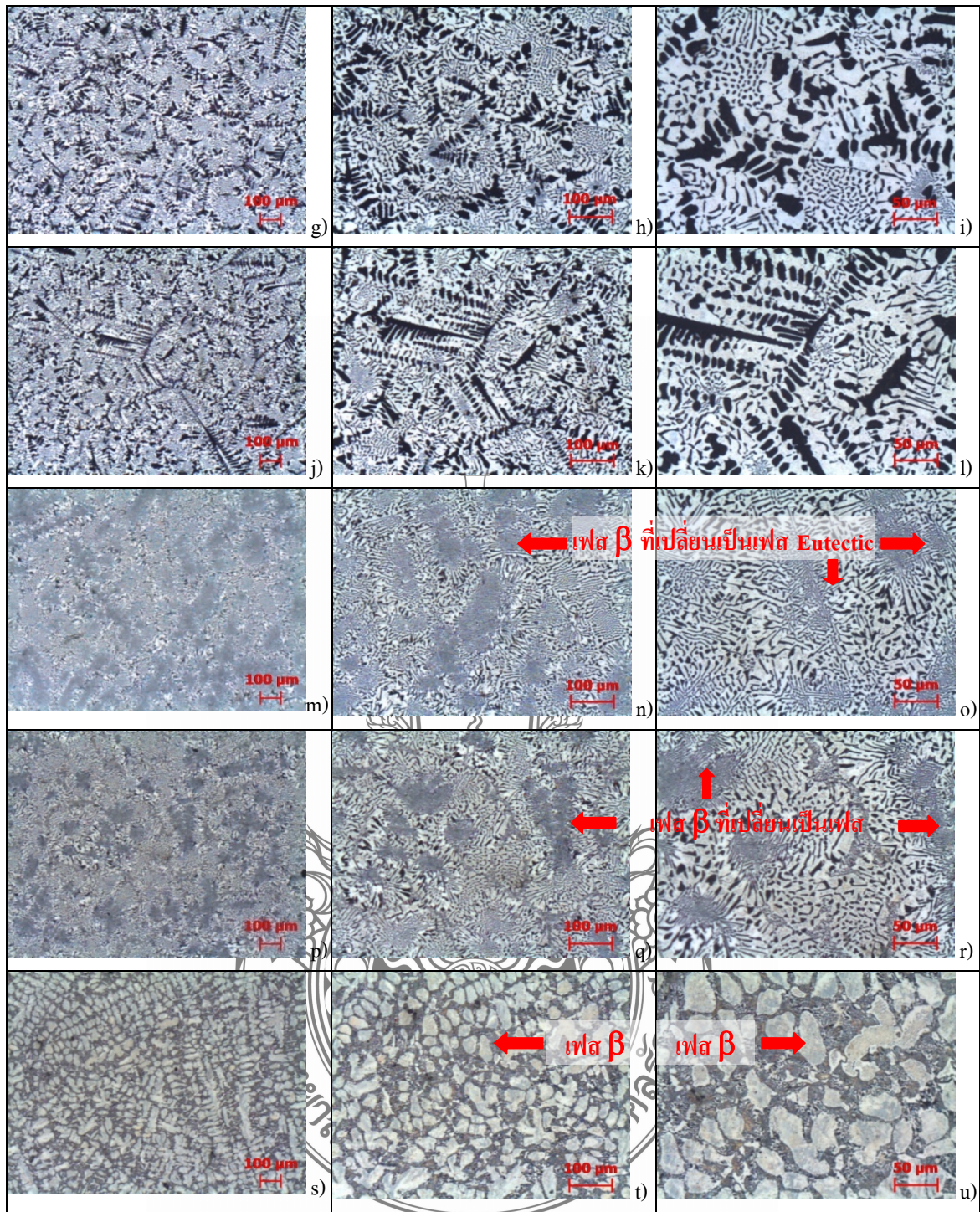
4.2.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

ก. โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 925 เปรียบเทียบกับ โลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสม $Ag+Cu+Zn+0.5\%Sn$)



รูปที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาค a), b), c) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.40Ag + 40.99Cu + 0.68Sn

d), e), f) โลหะเงินผสม 58.4% - 59.35Ag + 26.88Cu + 13.82Zn



รูปที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาค (ต่อ)

g), h), i) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.49Ag + 37.54Cu + 2.64Zn + 1.39Sn

j), k), l) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.45Ag + 33.91Cu + 6.26Zn + 1.42Sn

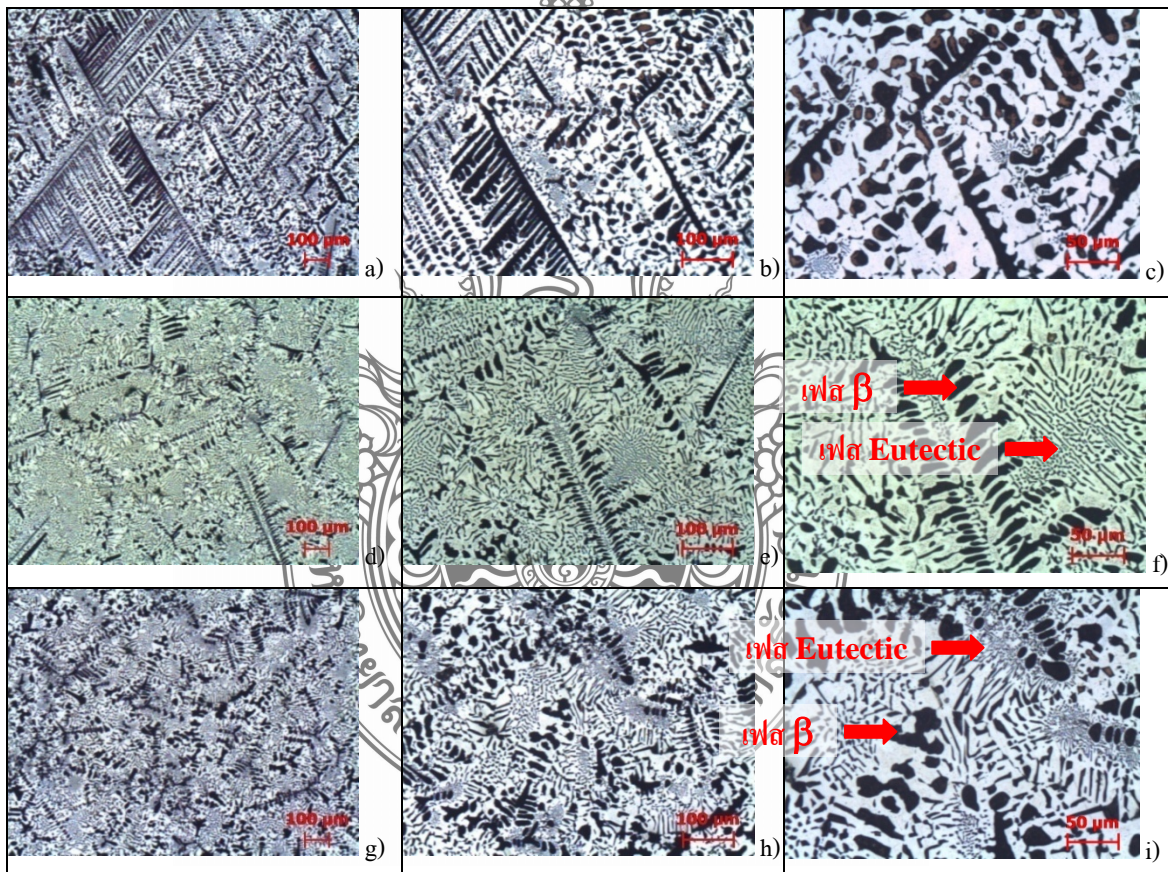
m), n), o) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.74Ag + 28.75Cu + 11.08Zn + 1.45Sn

p), q), r) โลหะเงินผสม 58.4% - 59.41Ag + 24.77Cu + 14.43Zn + 1.46Sn

s), t), u) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.75Ag + 21.67Cu + 18.16Zn + 1.47Sn

จากรูปที่ 4.7 เมื่อมีการผสมดีบุกเข้าไปในโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสม Ag+Cu+Zn+0.5%Sn) ด้วยปริมาณ 0.5 wt% โดยการลดปริมาณทองแดงลง 0.5 wt% (ปริมาณการผสมก่อนทำการหล่อหลอม) พบว่าปริมาณดีบุกที่ผสมเข้าไปมีผลทำให้การกระจายตัวของเฟส Eutectic Phase มีความสม่ำเสมอมากขึ้น แต่ถ้าวิเคราะห์จากปริมาณดีบุกที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น พบว่า บริเวณที่มีโครงสร้างเป็น β -phase เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก β phase ที่มีขนาดใหญ่เป็นโครงสร้าง Eutectic Phase ที่มี α -phase และ β -phase ขนาดเล็กและละเอียดอยู่ภายใน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 o) และ r) ซึ่งมีปริมาณสังกะสีไม่เกิน 14.43 wt% แต่ถ้าปริมาณสังกะสีสูงกว่า 18.16 wt% จะมีผลทำให้ β -phase ที่ได้มีขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 p), q) และ r)

ข. โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 925 เปรียบเทียบกับโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสม Ag+Cu+Zn+1%Sn)

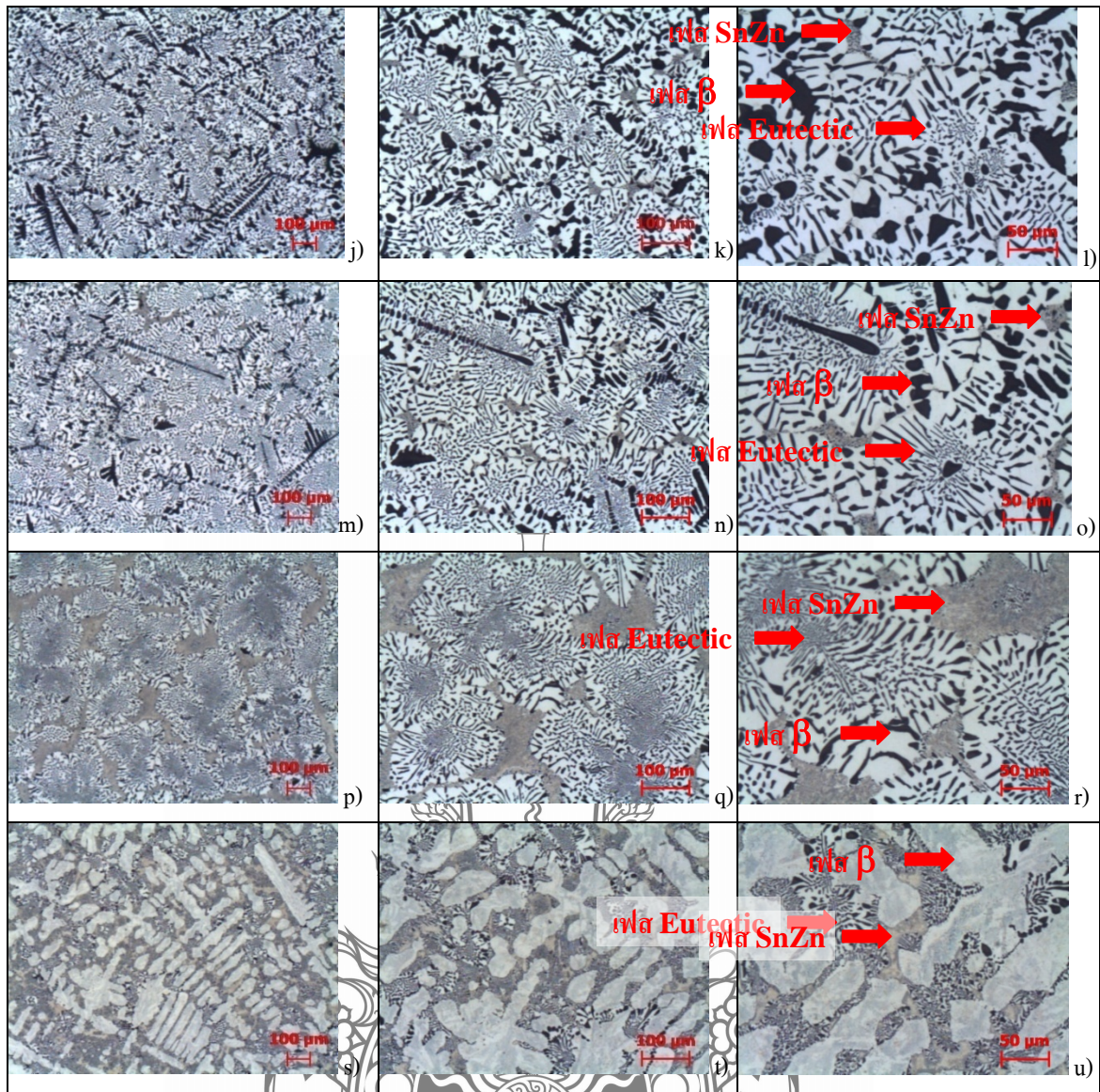


รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาค

a), b), c) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.36Ag + 40.09Cu + 1.60Sn

d), e), f) โลหะเงินผสม 58.4% - 59.35Ag + 26.88Cu + 13.82Zn

g), h), i) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.72Ag + 37.34Cu + 2.27Zn + 1.73Sn



รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาค (ต่อ)

j), k), l) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.90Ag + 23.61Cu + 5.82Zn + 1.74Sn

m), n), o) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.76Ag + 29.12Cu + 10.30Zn + 1.91Sn

p), q), r) โลหะเงินผสม 58.4% - 58.87Ag + 25.10Cu + 14.11Zn + 1.93Sn

s), t), u) โลหะเงินผสม 58.4% - 60.01Ag + 20.99Cu + 17.00Zn + 2.08Sn

จากรูปที่ 4.8 เมื่อมีการผสมดีบุกเข้าไปในโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสม Ag+Cu+Zn+1%Sn) ด้วยปริมาณ 1 wt% โดยการลดปริมาณทองแดงลง 1 wt% (ปริมาณการผสมก่อนทำการหล่อหลอม) พบว่าปริมาณดีบุกที่ผสมเข้าไปมีผลทำให้การกระจายตัวของเฟส Eutectic Phase มีความสม่ำเสมอมากขึ้น แต่ถ้าวิเคราะห์จากปริมาณดีบุกที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น พบว่า บริเวณที่มีโครงสร้างเป็น β -phase เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก β phase ที่มีขนาดใหญ่

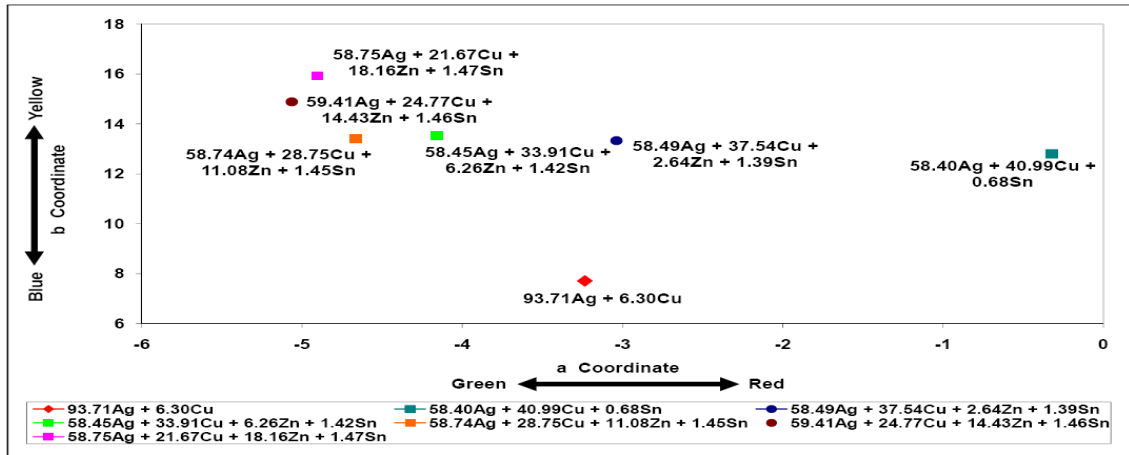
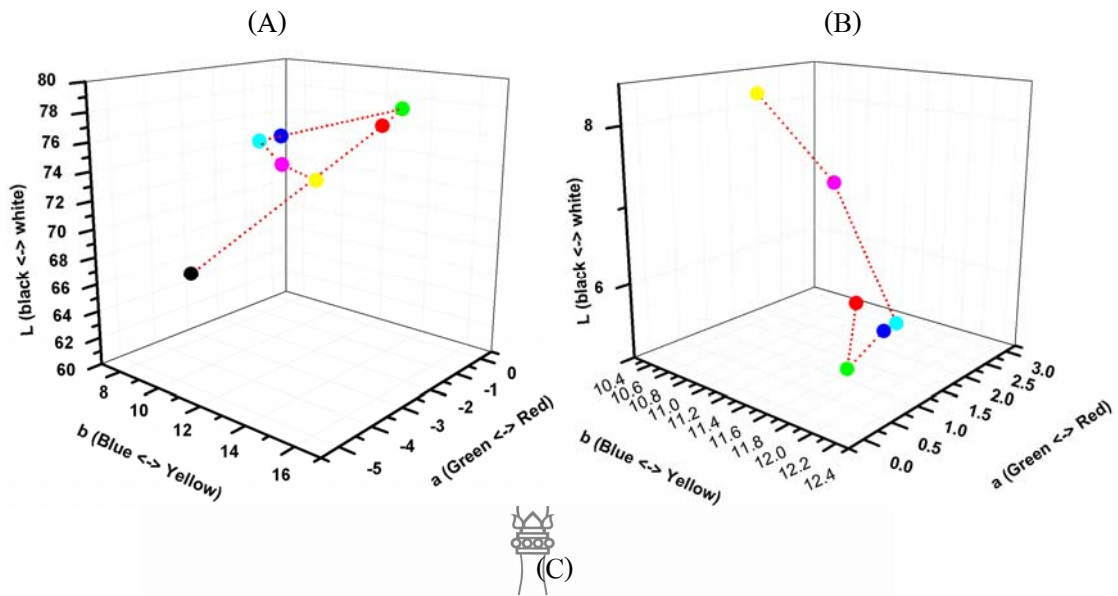
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ทดสอบค่าระดับสี

เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ของการทดสอบค่าระดับสีที่ได้จากกรณีศึกษา เมื่อ คีบูกมี ปริมาณการผสมในอัตรา 0.5% และ 1% พบว่ายังมีค่าความสอดคล้องกันทุกกลุ่มตัวอย่างชั้นทดสอบ ดัง ผลการทดสอบที่แสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 โดยมีค่าของ การกระจายของสีของชั้นทดสอบแสดง ในรูปที่ 4.9 และ 4.10 เมื่อ พิจารณาความแตกต่างของค่า Δa และค่าความสว่าง L จะพบว่า ชั้น ทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu+Zn+Sn (ที่ผสม 0.5%Sn) โดยเฉพาะชั้นทดสอบ 58.49Ag + 37.54Cu + 2.64Zn + 1.39Sn ให้ค่าความแตกต่างของระดับสีน้อยที่สุด มีค่า L = 77.414 และค่า $\Delta a = 0.198$ สำหรับชั้นทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu+Zn+Sn (ที่ผสม 1%Sn) พบว่า ชั้นทดสอบ 58.72Ag + 37.34Cu + 2.27Zn + 1.73Sn ให้ค่าความแตกต่างของระดับสีน้อยที่สุด มีค่า L = 77.168 และค่า $\Delta a = 0.302$

ดังนั้นจากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า ชั้นทดสอบ 58.49Ag + 37.54Cu + 2.64Zn + 1.39Sn ให้ค่าความแตกต่างของระดับสีน้อยที่สุด L = 77.414 และค่า $\Delta a = 0.198$ จึงเป็นส่วนผสมที่ เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้ผลิตเครื่องประดับโลหะเงินผสม 58.4%

ตารางที่ 4.5 ค่าปริภูมิสีของชั้นทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 0.5%Sn

ชั้นทดสอบ\ ค่าปริภูมิสี	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
CIELAB							
93.71Ag + 6.30Cu	65.146	-3.236	-7.708	-	-	-	-
58.40Ag + 40.99Cu + 0.68Sn	76.204	-0.322	12.808	11.058	2.914	5.1	12.521
58.49Ag + 37.54Cu + 2.64Zn + 1.39Sn	77.414	-3.038	13.33	12.27	0.198	5.622	13.5
58.45Ag + 33.91Cu + 6.26Zn + 1.42Sn	77.382	-4.16	13.53	12.236	0.924	5.822	13.582
58.74Ag + 28.75Cu + 11.08Zn + 1.45Sn	77.27	-4.664	13.416	12.124	1.428	5.708	13.476
59.41Ag + 24.77Cu + 14.43Zn + 1.46Sn	76.484	-5.064	14.89	11.338	1.828	7.182	13.545
58.75Ag + 21.67Cu + 18.16Zn + 1.47Sn	75.776	-4.904	15.934	10.63	1.668	8.226	13.544



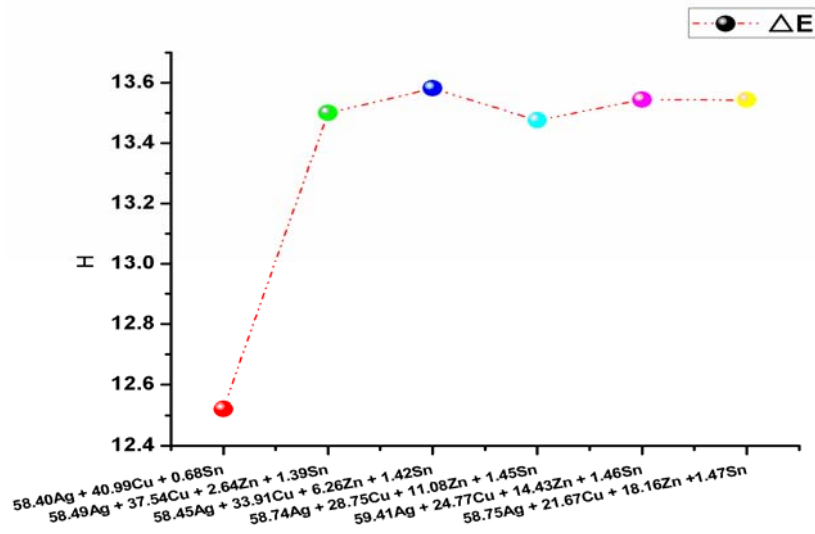
รูปที่ 4.9 (A) ผลการคำนวณสีในสามมิติ เป็นค่าที่ได้จากการวัด ของชิ้นทดสอบ

Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 0.5% Sn จากตารางที่ 4.5

(B) ผลการคำนวณสีในสามมิติค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบจาก เงินสเตอร์ลิง 925 ของชิ้นทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 0.5%Sn จากตารางที่ 4.5

(C) ค่าการกระจายปริภูมิสีของชิ้นทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu+Zn+Sn ในสองมิติตาม แกนพิกัดและ b (สำหรับกรณีที่มีการผสม 0.5%Sn)

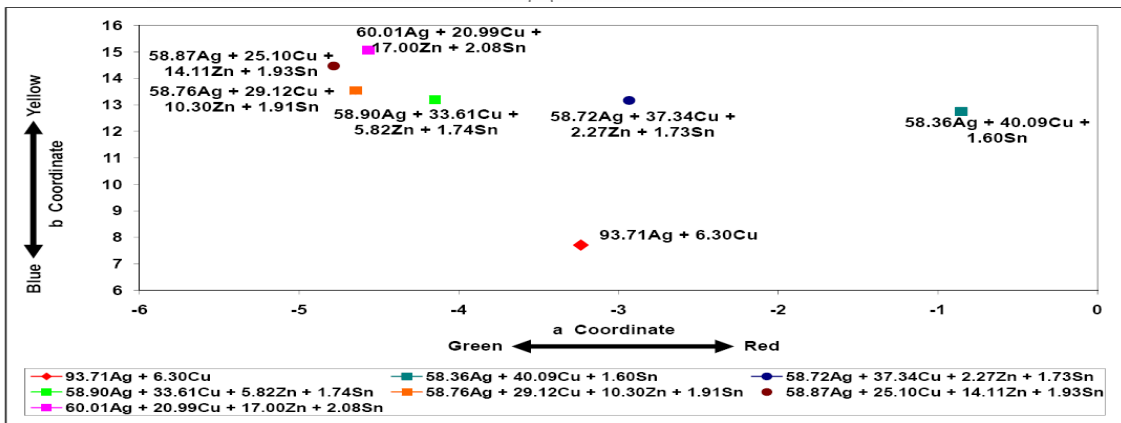
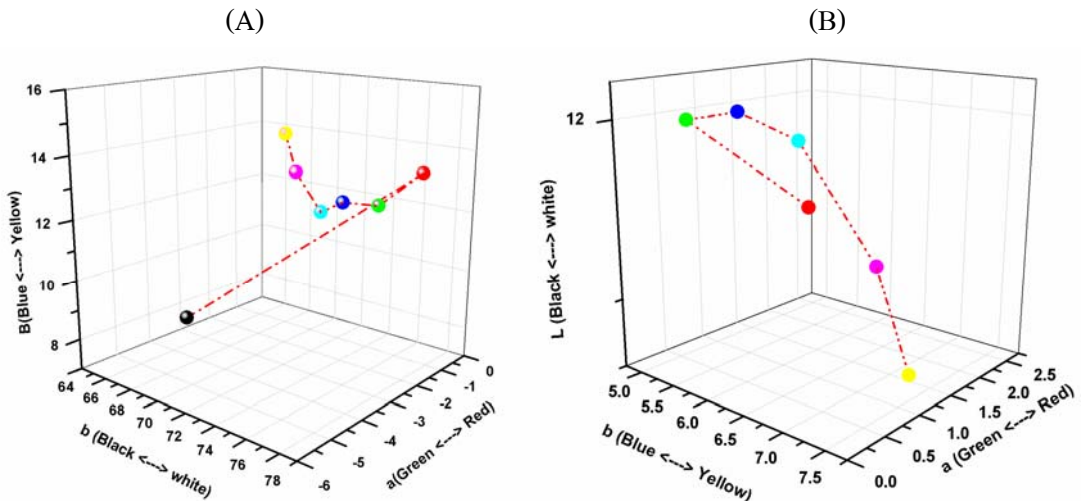
(D)



รูปที่ 4.9 (D) ค่าระดับพลังงานของสี ที่ได้จากการเปรียบเทียบจาก เงินสเตอร์ลิง 925 ของจีน ทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 0.5%Sn จากตารางที่ 4.5 (ต่อ)

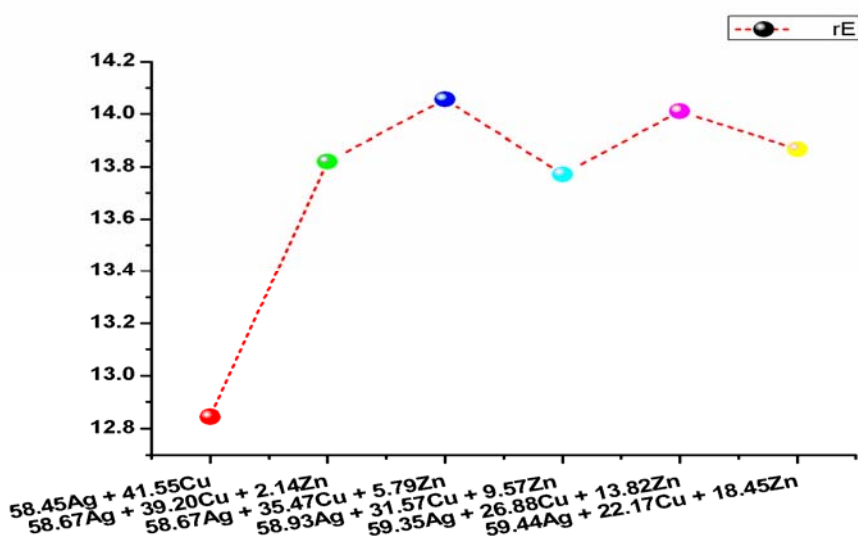
ตารางที่ 4.6 ค่าปริภูมิสีของจีนทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 1%Sn

จีนทดสอบ ค่าปริภูมิสี CIELAB	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
93.71Ag + 6.30Cu	65.146	-3.236	7.708	-	-	-	-
58.36Ag + 40.09Cu + 1.66Sn	76.43	-0.854	12.756	11.284	2.382	5.048	12.589
58.72Ag + 37.34Cu + 2.27Zn + 1.73Sn	77.17	-2.934	13.17	12.02	0.302	5.464	13.21
58.90Ag + 33.61Cu + 5.82Zn + 1.74Sn	77.168	-4.15	13.202	12.022	0.914	5.494	13.249
58.76Ag + 29.12Cu + 10.30Zn + 1.91Sn	76.99	-4.646	13.342	11.844	1.41	5.834	13.278
58.87Ag + 25.10Cu + 14.11Zn + 1.93Sn	76.344	-4.784	14.472	11.198	1.548	6.764	13.174
60.01Ag + 20.99Cu + 17.00Zn + 2.08Sn	75.836	-4.568	15.076	10.69	1.332	7.368	13.051



รูปที่ 4.10 (A) ผลการคำนวณสีในสามมิติ เป็นค่าที่ได้จากการวัด ของชิ้นทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 1% Sn จากตารางที่ 4.6
 (B) แสดงผลการคำนวณสีในสามมิติค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบจาก เงินสเตอร์ลิง 925 ของชิ้นทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 1% Sn จากตารางที่ 4.6
 (C) แสดงค่าการกระจายปริภูมิสีของชิ้นทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu+Zn+Sn ในสองมิติตามแกนพิกัด a และ b (สำหรับกรณีที่มีการผสม 1% Sn)

(D)



รูปที่ 4.10 (D) ค่าระดับพลังงานของสปี ที่ได้จากผลการเปรียบเทียบจาก เงินสเตอร์ลิง 925 ของจีน ทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 1%Sn จากตารางที่ 4.6 (ต่อ)

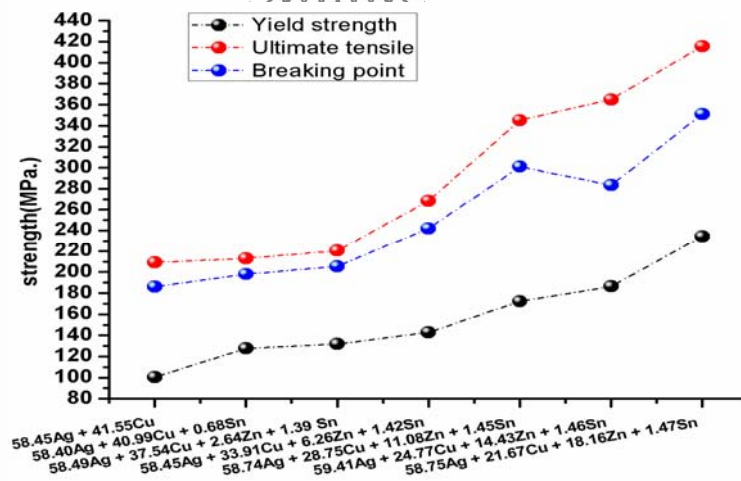
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกล

ก. ชิ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสม Ag+Cu+Zn+0.5%Sn)

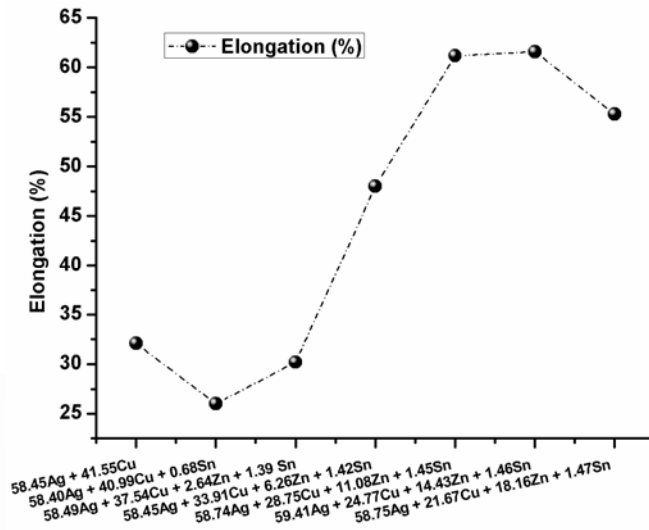
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบโลหะเงินผสม 58.4% ที่ผสมทองแดงเพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับการผสมดีบุกที่ทำหน้าที่เป็นธาตุเจือรอง พบว่า ปริมาณดีบุกที่ผสมเข้าไปเล็กน้อยเพียง 0.68% มีผลทำให้ค่า Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, Breaking Point และ Hardness เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ยกเว้นค่า Elongation เท่านั้นที่มีค่าลดลง ดังรายละเอียดผลการทดสอบที่แสดงในตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 และเมื่อมีการผสมสังกะสีเข้าไปมีผลทำให้สมบัติทางกลต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเช่นกันเมื่อวิเคราะห์เฉพาะในส่วนองปริมาณทองแดงที่ลดลงและปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, Breaking Point, Elongation และ Hardness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของทองแดงและสังกะสีที่ผสมเข้าด้วยกันในลักษณะสารละลายของแข็งคล้ายๆ กับการผสมเข้าด้วยกันของทองแดงและสังกะสีที่อยู่ในรูปของทองเหลือง และนอกจากนี้ค่าสมบัติทางกลต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นยังเป็นผลที่เกิดจากการผสมดีบุกเข้าไปด้วย (เปรียบเทียบสมบัติทางกลต่างๆ ระหว่างตารางที่ 4.1 และ 4.3) โดยชิ้นทดสอบ 58.75Ag + 21.67Cu + 18.16Zn + 1.47Sn มีค่า Yield strength มีค่าสูงสุดเท่ากับ 234.20 MPa, Ultimate Tensile Strength มีค่าสูงสุดเท่ากับ 415.80 MPa Breaking Point มีค่าสูงสุดเท่ากับ 351.20 MPa, และ Hardness มีค่าสูงสุดเท่ากับ 94.90 HV1 สำหรับในส่วนองค่า

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของโลหะเงินผสม 58.4%(ที่ผสมAg+Cu+Zn+0.5%Sn)

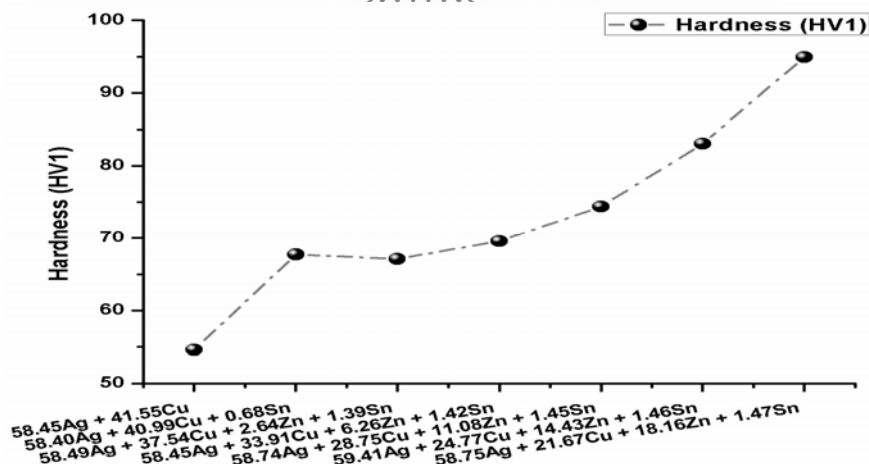
อัตราส่วนผสม	Yield strength (MPa.)	Ultimate tensile strength (MPa.)	Breaking point (MPa.)	Elongation (%)	Hardness (HV1)
58.45Ag + 41.55Cu	100.63	209.25	186	32.1	54.6
58.40Ag + 40.99Cu + 0.68Sn	127.67	213	198	26	67.72
58.49Ag + 37.54Cu + 2.64Zn + 1.39 Sn	131.8	220.4	205.6	30.2	67.1
58.45Ag + 33.91Cu + 6.26Zn + 1.42Sn	143	268.5	242	48	69.56
58.74Ag + 28.75Cu + 11.08Zn + 1.45Sn	172.25	345.25	301	61.18	74.38
59.41Ag + 24.77Cu + 14.43Zn + 1.46Sn	186.5	365	283.25	61.58	83.06
58.75Ag + 21.67Cu + 18.16Zn + 1.47Sn	234.2	415.8	351.2	55.28	94.9



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบของงานทดสอบ Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม 0.5%Sn จากตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ ทดสอบสมบัติทางกล จากตารางที่ 4.7 ภายใต้ส่วนผสม 14k Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม (0.5%) Sn ที่ให้ค่าเป็น Elongation (%)



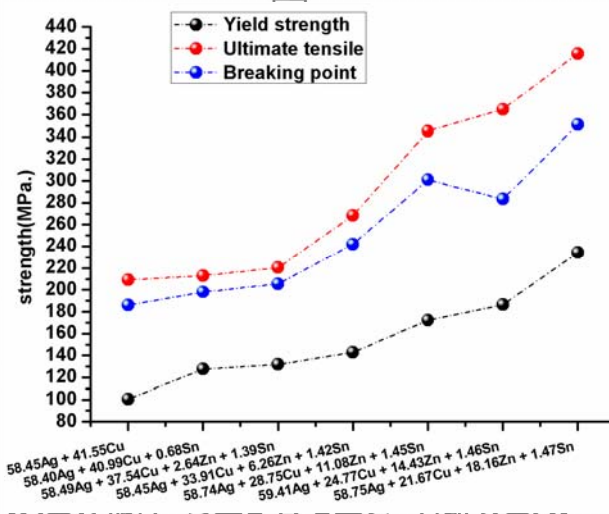
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็งของโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสมAg+Cu+Zn+0.5%Sn)

ข. ขั้นตอนทดสอบโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสมAg+Cu+Zn+1%Sn)

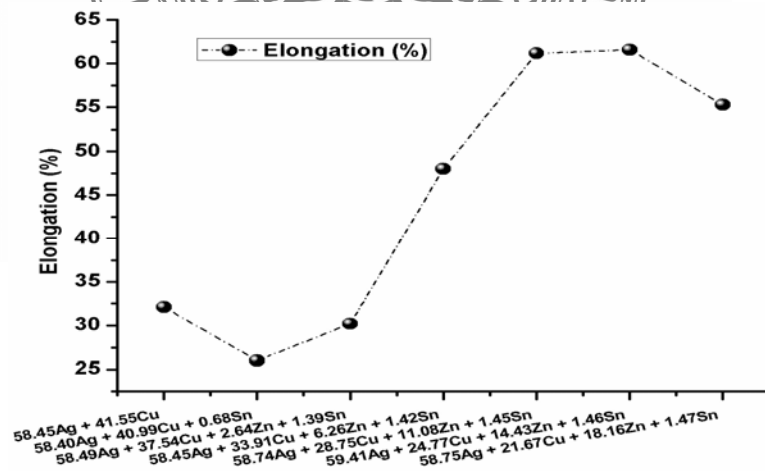
เมื่อทำการเพิ่มปริมาณดีบุกเพิ่มขึ้นจากเดิม พบว่าปริมาณดีบุกที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, Breaking Point, Elongation และ Hardness เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งค่า Elongation มีค่าสูงสุดที่ระดับหนึ่งของการผสมที่อัตราส่วนผสม 58.90Ag + 33.61Cu + 5.82Zn + 1.74Sn โดยมีค่าเท่ากับ 58.44% หลังจากนั้นปริมาณทองแดงที่ลดลง ปริมาณสังกะสีและดีบุกที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Elongation มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังรายละเอียดผลการทดสอบที่แสดงในตารางที่ 4.8 รูปที่ 4.14, 4.15 และ 4.16

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสมAg+Cu+Zn+1%Sn)

อัตราส่วนผสม	Yield strength (MPa.)	Ultimate tensile strength (MPa.)	Breaking point (MPa.)	Elongation (%)	Hardness (HV1)
58.45Ag + 41.55Cu	100.63	209.25	186	32.1	54.6
58.40Ag + 40.99Cu + 0.68Sn	127.67	213	198	26	67.72
58.49Ag + 37.54Cu + 2.64Zn + 1.39Sn	131.8	220.4	205.6	30.2	67.1
58.45Ag + 33.91Cu + 6.26Zn + 1.42Sn	143	268.5	242	48	69.56
58.74Ag + 28.75Cu + 11.08Zn + 1.45Sn	172.25	345.25	301	61.18	74.38
59.41Ag + 24.77Cu + 14.43Zn + 1.46Sn	186.5	365	283.25	61.58	83.06
58.75Ag + 21.67Cu + 18.16Zn + 1.47Sn	234.2	415.8	351.2	55.28	94.9

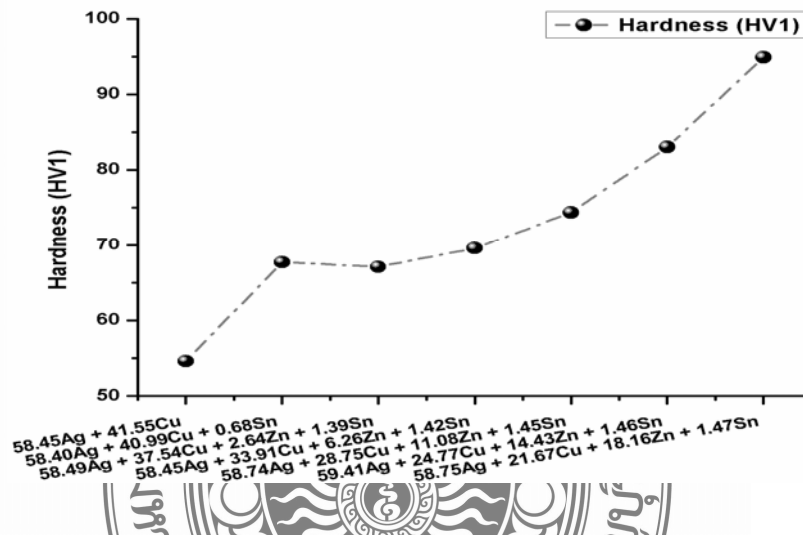


รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบสมบัติทางกลของโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสมAg+Cu+Zn+1%Sn) จากตารางที่ 4.7



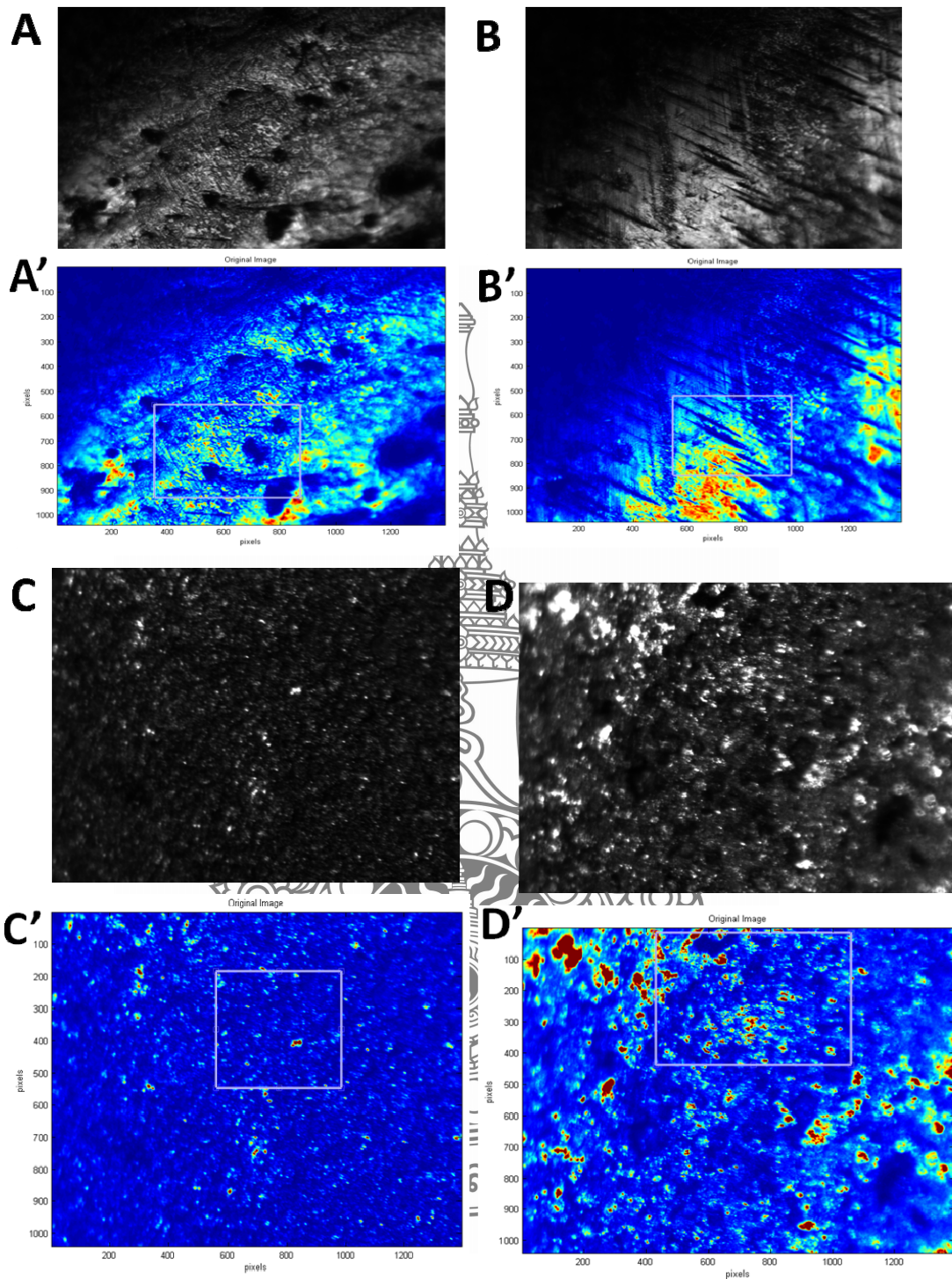
รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ ทดสอบสมบัติทางกล จากตารางที่ 4.7 ภายใต้ส่วนผสม 14k Ag+Cu+Zn+Sn ที่ผสม (1%) Sn ที่ให้ค่าเป็น Elongation (%)

เมื่อวิเคราะห์เฉพาะในส่วนของคุณสมบัติของปริมาณทองแดงที่ลดลงและปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, Breaking Point, Elongation และ Hardness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของทองแดงและสังกะสีที่ผสมเข้าด้วยกันในลักษณะสารละลายของแข็งคล้ายๆกับการผสมเข้าด้วยกันของทองแดงและสังกะสีที่อยู่ในรูปของทองเหลือง และนอกจากนี้ค่าสมบัติทางกลต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นยังเป็นผลที่เกิดจากการผสมคินุกเข้าไปด้วย (เปรียบเทียบสมบัติทางกลต่างๆ ระหว่างตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3) โดยขึ้นทดสอบ 60.01Ag + 20.99Cu + 17.00Zn + 2.08Sn มีค่า Yield Strength มีค่าสูงสุดเท่ากับ 287.00 MPa. Ultimate Tensile Strength มีค่าสูงสุดเท่ากับ 458.60 MPa. Breaking Point มีค่าสูงสุด เท่ากับ 413.20 MPa. และ Hardness มีค่าสูงสุดเท่ากับ 112.34 HV1 สำหรับในส่วนของคุณสมบัติ Elongation พบว่ามีค่าสูงสุดที่ 58.90Ag + 33.61Cu + 5.82Zn + 1.74Sn ซึ่งมีค่าเท่ากับ 58.44% หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงเล็กน้อยอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบสมบัติทางกลของโลหะเงินผสม 58.4% (ที่ผสมAg+Cu+Zn+1%Sn)

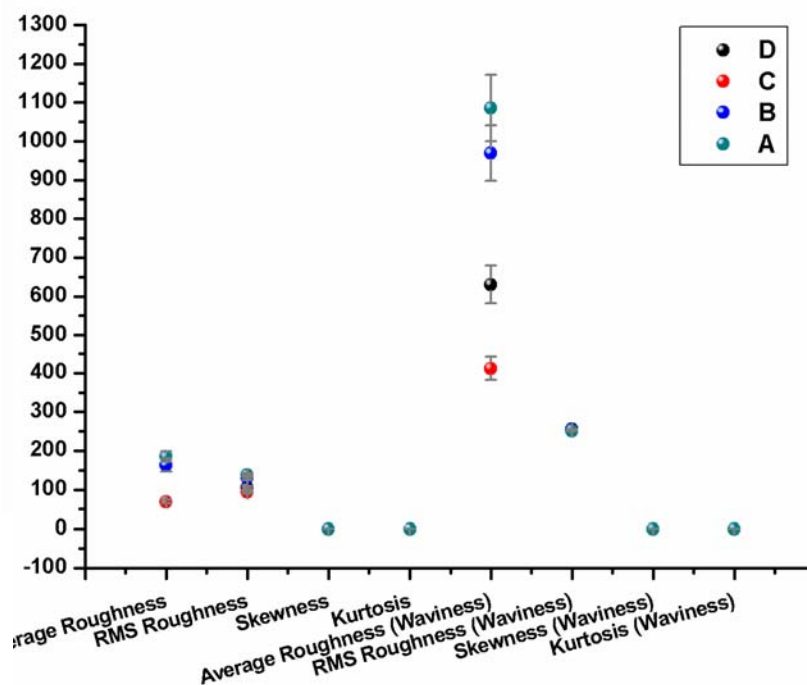
4.3 การศึกษาพื้นฐานเชิงพื้นผิว



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างพื้นผิวที่ถ่ายด้วยด้วย Nikon SMZ 1500 ภายใต้กำลังขยาย x11.25 สำหรับ ในกรณี ไม่มีการแต่งชิ้นงาน มีการแต่งชิ้นงาน มีดีบุก และไม่มีดีบุก โดยแสดงดังภาพ A B C และ D ตามลำดับ ส่วนภาพ A' B' C' และ D' แสดงตัวอย่างของบริเวณที่พิจารณา ความขรุขระ

เมื่อพิจารณาภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้อง Nikon SMZ 1500 ภายใต้กำลังขยาย x11.25 พบว่า คุณลักษณะ เชิงพื้นผิวของแหวนในกรณี ไม่มีการแต่งชิ้นงาน มีการแต่งชิ้นงาน มีดีบุก และ ไม่มีดีบุก มีความแตกต่างในด้านการกระจายตัวของความสูงและความลึกระดับหนึ่ง ดังแสดงตามภาพที่ 17 (A B C และ D ตามลำดับ) ด้วยคุณลักษณะที่แตกต่างดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงได้ ทำการวิเคราะห์ หากคุณสมบัติเชิงปริมาณ โดยใช้กระบวนการเชิงภาพ (Image Processing) โดย เลือกที่จะอธิบายความแตกต่างผ่าน ค่าของความขรุขระ (Roughness) และ ค่าของความขรุขระ ด้วยคุณลักษณะเชิงคลื่น (Waviness)

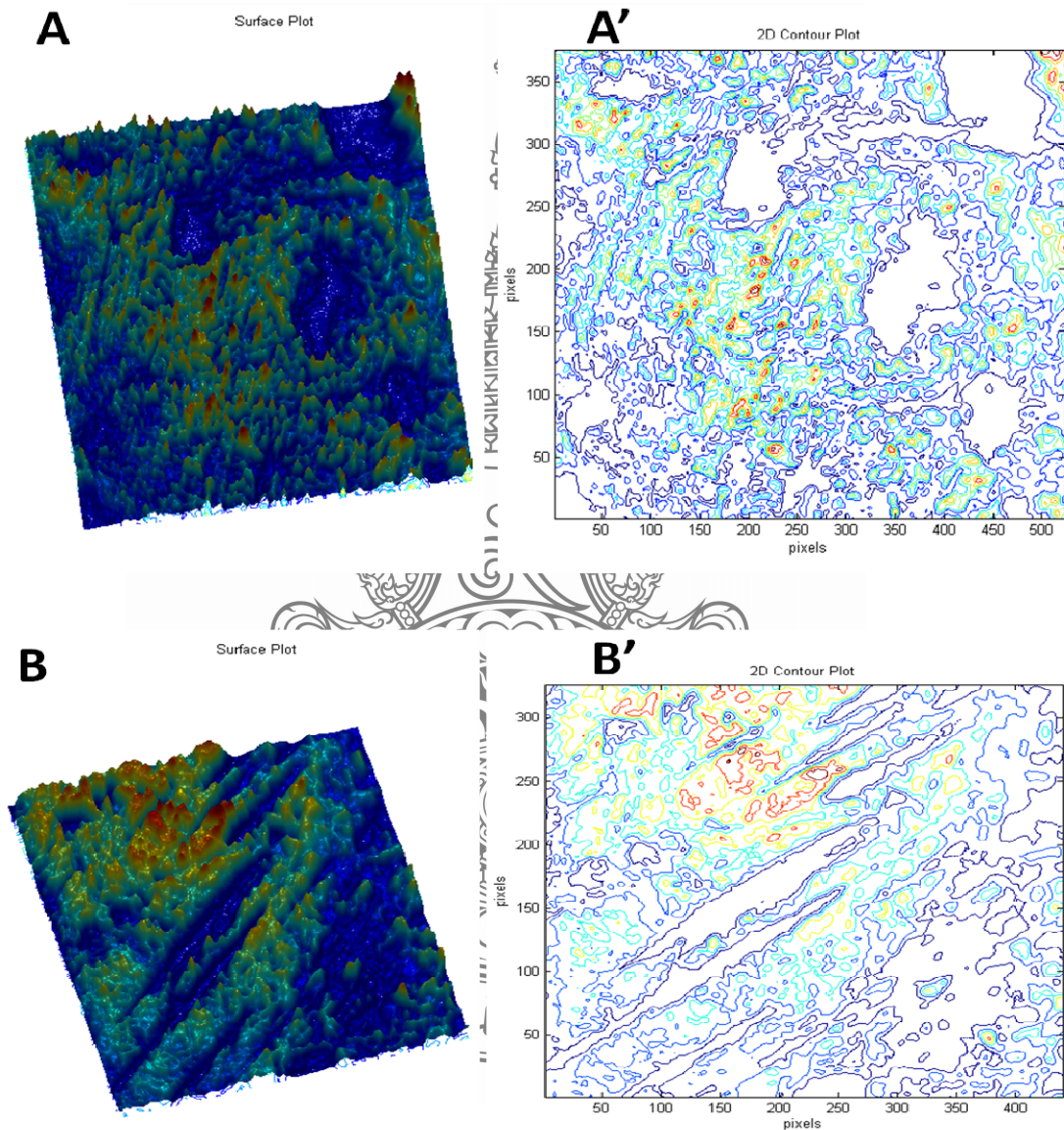
จากผลการศึกษาพบว่า สามารถที่จะจำแนกความต่างของพื้นผิวของแหวนได้เป็นสองกลุ่มได้แก่ กลุ่มที่มีการขัด (ไม่มีการแต่งชิ้นงาน และ มีการแต่งชิ้นงาน) และ กลุ่มที่ไม่มีการขัด (มีดีบุก และ ไม่มีดีบุก) ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.18 โดยที่กลุ่มแรกจะมีค่าความขรุขระ ที่มากกว่าในกลุ่มหลัง ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อผ่านการขัดแล้ว ร่องรอย ความขรุขระ ขนาดใหญ่จะน้อยลงในขณะที่ร่องรอยจากการขัดที่ละเอียดกว่าจะปรากฏมากขึ้น (พิจารณาตาม Surface Plot และ Contour Plot ดังรูปที่ 4.19 (A และ B) และ รูปที่ 4.20(A และ B) ตามลำดับ) จึงส่งผลให้ค่าของความขรุขระ ในกลุ่มแรกมีค่าที่มากกว่ากลุ่มหลัง นอกจากนี้หากพิจารณาที่ ค่าของความขรุขระ ด้วยคุณลักษณะเชิงคลื่น จะพบว่าสามารถที่จะจำแนกความต่างได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจาก เป็นการประมวลผลโดยอาศัย Convolution Filter



รูปที่ 4.18 การจำแนกความแตกต่างของความขรุขระโดยสี่เงื่อนไข A แทนกรณีแต่งขัดผิวมีดีบุก . B แทนกรณี มีการแต่งชิ้นงานไม่มีดีบุกและ C แทนกรณีไม่แต่งขัดผิว มีดีบุก D แทนกรณีไม่แต่งขัดผิวชิ้นไม่มีดีบุก สำหรับวงกลมสีเหลืองแทนวงกลมเฉลี่ย

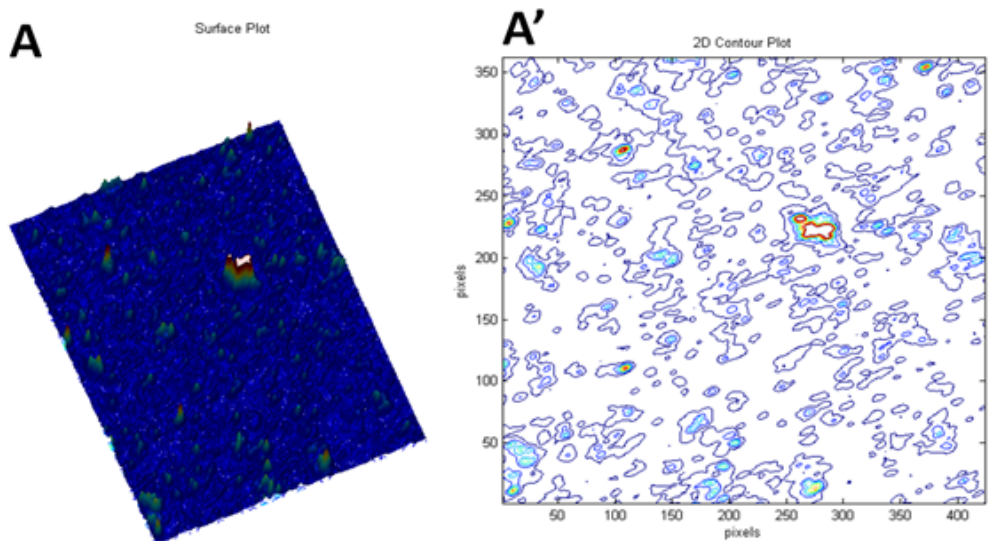
โดยพบว่า ค่าความขรุขระ ของพื้นผิวแหวนในกรณีไม่มีการแต่งชิ้นงานมีค่ามากกว่า กรณีมีการแต่งชิ้นงาน สำหรับกลุ่มที่มีการขัด ส่วนกลุ่มที่ไม่มีการขัด พบว่า กรณีไม่มีดีบุก จะมีค่าของความขรุขระมากกว่ากรณีที่มีดีบุก โดยที่ผลการศึกษาทั้งหมดอยู่ภายใต้การกระจายตัวอย่างสมมาตร และ มีการกระจายตัวสูง (Skewness~0 และ Kurtosis<3)

A แทนกรณีไม่แต่งขัดผิว มีดีบุก

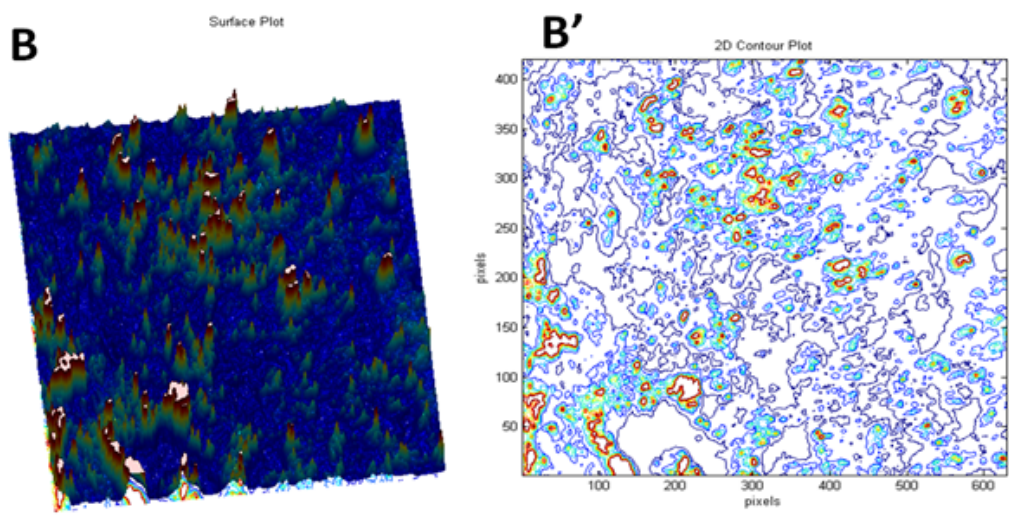


B แทนกรณีแต่งขัดผิวมีดีบุก (40).

รูปที่ 4.19 Surface Plot (A, B) และ Contour Plot (A', B') ของบริเวณที่พิจารณา ความขรุขระ สำหรับกรณีไม่มีการแต่งชิ้นงานกับมีการแต่งชิ้นงานตามลำดับ



A แทนกรณีมีการแต่งซัดผิวซันไม่มีดีบุก

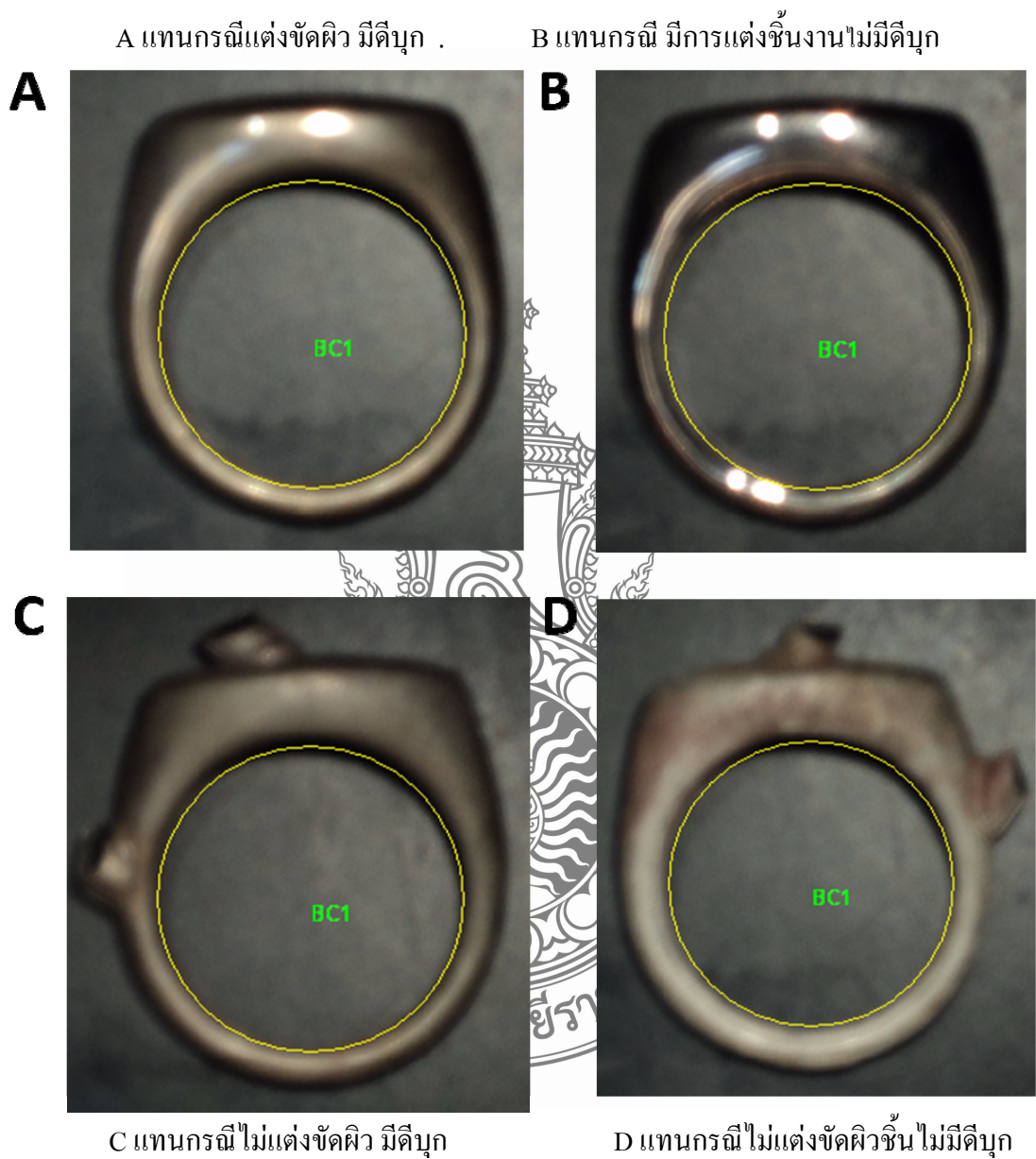


B แทนกรณีไม่แต่งซัดผิวซันไม่มีดีบุก

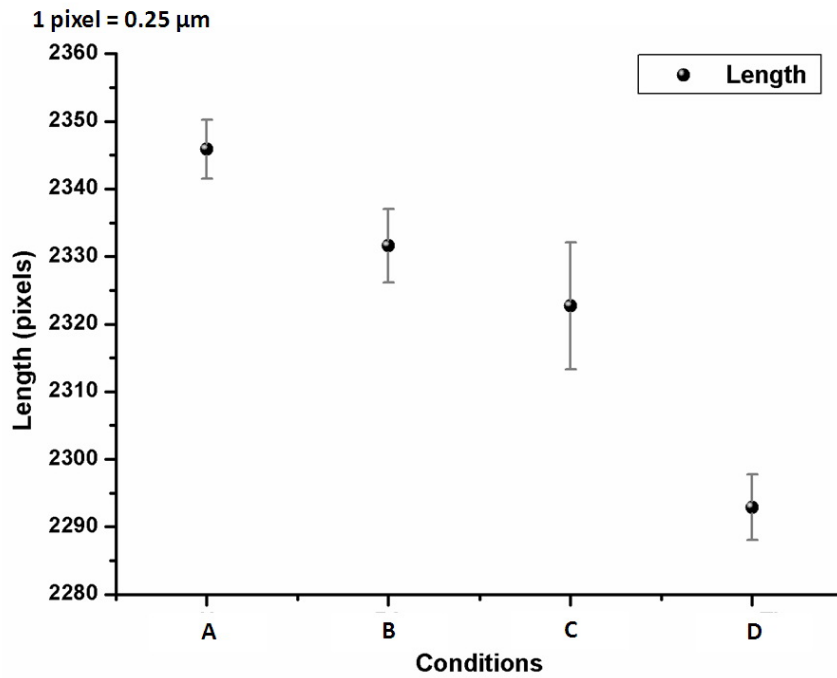
รูปที่ 4.20 Surface Plot (A, B) และ Contour Plot (A', B') ของบริเวณที่พิจารณา

4.4 การศึกษาการขยายตัวของวงแหวน

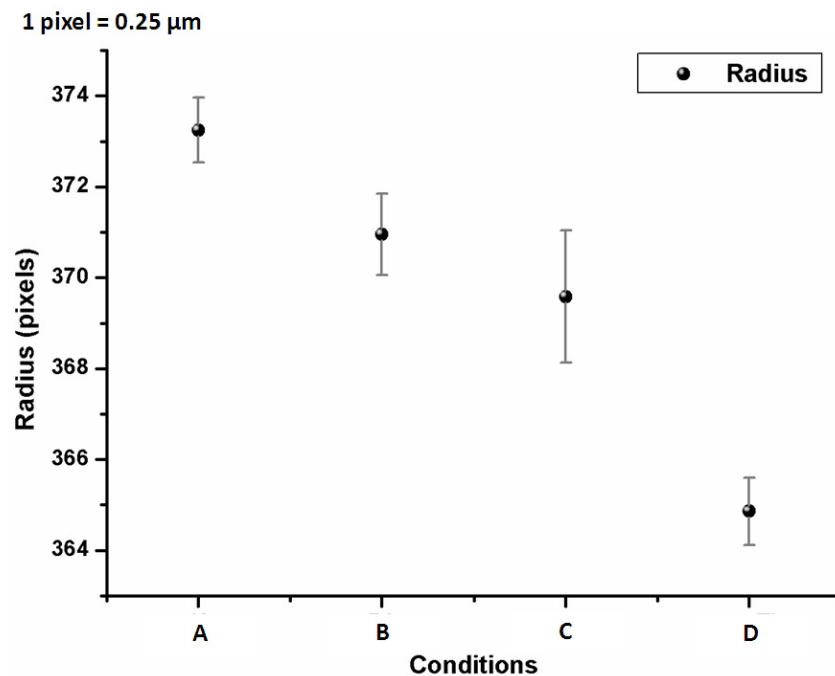
ในการศึกษาการขยายตัวของวงแหวนทั้งสี่กรณี ได้แก่ 'ไม่มีการแต่งซันงาน มีการแต่งซันงาน มีดีบุก และ ไม่มีดีบุก โดยการใช้กล้อง Sony Cybershot ที่กำลังขยาย x5 และระยะ 30cm พบว่ารูปร่างโดยพื้นฐานไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ โดยการหาค่าเฉลี่ยเส้นรอบวง



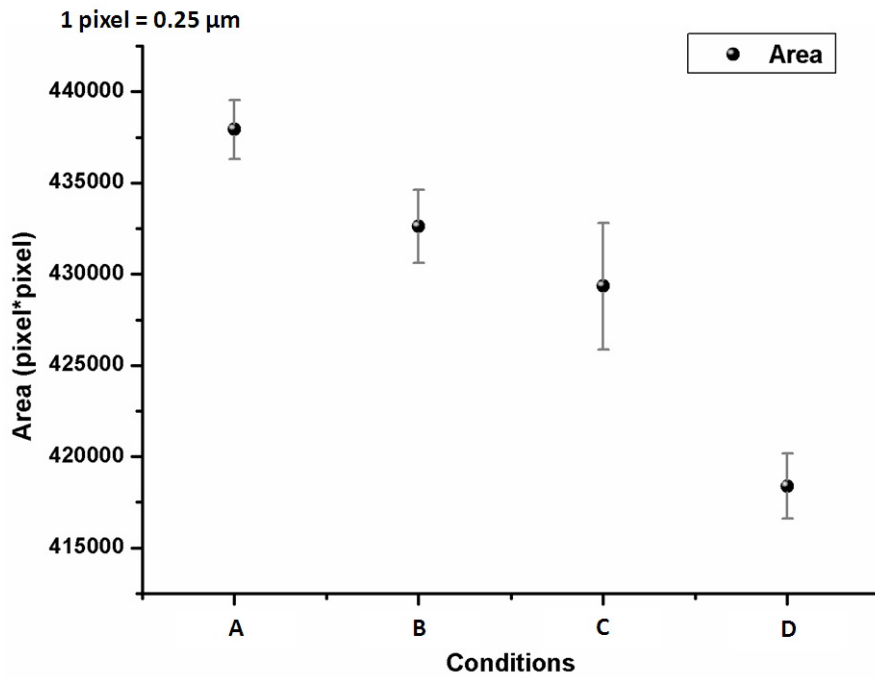
รูปที่ 4.21 ตัวอย่างแหวนที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้อง Sony Cybershot ที่กำลังขยาย x5 และระยะ 30cm โดยที่ A แทนกรณีแต่งขัดผิวมีดีบุก. B แทนกรณี มีการแต่งชิ้นงานไม่มีดีบุกและ C แทนกรณีไม่แต่งขัดผิว มีดีบุก. D แทนกรณีไม่แต่งขัดผิวชิ้นไม่มีดีบุก สำหรับวงกลมสีเหลืองแทนวงกลมเฉลี่ย



รูปที่ 4.22 การขยายตัวของวงแหวนเชิงความยาวโดยการวัดจากความยาวของเส้นรอบวงกลมภายในวงแหวน สำหรับกรณี มีการแต่งขัดผิวชิ้นงาน (A) มีการแต่งขัดผิวชิ้นงาน (B) กรณีที่ไม่มีการแต่งขัดผิวชิ้นงานมีดีบุก (C) และไม่มีการแต่งขัดผิวชิ้นงานไม่มีดีบุก (D) ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 การขยายตัวของวงแหวนเชิงรัศมีโดยการวัดจากความยาวรัศมีของเส้นรอบวงกลมภายในวงแหวน สำหรับกรณี มีการแต่งขัดผิวชิ้นงาน Tim (A) มีการแต่งขัดผิวชิ้นงาน (B) กรณีที่ไม่มีการแต่งขัดผิวชิ้นงานมีดีบุก (C) และไม่มีการแต่งขัดผิวชิ้นงานไม่มีดีบุก (D) ตามลำดับ



รูปที่ 4.24 การขยายตัวของวงแหวนเชิงพื้นที่โดยการวัดจากพื้นที่วงกลมภายในวงแหวน สำหรับกรณีที่มีการแต่งขัดผิวชิ้นงาน (A) มีการแต่งขัดผิวชิ้นงาน (B) กรณีที่ไม่มีการแต่งขัดผิวชิ้นงานมีดีบุก (C) และไม่มีการแต่งขัดผิวชิ้นงานไม่มีดีบุก (D) ตามลำดับ



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยเพื่อหาอัตราส่วนผสมของซิงค์ทดสอบโลหะเงินเจือ 14k ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ผู้วิจัยได้แบ่งสรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยดังรายละเอียดหัวข้อต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 ผลจากการศึกษาโลหะเงิน 58.4 % ที่ประกอบด้วยเงิน (Ag) และทองแดง (Cu) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 ที่อยู่ในอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ จากการศึกษารายละเอียดพบว่าค่า Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, Breaking Point, Elongation และ Hardness มีค่าสูงกว่าโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 และมีค่าความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L 65.147 โลหะเงิน 58.4 % มีความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L 76.426 AU มากกว่า แต่มีสีออกแดงมากกว่าขาวสว่าง เพราะปริมาณทองแดงที่มากขึ้น

5.1.2 ผลจากการวิเคราะห์ศึกษาโลหะเงินผสม 58.4 % ที่ประกอบด้วย เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) มีคุณสมบัติของสีที่ใกล้เคียง เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ และยังส่งผลทำให้สมบัติทางกลต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยค่า Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, Breaking Point, Elongation และ Hardness สูงกว่าโลหะเงินเจือ ปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, Breaking Point, Elongation และ Hardness ของซิงค์ทดสอบเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีคุณสมบัติที่ใกล้เคียง และสามารถนำไปใช้ทดแทนเงินสเตอร์ลิง 925

5.1.3 ผลจากการศึกษาการปรับปรุงคุณลักษณะความขาวของเงิน 58.4 % ด้วยดีบุก เพื่อให้มีความขาวและคุณลักษณะเทียบเท่ากับหรือ ใกล้เคียง เงินสเตอร์ลิง 925 ความแตกต่างของระดับสีที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบ ดังนี้

1) ซิงค์ทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu และ Ag+Cu+Zn พบว่า ซิงค์ทดสอบ 58.67Ag + 39.20Cu + 2.14Zn ให้ค่าความแตกต่างของระดับสีน้อยที่สุด มีค่า L = 77.920 และค่า $\Delta a = 0.236$

2) ซิงค์ทดสอบในกลุ่ม Ag+Cu+Zn+Sn (ที่ผสม 0.5%Sn) พบว่า ซิงค์ทดสอบ 58.49Ag + 37.54Cu + 2.64Zn + 1.39Sn ให้ค่าความแตกต่างของระดับสีน้อยที่สุด มีค่า L = 77.414 และค่า $\Delta a = 0.198$

3) ชั้นทดสอบในกลุ่ม $Ag+Cu+Zn+Sn$ (ที่ผสม 1%Sn) พบว่า ชั้นทดสอบ $58.72Ag + 37.34Cu + 2.27Zn + 1.73Sn$ ให้ค่าความแตกต่างของระดับสีน้อยที่สุด มีค่า $L = 77.168$ และค่า $\Delta a = 0.302$

สรุปได้ว่า ชั้นทดสอบ $58.49Ag + 37.54Cu + 2.64Zn + 1.39Sn$ ให้ค่าความแตกต่างของระดับสีน้อยที่สุด $L = 77.414$ และค่า $\Delta a = 0.198$ เป็นส่วนผสมที่สามารถนำไปใช้ผลิตเครื่องประดับโลหะเงินเจือ 14k ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากผลการวิจัยนี้ ยังมีธาตุเจืออื่นๆ ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนผสมรองอีกหลายชนิดที่มีผลต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และระดับสีของโลหะเงินผสม 58.4% ที่ยังไม่ได้ทำการศึกษา ดังนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ควรจะมีการศึกษาวิจัยอิทธิพลของโลหะผสม รองชนิดต่างๆ ที่สามารถเข้าไปในโลหะเงิน นอกเหนือจากทองแดง สังกะสี และดีบุก

5.2.2 อัตราส่วนผสมที่ใช้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยไปจากค่าที่กำหนด เพราะอัตราส่วนผสมของโลหะที่นำมาผสมนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรง กับการควบคุมคุณภาพการของสี

5.2.3 ควรทำการวิจัยอัลลอยชนิดต่างๆ ที่ใช้กับโลหะเงินผสม 925 ที่ใช้อยู่ในภาคอุตสาหกรรม การผลิตเครื่องประดับ ทั้งของในประเทศ และที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อศึกษาผลที่มีต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และระดับสีของโลหะเงินผสม 58.4%

5.2.4 ควรทำการหลอมส่วนผสมทั้งหมดในเตาหลอมอินดักชั่น เพื่อหลอมเป็นเม็ดก่อนการนำไปหลอมหล่อ ซึ่งจะช่วยให้ชิ้นงานที่ได้มีส่วนผสมที่สม่ำเสมอทั่วกันมากขึ้น และยังสามารถลดการสูญเสียของโลหะเจือระหว่างหลอมในเตาหล่อได้อีกทางหนึ่ง

5.2.5 ควรทำการวิจัยเพิ่มเติม โดยการอบ เพราะอาจมีผลทำให้โครงสร้างของโลหะ อาจมีความเปลี่ยนแปลง หรืออาจได้ผลหรือคุณภาพของสีหรือโครงสร้างที่มีความแตกต่าง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ยุทธศาสตร์วัสดุแห่งชาติ ยุทธศาสตร์ 3, วัสดุสำหรับอุตสาหกรรมแฟชั่น สิ่งทอ เครื่องหนัง และเครื่องประดับ, Mtec ศูนย์เทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ
- [2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. มอก.21-2515 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องเงิน. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหกรรม 2515.
- [3] เอกสารสัมมนาทางวิชาการ. คุณสมบัติของโลหะมีค่าสำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ. รวบรวมโดย ศูนย์วิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2541.
- [4] สมนึก วัฒนศรีกุล และคณะ. โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.), 2544.
- [5] สุรัตน์ วรรณศรี. “การศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของโลหะเงินสเตอร์ลิงจากกรรมวิธีทางความร้อน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม การผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543.
- [6] Gven Beck. **Edelmetall-Taschenbuch.** Degussa AG. Frankfurt Huething, 1995.
- [7] สมนึก วัฒนศรีกุล. การทดสอบวัสดุ. เอกสารประกอบการสอน มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.
- [8] สิทธิชัย แสงอาทิตย์. **Material Testing: Lecture.** วิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2545
- [9] Mark F. Grimwade. “Basic Metallurgy for Goldsmiths ; Working and Annealing.” **Jour Gold Technology** Issue No. 2. (June 1990) : 17-20.
- [10] Deusch. Normen. DIN 8238 Colours of Gold. August 1996
- [11] Aldo M. Reti. “Understanding Sterling Silver.” **The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology.** Santa Fe, New Mexico, 1997 : 339-356.
- [12] Richard V. Carrano. “Sterling Silver Casting Problem.” **The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology.** Santa Fe, New Mexico, 1990 : 91-128
- [13] เอกสิทธิ์ นิสารัตนพรและคณะ. โครงการการปรับปรุงคุณภาพเงินสเตอร์ลิงโดยการเติมธาตุซิลิกอน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2546.



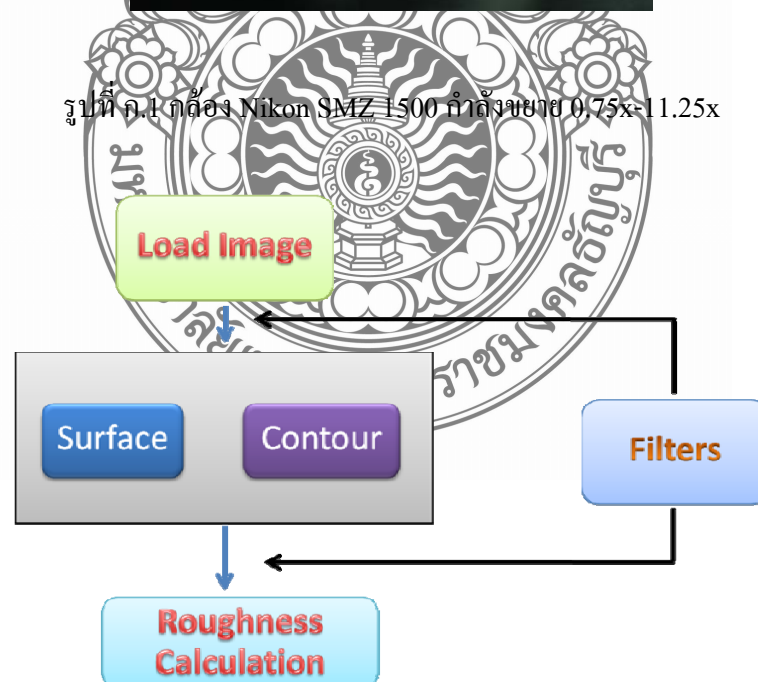
ภาคผนวก ก

ตัวอย่างโค้ดสำหรับการหาความขรุขระใน Matlab

การศึกษารูปร่างลักษณะของโครงสร้างและการจัดเรียงตัวในระดับไมโคร ผู้วิจัยได้ใช้กล้อง Nikon SMZ 1500 แสดงดัง รูปที่ 1 โดยพิจารณาภายใต้กำลังขยายที่ 11.25x นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์ หาค่าความขรุขระคณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมขึ้นเอง โดยการต่อยอดจากงานวิจัยของ S. Sheen และคณะ (1) กับ Chuen-Lin Tien และคณะ (2) กระบวนการในการวิเคราะห์หาค่าความขรุขระได้แสดง ดัง รูปที่ 2



รูปที่ ก.1 กล้อง Nikon SMZ 1500 กำลังขยาย 0.75x-11.25x



รูปที่ ก.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความขรุขระ ด้วยกระบวนการเชิงภาพ

ตัวอย่างโค้ดสำหรับการหาความขรุขระใน Matlab

```
clear all,

filename = 'a.tif';

a = imread(filename);

% @@@@ Crop Image @@@@

imagesc(a);

hrec_a2D = imrect;

% kpos_a2D = uint8(wait(hrec_a2D));

kpos_a2D = wait(hrec_a2D);

xmin_a2D = kpos_a2D(:,1);

xmax_a2D = xmin_a2D + kpos_a2D(:,3);

ymin_a2D = kpos_a2D(:,2);

ymax_a2D = ymin_a2D + kpos_a2D(:,4);

figure();

nbin_a2D = 20;

KeepCUT_a2D = a(ymin_a2D:ymax_a2D,xmin_a2D:xmax_a2D);

[h_f,h_intC] = hist(double(KeepCUT_a2D),nbin_a2D);

% Keeph_f(:,:) = h_f; Keeph_intC(:) = h_intC;

longax_sum = sum(KeepCUT_a2D);

% keep_longAxis_sum(:) = longax_sum;

imagesc(KeepCUT_a2D);

% @@@@ End Crop Image @@@@

figure();

subplot(121);

hResGfilter=surfc (double(a), 'DisplayName', 'ccc');

% hResGfilter=surfc (double(KeepCUT_a2D), 'DisplayName', 'ccc');

figure(gcf);

shading interp;
```

```

lightangle(-180,90);

set(gcf,'Renderer','zbuffer');

set(findobj(gca,'type','surface'),...

    'FaceLighting','phong',...

    'AmbientStrength',.3,'DiffuseStrength',.8,...

    'SpecularStrength',.9,'SpecularExponent',25,...

    'BackFaceLighting','unlit');

axis off;

view([0 91]);

set(gca,'DataAspectRatioMode','manual');

subplot(122);

contour(double(a));

    xlabel('pixels'); ylabel('pixels');

% contour(double(KeepCUT_a2D));

figure();

    imshow(a); axis off;

figure();

[h_fa,h_intCa] = hist(double(a),20);

hist(double(a),20);

% hold on;

% plot(h_intCa); hold off;

% @@@@ Roughness Calculations @@@@

images = a; [a,b,c]=size(images);

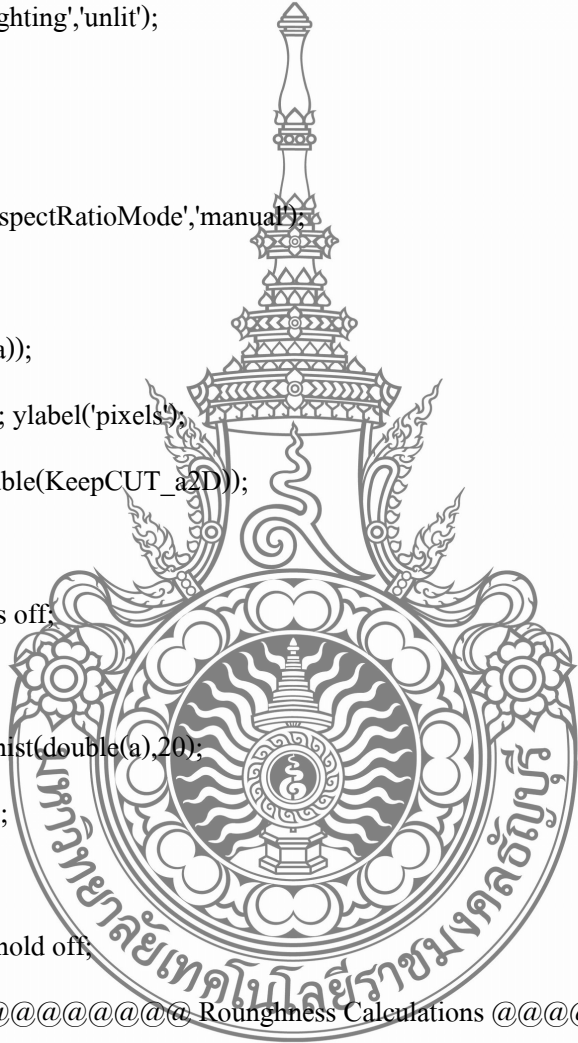
method=questdlg('Do you want to separate Roughness and Waviness components', 'Image
selection', 'Yes','No ','Yes');

if method=='Yes'

    prompt={'Enter the size of the Gaussian filter:','Enter the Standard deviation for filter:'};

    name='Input for Filtering';

```



```

numlines=1;

defaultanswer={'100','20'};

answer=inputdlg(prompt,name,numlines,defaultanswer);

answer=str2double(answer);

for i=1:c

    PSF = fspecial('gaussian',answer(1),answer(2));

    waviness(:,i) = imfilter(images(:,i),PSF,'conv');

    roughness(:,i)=images(:,i)-waviness(:,i);

    handles.waviness=waviness;

    handles.roughness=roughness;

end

n=a*b;

for i=1:c

    vectorR(:,i)=reshape(roughness(:,i),[1,n]);

    vectorW(:,i)=reshape(waviness(:,i),[1,n]);

    RaR(i)=sum(sum(abs(roughness(:,i))))/n; % average roughness

    RqR(i)=sqrt(mean(vectorR(:,i).^2)); % RMS roughness

    RskR(i)=sum(sum(roughness(:,i).^3))/(n*RqR(i)^3); % skewness

    RkuR(i)=sum(sum(roughness(:,i).^4))/(n*RqR(i)^4); % kurtosis

    RaW(i)=sum(sum(abs(waviness(:,i))))/n; % average roughness

    RqW(i)=sqrt(mean(vectorW(:,i).^2)); % RMS roughness

    RskW(i)=sum(sum(waviness(:,i).^3))/(n*RqW(i)^3); % skewness

    RkuW(i)=sum(sum(waviness(:,i).^4))/(n*RqW(i)^4); % kurtosis

end

rough_param(:,1)=RaR;

rough_param(:,2)=RqR;

rough_param(:,3)=RskR;

rough_param(:,4)=RkuR;

```

```

rough_param(:,5)=RaW;

rough_param(:,6)=RqW;

rough_param(:,7)=RskW;

rough_param(:,8)=RkuW;

rough_param=dataset(rough_param);

else

n=a*b;

for i=1:c

vector(:,i)=reshape(images(:, :, i), [1,n]);

Ra(i)=sum(sum(abs(images(:, :, i))))/n; % average roughness

Rq(i)=sqrt(mean(vector(:,i).^2)); % RMS roughness

Rsk(i)=sum(sum(images(:, :, i).^3))/(n*Rq(i)^3); % skewness

Rku(i)=sum(sum(images(:, :, i).^4))/(n*Rq(i)^4); % kurtosis

end

rough_param(:,1)=Ra;

rough_param(:,2)=Rq;

rough_param(:,3)=Rsk;

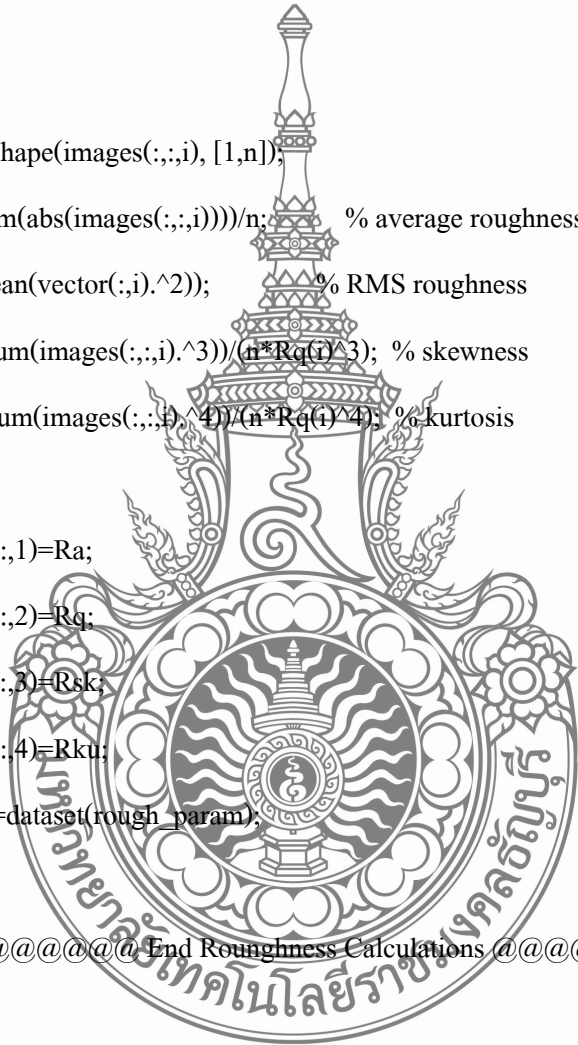
rough_param(:,4)=Rku;

rough_param=dataset(rough_param);

end

% @@@@ End Roughness Calculations @@@@

```





ภาคผนวก ข

สถานที่ทำการทดสอบและวิจัย

สถานที่ให้บริการเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการทดลองศึกษาวิจัย

1) เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการหลอมผสมโลหะและการหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ ในการทดลองศึกษาวิจัยนี้ ผู้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการผลิตชิ้นงานเครื่องประดับ ซึ่งประกอบไปด้วย หลอมผสมเทเม็คโลหะ เครื่องหล่อดูดสุญญากาศ และเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการเตรียมแบบหล่อ (เครื่องฉีดเทียน เครื่องผสมปูน เครื่องอบนึ่งไอน้ำและเตาอบปูนแบบหล่อ) ที่วิทยาลัยช่างทองหลวง ศาลาฯ นครปฐม ดังรูปที่ ข.1 และ ข.2 ตามลำดับ



รูปที่ ข.1 เครื่องหล่อดูดสุญญากาศยี่ห้อ Yasui รุ่น K2

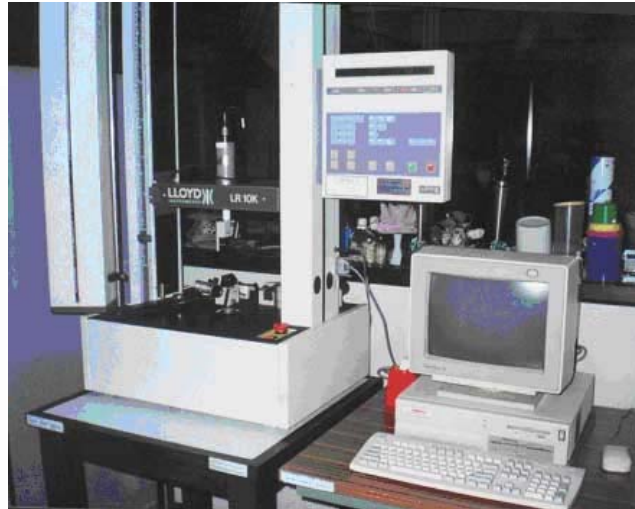


รูปที่ ข.2 เครื่องหลอมเทเม็ดยี่ห้อ Yasui



รูปที่ ข.3 เครื่องหลอมผสมเทเม็ดยี่ห้อ Indutherm รุ่น VC 600
(จากบริษัท บริษัท เวลฟีลด์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด)

2) เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลและศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ประกอบไปด้วย เครื่องขัดเตรียมชิ้นงาน กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) และเครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers Hardness Test) เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Tensile Machine)



รูปที่ ข.4 เครื่องทดสอบแรงดึง
(มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)



รูปที่ ข.5 ชุดอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์
(มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี)



รูปที่ ข.6 เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Testing Machine)
(มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)

3) เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี และวัสดุ ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้เครื่องมือ
อุปกรณ์ดังต่อไปนี้ เครื่องวิเคราะห์ขั้นสูง Induction Couple Plasma (ICP) เครื่อง Atomic Absorption
Spectroscopy) เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRFS)



รูปที่ ข.7 เครื่องมือและการวัดระดับสีทองคำ
(สถาบันเครื่องมือ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัด นครราชสีมา)

4) เมื่อพิจารณาภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้อง Nikon SMZ 1500 ภายใต้อำนาจขยาย $\times 11.25$ ใช้สำหรับการวิเคราะห์ หากคุณสมบัติเชิงปริมาณ โดยใช้กระบวนการเชิงภาพ (Image processing) โดยจะใช้อธิบายความแตกต่างผ่าน ค่าของความขรุขระ (roughness) และ ค่าของความขรุขระด้วยคุณลักษณะเชิงคลื่น (waviness)



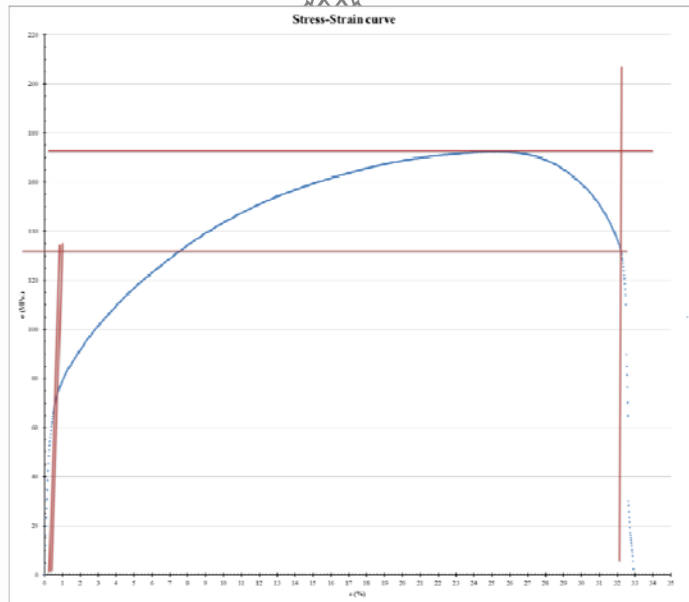
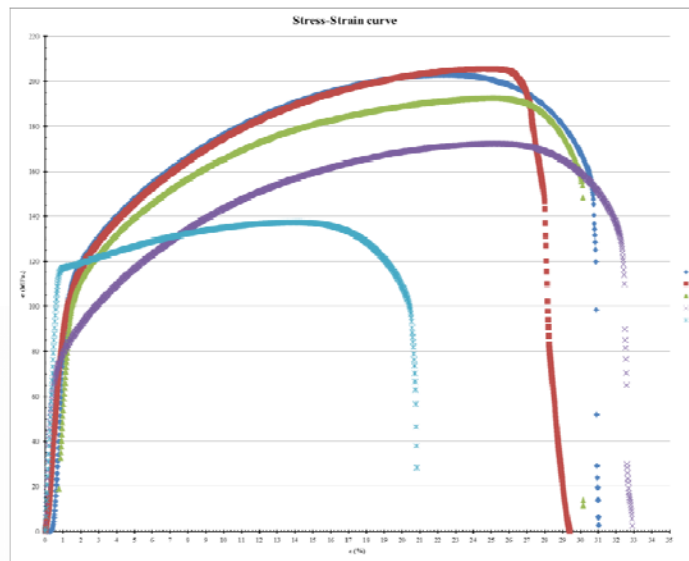
รูปที่ ข.8 การศึกษาสัณฐานเชิงพื้นผิวตัวอย่างพื้นผิวที่ถ่ายด้วยกล้อง Nikon SMZ 1500 ภายใต้อำนาจขยาย $\times 11.25$
(คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา)





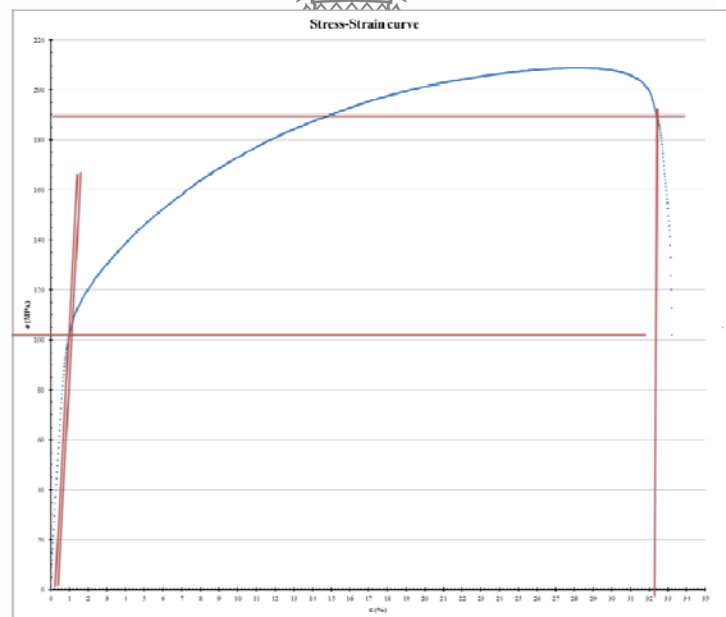
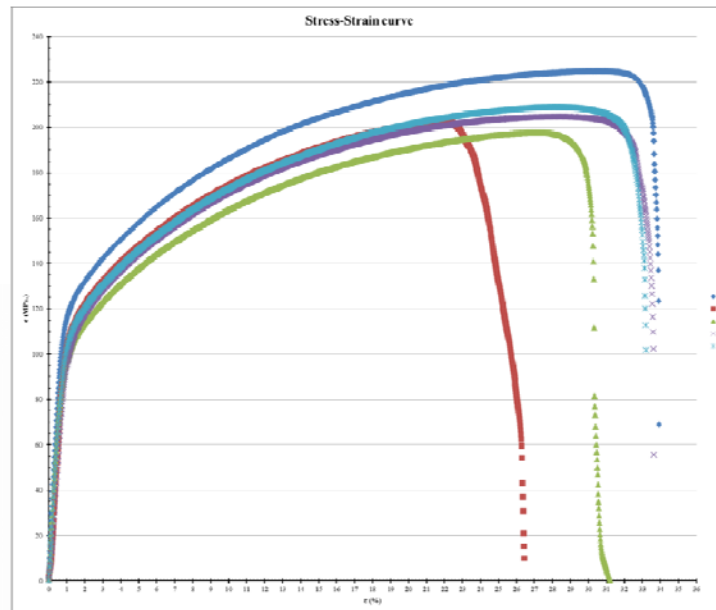
ภาคผนวก ค
กราฟทดสอบแรงดึง

Ag 1



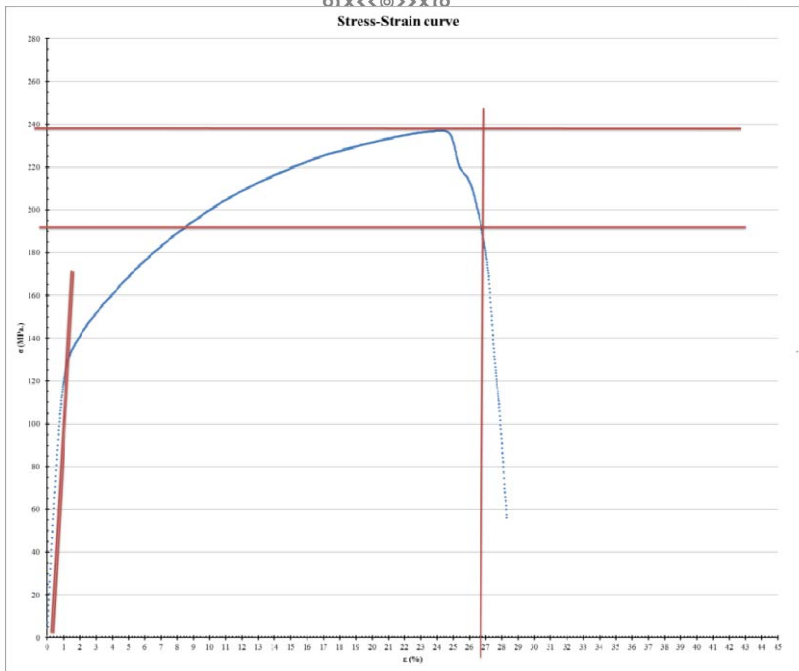
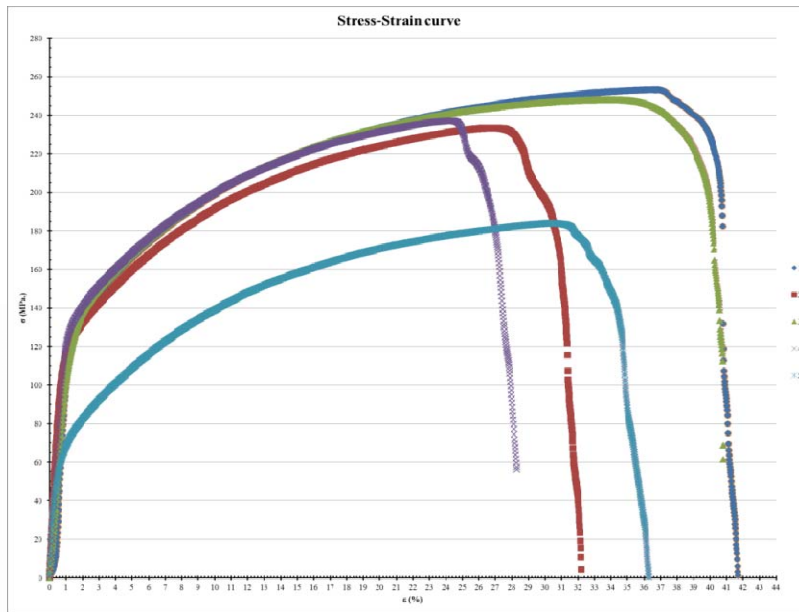
	Yield point	Ultimate	breaking	% elongation
1	110	203	154	30.6
2	100	206	203	26.3
3	108	193	158	30
4	66	172	132	32.2
	96.00	193.50	161.75	29.78

Ag 2



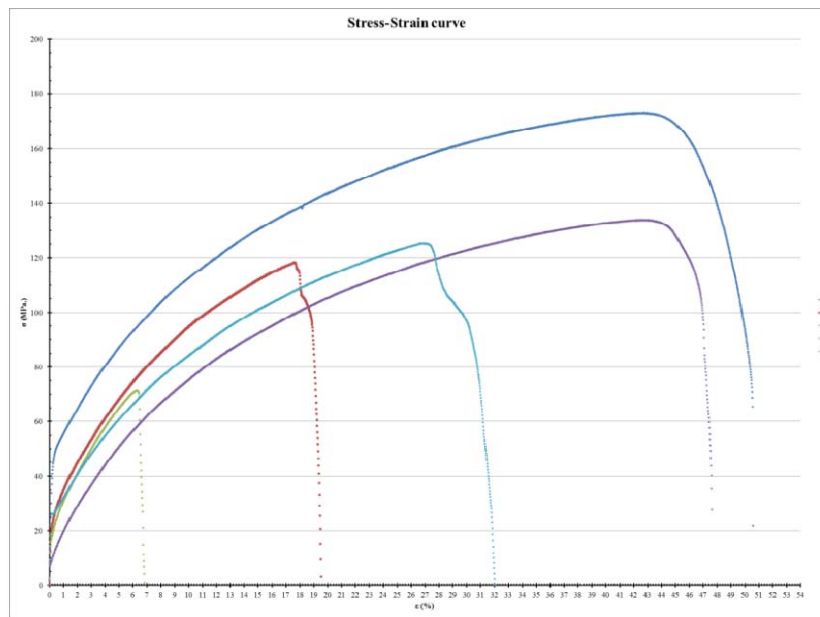
	Yield point	Ultimate	breaking point	% elongation
1	112.5	225	202	33.5
3	90	198	165	30.1
4	98	205	188	32.5
5	102	209	189	32.3
	100.63	209.25	186.00	32.10

Ag 3

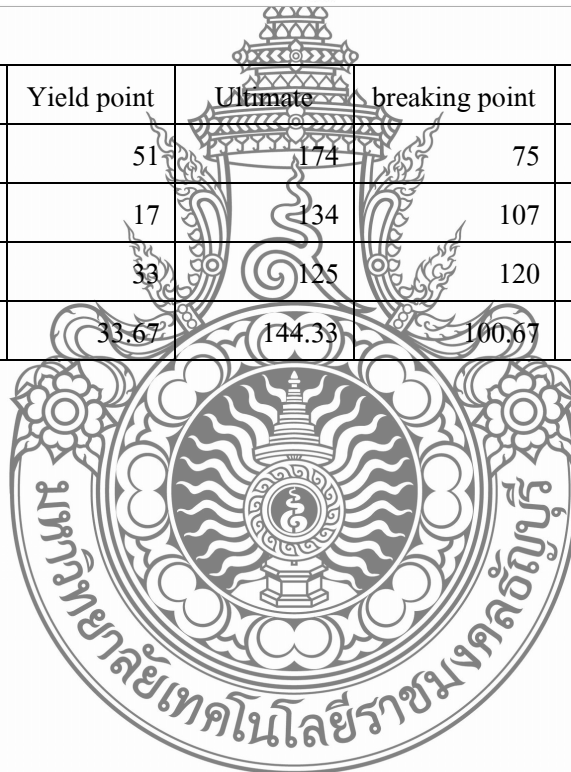


	Yield point	Ultimate	breaking point	% elongation
1	122	254	212	40.4
2	117	234	180	30.5
3	115	248	203	39.8
4	128	238	191	26.6
	120.50	243.50	196.50	34.33

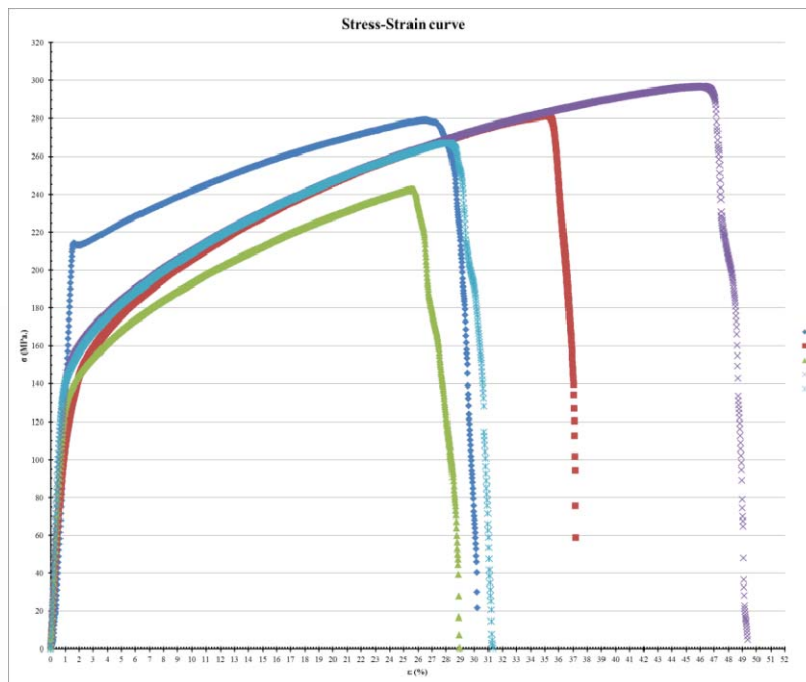
Ag 4



	Yield point	Ultimate	breaking point	% elongation
1	51	174	75	50.3
4	17	134	107	46.8
5	33	125	120	27.9
	33.67	144.33	100.67	41.67

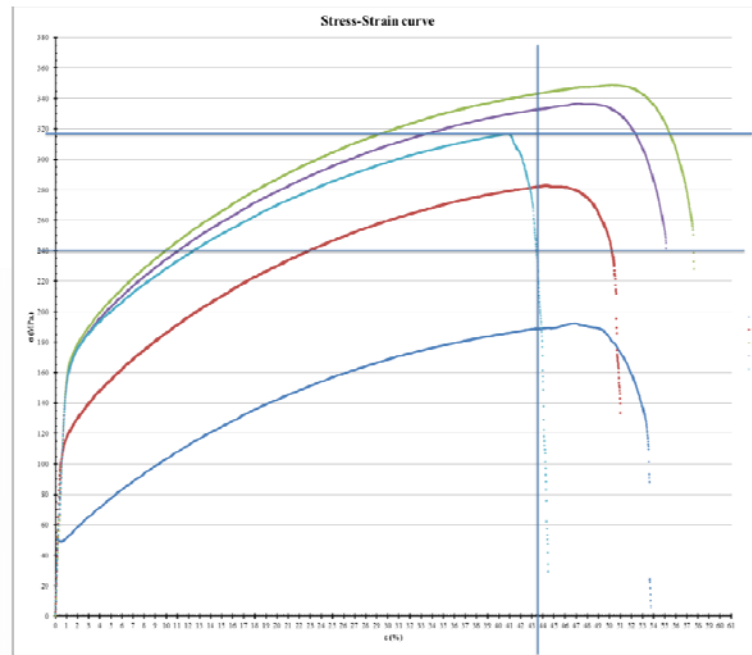


Ag 5



	Yield point	Ultimate	breaking point	% elongation
1	214	280	250	28.3
2	116	282	274	35.3
3	130	242	222	26.1
4	140	296	288	47
5	138	266	250	29
	147.60	273.20	256.80	33.14

Ag 6



	Yield point	Ultimate	breaking point	% elongation		Yield point	Ultimate	breaking point	% elongation
1	51	192	144	53					
2	112	284	232	50.4	2	112	284	232	50.4
3	168	350	251	57.7	3	168	350	251	57.7
4	165	338	251	55.1	4	165	338	251	55.1
5	165	318	140	43.6	5	165	318	140	43.6
	132.20	296.40	203.60	51.96		152.50	322.50	218.50	51.70



THE 2nd RMUTP INTERNATIONAL CONFERENCE



2010

GREEN TECHNOLOGY AND PRODUCTIVITY



PROCEEDINGS

29-30 JUNE 2010
PATHUMWAN PRINCESS HOTEL
BANGKOK, THAILAND

RMUTP

E - 032 (p)	Influence of Electrode Force Affecting the Complete of the Resistance Spot Welding Prachya Pearsura	237
E - 033 (p)	Development of Smart Monitoring System for Wind Energy System Warunee Srisongkram, Boonyang Plangklang, Chaiyant Boonme, Krischonme Bhumkittipich, Nattapong Phanthuna, and Wanida Pusorn	242
E - 034 (p)	Fluctuation Voltage Control of wind Turbines Via STATCOM Warunee Srisongkram, Krischonme Bhumkittipich, Pramuk Unahalekhaka, Nattapong Phanthuna, Wanida Pusorn, and Kittiwat Chiangchin	246
E - 035 (p)	Influence of Plasma Treatment on the Flexural Properties of Geopolymer Composites N.T. Xiem, D. Kroisová, P. Louda, Z. Rozek, and O. Bortnovsky	253
E - 036 (p)	Green Power Zone Wuthikrai Chankhamrian and Krischonme Bhumkittipich	260
E - 037 (p)	Competency Assessment for Administrators Under Jurisdiction the Office of Vocational Education Commission Kajohnsak Sirimai, Ravewan Shinatrakool, Teravuti Boonyasopon, and Phadungchai Papat	267
E - 038 (p)	The Study on Microstructure and Mechanical Properties of Silver Alloy 58.4% for Jewelry Manufacturing Thanatip Salanay and Sirichai Torsakul	273
Topic S		
S – 001 (O)	Improvement of Efficiency in Biodegradable Packaging Process K. Sritarathorn, I. Phung-on, P. Mounjun and E. Warinsiriruk	278
S – 002 (O)	Optimization of Infrared Radiation Heating in Disinfestations of Organic Hom Mali Rice Withaya Insorn, Sukangkana Lee and Adun Janyalertadun	283
S – 003 (O)	Calculation of Thermoelectric Properties of Doped SrTiO ₃ T. Chanapote and A. Yangthaisong	290
S – 004 (p)	Development of Electronic Test to Measure Students' English Abilities of Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Watchara Phothisorn	297

The Study on Microstructure and Mechanical Properties of Silver alloy 58.4% for Jewelry Manufacturing

Thanatip. Salanay, Sirichai Torsakul

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110

Corresponding Author: taihoo2009@hotmail.com

Abstract

The research involved the characterization of the properties of silver alloys -bearing copper and zinc. The alloys composed of 58.4% silver 20.85-41.76% copper and 0-20.83% zinc, respectively. When comparing the characteristics of this alloy and sterling silver 925, the alloy specimen had mechanical properties better than the sterling silver 925. The alloy tests presenting the mechanical values of the hardness, shear bond strength, elasticity of the specimen were in a range of 54.6-95.3 HV1, 209.5-379.3 MPa., 100.6-193.8 MPa. and 32.1-51.7%, respectively. While the mechanical values of sterling silver 925 were 2.8 HV1, 193.5MPa., 96.0 MPa. and 29.8%, respectively. Besides these, the microstructure of the alloy specimen showed the dendrite structure. We found that this structure decreased when the concentration copper in the specimen increased. After adding zinc into the alloys, the high amount of zinc caused the zinc-rich (α) phase changed to Eutectic phase, together with the significantly increased area of alpha phase. These effects, therefore, brought up the better various mechanical properties of the alloys. At the same time, the another test specimen composed 58.67% Ag 39.20% Cu and 2.14% zinc. The color of this specimen was close typically to the sterling silver 925, with the difference of D_a at 0.236 and D_b only at 5.268. Additionally, the higher copper concentration in the alloy provided a value tentatively increased but b value decreased. However, more remarkable results were that the zinc showed opposite effects from the copper.

Key words: Sterling silver, Silver alloy, Copper, Zinc.

1. Introduction

Silver sterling 925 has at least 92.5% (wt/wt) silver as a major alloy component whereas other additional metal alloys usually are less than 7.5%. Among them, preferably added alloys are a copper metal. Copper alloys provide significantly better hardness to the metal as well as it is low cost, so the copper metal is mostly preferred to be added in the silver sterling. More than that, to obtain preferable properties, not only copper base alloys, but other alloy metals can also be added. The sterling silver 925, in view of the fact, is low-priced and is usually used as the main component of the jewelry and accessories. Additionally, its reasonable cost catches the attention of practically all consumers.

At the present of crisis situation, the high cost of most raw materials seriously affects the increase of the productivity cost. These introduce numerous works on searching for the possible alternative approach in reduction the upcoming cost of the raw materials. In the most case, for example, the alternative silver alloys was made by using lower silver content, silver alloy 58.4% (14k) used in most jewelry accessory production. Since this alloy still preserves major acceptable properties, those are mechanical properties and physical appearance (color level), close to sterling silver 925, this alternative silver alloy type can also be significantly another new optional material for the customers in which its product obtained could help increase the possibly pick up the pace of the business based competition potential. From all above, therefore, in this study, we aimed to understand the characteristics of silver alloys 58.4% composed of copper and zinc. This alloy type will be further

utilized for silver jewelry and accessories.

2. Procedures

1. Make the alloys by fusing 58.40% silver together with 20.85-41.76%, copper, and 0-20.83% zinc with the vacuum casting machine.
2. Find all chemical components in the alloys by Atomic absorption spectrometer
3. Test for the mechanical properties including strength test, tension test and microstructures of the alloys.
4. Measure the color level of the specimens and thus estimate the color differences of the alloys with the control sterling silver 925).

3. Results and discussion

3.1 Characterization of the chemical composition of the alloys

From Table 1, the results showed the chemical characteristics of specimen by Atomic absorption spectrometry. We found that there was at the average 26.2% of zinc content loss. This caused the increase of the chemical compositions of silver and copper in the alloys.

Table 1 The results of chemical components characterized in the alloys

Specimen type	Chemical components (%wt)		
	Cu	Zn	Ag
AgCu1	6.30	-	Balance
AgCu2	41.55	-	Balance
AgCu3	39.20	2.14	Balance
AgCu4	35.47	5.79	Balance
AgCu5	31.57	9.57	Balance
AgCu6	26.88	13.82	Balance
AgCu7	22.77	18.45	Balance

3.2 The test for mechanical properties

3.2.1 The test for hardness

From the figure 1, we obtained the specimen has the hardness between 54.6-95.3 HV1, in which the specimen 59.38%Ag 22.17%Cu 18.45%Zn showed the hardest. The sterling silver 925 (93.71%Ag 6.30%Cu) could provide the hardness only at 52.8 HV1, however, more added zinc caused the hardness tentatively increased.

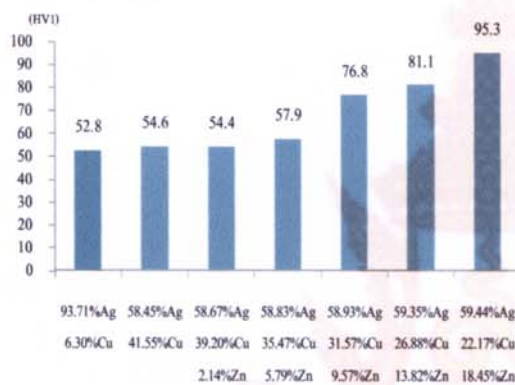


Figure 1 The graph representing the hardness (HV1) of the alloy specimen

3.2.2 The test for tensile strength

From the data test of ASTM E8M-99 [1], the data represented in figure 2 demonstrated that the tensile strength was between 209.5-379.3 MPa. Particularly, the specimen 59.44%Ag 22.17%Cu 18.45%Zn provided the highest tensile strength, whereas sterling silver 925 showed the tensile strength only at 193.5 MPa. Additionally, more zinc adding caused the tensile force increase.



Figure 2 The graph representing the tensile force of the alloy specimen (MPa)

In figure 3, the data of all specimens showed the yield strength between 100.6-193.8 MPa. The specimen Particularly, the specimen 59.44%Ag 22.17%Cu 18.45%Zn also provided the highest yield strength, whereas sterling silver 925 showed the value only at 96.0 MPa. More zinc additionally caused the yield strength increase.

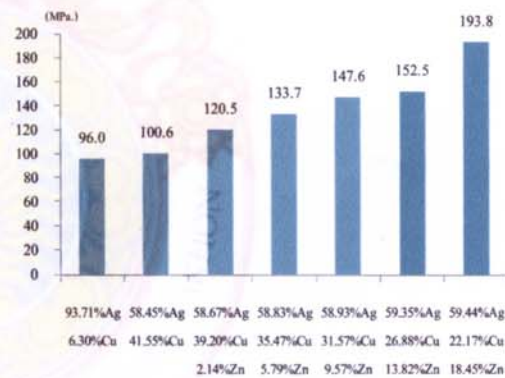


Figure 3 The graph representing the yield strength (MPa.)

From figure 4, the data of the specimen tested for the elongation revealed that the elongation was between 32.1-51.7%. The specimen 59.44%Ag 22.17%Cu 18.45%Zn

provided the best elongation value, whereas sterling silver 925 showed the elongation value only at 29.8 %. More zinc adding ' could ' cause better elongation, but adding zinc more than 13.8% could not help make particular different.

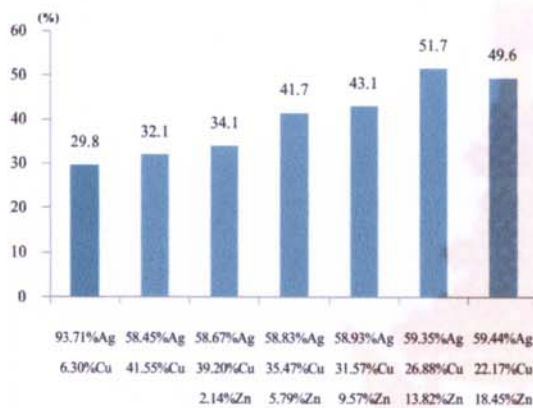


Figure 4 The graph represents the elongation (%)

3.3 Microstructures of the specimens

From figure 5, the specimens showed the microstructures in the dendrite structure like since the specimen was quick cooled down faster than at the balance condition. This situation thus caused the alloy containing poor mechanical properties. Nevertheless, more copper added to the specimen, it showed the dendrite structure tentatively reduced (b), in which we could clearly see the grain structures and β phase, eutectic, and α phase. When comparing the microstructures of silver alloys composed of silver – copper with the one composed of silver – copper – zinc, the gradually adding zinc at small amount caused no differences in the microstructures. However, adding zinc caused significant change of α phase to Eutectic phase and increase α phase

area in the specimen. These results were possibly explained that zinc added could affect the decrease in melting temperature. As a result, it caused the alloy cooling down at better balance condition so obtained alloy harbored better mechanical properties.

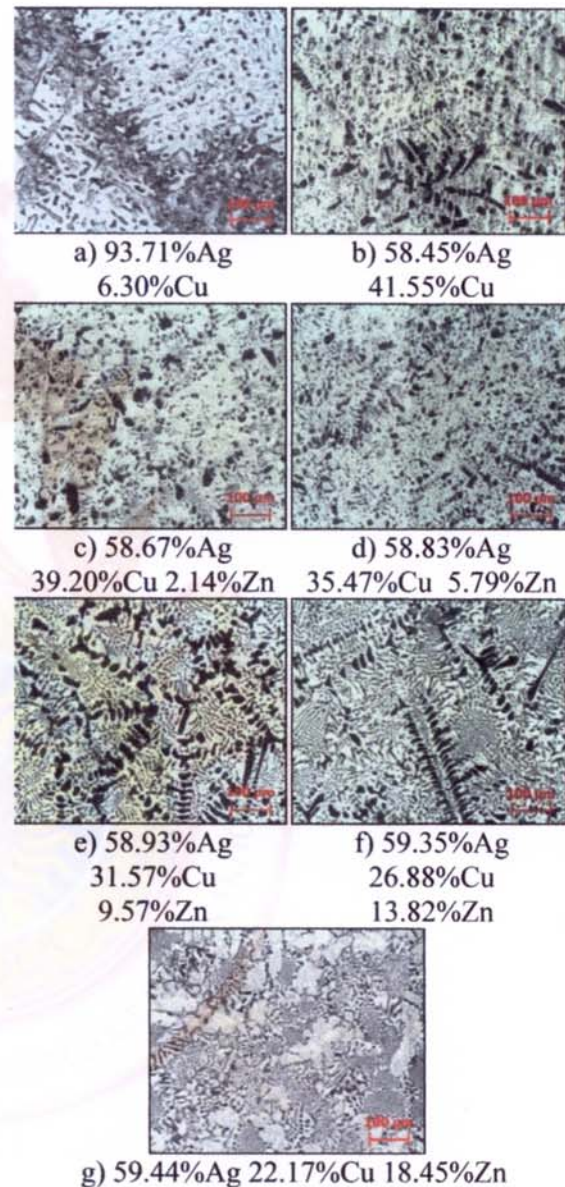


Figure 5 The microstructure of the alloy specimen

4. Conclusions

From the study, the characteristics of silver alloys 58.4%, used for silver jewelry and accessories were composed of copper and zinc as a major and a minor alloy. All these results could be concluded as follows

1. The data of chemical compositions by Atomic absorption spectrometry indicated the more zinc lost, especially at the average 26.2%, due to the fusion method.
2. The alloy tests for the mechanical properties including the hardness, shear bond strength, tensile force as well as elongation of the specimen were in a range of 54.6-95.3 HV1, 209.5-379.3 MPa., 100.6-193.8 MPa. and 32.1-51.7%, respectively. If more zinc was added, the alloys would have better mechanical properties.
3. The microstructure of the sterling alloy 925 had the dendrite structure like, but more copper added to the specimen caused the dendrite structure reduced. When added more zinc caused α phase change to Eutectic phase and uncertainly increase α phase area in the specimen and finally made the obtained alloy had better mechanical properties.

5. Acknowledgements

We are thankful to Well Field

Corporation Ltd and Science and Technology Development Agency for their financial research funds. We also extend the special thanks to the institute of strength physics and material science, Siberian branch, Tomsk, Russia for supporting equipments for all the study.

6. References

- [1] Thai Industrial Standard Institute (2521). TIS. 21-2515 Product industrial standard for rware. Industry, BKK.
- [2] ASTM Section 3 (1999). Metals Test Methods and Analytical Procedures. American Society for Test and Materials.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายธนาธิป สะและหน่าย
วัน เดือน ปีเกิด	1 ตุลาคม 2519
ที่อยู่	46 /2 หมู่ที่ 2 ต. ละหาร บางบัวทอง นนทบุรี 11110
ประวัติการศึกษา	อศบ. เทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2540 - 2541	ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ฝ่ายขาย บริษัท นิด้า แฟคทอรี จำกัด (จิวเวลรี่ส่งออก)
พ.ศ. 2541 - 2545	ตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัท อนินลา ซิลเวอร์ จำกัด (จิวเวลรี่ส่งออก)
พ.ศ. 2545 - 2548	ตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัท เคปเว็ค จิวเวลรี่ จำกัด (จิวเวลรี่ส่งออก)
พ.ศ. 2548 - 2552	ตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัท มายไซส์ จิวเวลรี่ จำกัด (จิวเวลรี่ส่งออก)
พ.ศ. 2552 - 2553	สอนเทคนิคการดูแลขอละ การขึ้นรูปเครื่องประดับ เทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พ.ศ. 2553 - ปัจจุบัน	คณะกรรมการ กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน กระทรวงแรงงานแห่งชาติ (สาขาช่างรูปพรรณ และช่างประดับ) โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย(ITAP) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ โครงการให้คำปรึกษาด้านกระบวนการผลิตเครื่องประดับ กรมอุตสาหกรรม
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	
	Thanathip Salanay, Sirichai Torsakul, The Stud on Microstructure and Mechanical Properties of Silver alloy 58.4% for Jewelry Manufacturing. The 2 nd RMUTP International Conference 2010, 29-30 June 2010, Pathumwan Princess Hotel Bangkok, Thailand.