

การศึกษาพัฒนาส่วนผสมโลหะทองขาว 6k สำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

A Study and Develop the Composition of White Gold Alloy 6k for Jewelry Setting Manufacturing

ธีระวัฒน์ แม้นคิ้ว¹ และ อาวุธ ฉายศิริ²

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: teerawat_gt@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาพัฒนาส่วนผสมโลหะทองขาว 6k สำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ โดยการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือที่มีผลต่อสมบัติทางกล (ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความแข็ง) ของโลหะทองขาว 6k ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

ผลการทดลอง พบว่าจากการทดสอบและวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่ทำการผสมจริงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ XRF (X-ray Fluorescence Spectrometers) พบว่าส่วนผสมทางเคมีของโลหะทองขาว 6k มีปริมาณที่แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณก่อนและหลังกระบวนการหลอม ผลจากการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นทดสอบ พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของโลหะทองขาว 6k สูตรส่วนผสม 25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.14 kN/mm² มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำที่สุดเท่ากับ 64% และมีค่าความแข็งเท่ากับ 259.87HV ซึ่งผลการทดสอบที่แสดงออกมาแบบนี้คุณสมบัติทางกลของวัสดุจะเป็นแบบเปราะ (Brittle Material) เมื่อนำไปขึ้นรูปจะเกิดการแตกหักได้และการขึ้นรูปจะเป็นไปได้ยาก ส่วนผสมสูตร 25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd, 25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd และ 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd มีค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วง 0.66-0.70 kN/mm² มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวอยู่ในช่วง 84-90% และมีค่าความแข็งอยู่ที่ 277.60, 244.60 และ 186.73HV ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลดังกล่าวจะแสดงให้เห็นว่าที่ส่วนผสมโลหะทองขาว 6k 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd มีค่าความต้านทานแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงที่สุดเท่ากับ 90% และมีค่าความแข็งน้อยที่สุดเท่ากับ 186.73HV จะเหมาะสำหรับการขึ้นรูปเพราะมีคุณสมบัติเหนียว

คำสำคัญ: เครื่องประดับโลหะทองขาว 6k, คุณสมบัติทางกล

Abstract

This Research is to Study the Development of 6k White Gold Alloys for Jewelry Production. The Influence of Admixtures on

Mechanical Properties was Investigated (Tensile Strength and Hardness) of 6k White Gold Alloys at Various Composite Ratios.

The Results of the Experiments Show that the Chemical Composition of 6 k White Gold Alloys is Slightly Different when Compared with the XRF (X-ray Fluorescence Spectrometers). Compare the pre and Post-Melting Quantities. Test results of Mechanical Properties of Test Pieces. The Tensile Strength of the 6 k Gold Alloy is 25% Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd The Highest Value was 1.14 kN / mm² , the Lowest Percentage was 6 4 % and the Hardness was 259.87HV. The Result of this Test is that the Mechanical Properties of the Material are Brittle Material. When the Mold is Formed, the Fracture and Forming will be Difficult. 2 5 % Au+4 2 % Ag+1 2 % Cu+3 % Zn+ 1 8 % Pd, 2 5 % Au+5 0 % Ag+4 % Cu+3 % Zn+1 8 % Pd and 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+ 18%Pd Tensile Strength in the Range of 0.66-0.70 kN / mm², Percentage of Elongation in the Range of 84-90% and Hardness of 277.60, 244.60 and 186.73HV, Respectively. The Mechanics will Show that the Alloys of White Gold 6 k 25%Au+54%Ag+0%Cu+3% Zn+18%Pd Have Similar Tensile Strength. The Maximum Percentage of Elongation is 9 0 % and the Minimum Hardness is 186.73HV. It is Suitable for Forming because it has Ductile Material.

Keywords: 6k White Gold Jewelry, Mechanical Properties

1. บทนำ

ปัญหาด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ ทั้งในรูปของโลหะมีค่าบริสุทธิ์ โลหะเจือสำเร็จรูปหรือที่เรียกว่าอัลลอยสำหรับผสมกับโลหะมีค่า และโลหะเจือที่ใช้สำหรับการผลิตเครื่องประดับเทียม (อาทิเช่น ทองคำเจือ เงินเจือ แพลทินัมเจือ ทองเหลือง ดีบุก และตะกั่ว เป็นต้น) การศึกษาวิจัยและพัฒนาด้านวัตถุดิบนี้ควรที่จะมีการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตอัลลอยขึ้นมาใช้เองภายในประเทศและ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3
Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเริ่มทำการศึกษาวิจัยอิทธิพลของธาตุเจือต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของโลหะมีค่า (สมบัติทางกล ความต้านทานการร่อน การปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อน และสมบัติทางด้านการหล่อขึ้นรูป)

จากปัญหาของภาคอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ดังที่ได้กล่าวข้างต้น การศึกษาวิจัยของโครงการวิจัยนี้ จะทำการศึกษาวิจัยเพื่อการศึกษาพัฒนาส่วนผสมของธาตุเจือที่เหมาะสมของโลหะทองขาว 6k โดยทำการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือเงิน ทองแดง พาเลเดียม และสังกะสี ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล การทดสอบความต้านทานแรงดึง และการทดสอบความแข็ง และนอกจากนี้การดำเนินการของโครงการวิจัยนี้ยังมีประโยชน์สำหรับการพัฒนาการเรียนการสอนในรูปแบบของการบูรณาการเรียนการสอนร่วมกับภาควิชาในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ โลหะวิทยาโลหะมีค่า ที่ทางมหาวิทยาลัยได้มีการจัดการเรียนการสอน ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของส่วนผสมทางเคมีที่เหมาะสมของทองขาว 6k

2.2 เพื่อศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือโลหะทองขาว 6k ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล (ค่าความต้านทานแรงดึง, ค่าความแข็ง)

3. วิธีการศึกษา

3.1 การดำเนินการหล่อหลอมผสมโลหะเพื่อผลิตชิ้นงานทดสอบสำหรับการวิจัยนี้ ดำเนินการโดยการหลอมโลหะทองขาวที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ซึ่งทำการหลอมผสมด้วยเครื่องหลอมเทเม็ค โลหะที่ทำการหลอมโลหะผสมโลหะภายใต้สภาวะสูญญากาศและปกคลุมผิวหน้าโลหะด้วยก๊าซอาร์กอน ด้วยเครื่องหล่อ Profitcast รุ่น IC 600 ที่ใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ หลังจากทำการหลอมผสมโลหะจนส่วนผสมต่างๆ หลอมผสมเข้าด้วยกันแล้วทำการเทหยดน้ำโลหะลงในน้ำเป็นเม็ดโลหะ

3.2 การหล่อหลอมขึ้นรูปชิ้นทดสอบโลหะทองขาว 6k ได้ดำเนินการหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบเป็นแท่งคัมเบล สำหรับการวิเคราะห์สมบัติความต้านทานแรงดึงโดยตัวแบบเทียนของชิ้นทดสอบสำหรับการหล่อขึ้นรูปได้จากการฉีดเทียนเข้าไปในโพรงแบบซิลิโคน สำหรับในชิ้นทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ทดสอบความแข็ง ชิ้นทดสอบถูกกำหนดให้มีขนาด $20 \times 20 \times 3$ mm ซึ่งตัวแบบเทียนทั้งหมดจะถูกนำไปติดเป็นต้นเทียนสำหรับการหล่อขึ้นรูปด้วยขบวนการ Investment Casting ด้วยเครื่องหล่ออุตสาหกรรม

3.3 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของโลหะทองขาว 6k เพื่อต้องการตรวจวัดค่าความแข็งแรงสูงสุดและค่าความยืดหยุ่นของโลหะทองขาว เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงที่ใช้สำหรับงานทดสอบเป็นเครื่องทดสอบ

ที่ใช้สำหรับทดสอบพลาสติกและโลหะอ่อนที่มีความยืดหยุ่นสูง โดยทำการทดสอบแรงดึงอัตราส่วนผสมละ 5 ชิ้น และเงื่อนไขการทดสอบเพิ่มความเค้นไม่เกิน 10 N/mm² ต่อวินาที ขนาดชิ้นทดสอบช่วง Gauge length มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm ยึดถือตามมาตรฐาน ASTM E 8M - 99

3.4 การทดสอบความแข็งของโลหะทองขาว 6k เป็นการตรวจสอบวัดค่าความแข็งสำหรับการทดสอบ ใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Micro Hardness Testing Machine ของ Mitutoyo, Japan รุ่น MVK-H11 ที่ได้รับการสอบเทียบความแข็งกับแผ่นทดสอบความแข็งมาตรฐานก่อนการทดสอบชิ้นทดสอบทุกครั้ง

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k

จากผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของส่วนผสมโลหะทองขาว 6k โดยการทดสอบและวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่ทำการผสมจริงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ XRF (X-ray Fluorescence Spectrometers) สำหรับเปรียบเทียบและยืนยันผลการทดลองการผสมของปริมาณธาตุที่อัตราต่างๆ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 และชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนทั้งสี่ชนิด พบว่า โลหะผสมที่ได้ทุกสูตรที่ทำการผสมจริงมีอัตราส่วนและปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF (X-ray Fluorescence Spectrometers) ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากการสูญเสียปริมาณธาตุขณะทำการหลอมโลหะ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของส่วนผสมโลหะทองขาว 6k

อัตราส่วนผสม	สัดส่วนการผสม (wt%) ที่กำหนดในการทดลอง				
	Au	Ag	Cu	Zn	Pd
25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd	25. 41	53. 70	13. 53	1.8 2	5.43
25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd	25. 77	59. 86	8.6 9	-	5.68
25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd	25. 46	60. 38	6.6 0	1.9 6	5.49
25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd	24. 83	64. 40	1.7 4	3.5 8	5.37

4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k

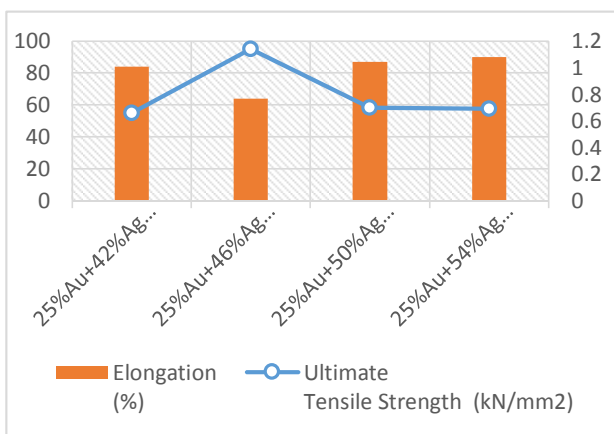
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3
 Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

4.2.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k ในแต่ละอัตราส่วนผสม โดยทำการวิเคราะห์ค่า Force Max., Strength Max., Ultimate Tensile Strength และค่า Elongation ปรากฏในตารางที่ 2 และรูปที่ 1 จากผลการทดสอบ พบว่าค่า Force Max., Strength Max., Ultimate Tensile Strength ของชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนผสม 25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd มีค่าสูงสุด และมีค่า Elongation ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ นอกจากนี้พบว่า ชิ้นงานทดสอบ 25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd, 25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd และ 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd สมบัติทางกลแตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้การที่อัตราส่วนผสมมีปริมาณที่มากน้อยแตกต่างกันและอิทธิพลคุณสมบัติของธาตุแต่ละชนิดไม่เหมือนกันจึงทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงและมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงต่ำไม่เท่ากัน

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k

อัตราส่วนผสม	Force Max. (kN)	Strength Maxim (MPa)	Ultimate Tensile Strength (kN/mm ²)	Elongation (%)
25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd	3.14	0.54	0.66	84
25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd	4.97	0.92	1.14	64
25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd	3.32	0.58	0.70	87
25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd	3.20	0.56	0.69	90



รูปที่ 1 กราฟค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็ง

จากการศึกษาค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k หลังเติมธาตุเงิน(Ag) ทองแดง (Cu) สังกะสี(Zn) และพาลาเดียม(Pd) เข้าไปในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในแต่ละด้านของชิ้นงานทดสอบ โดยเฉพาะค่าความแข็งที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (HV) สามารถแสดงรายละเอียดค่าความแข็งดังตารางที่ 3 พบว่าโลหะทองขาว 6k ที่อัตราส่วนผสม 25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd ที่มีส่วนผสมใกล้เคียงส่วนผสมซึ่งเกิดจากการผสมทองแดงและสังกะสีผสมเข้าด้วยกันเป็นเนื้อเดียวกันในลักษณะสารละลายของแข็ง และตรงกับทฤษฎีพื้นฐานทางโลหะวิทยาที่โลหะผสมจะมีความแข็งแรงสูงสุดที่ส่วนผสมยูเทคติก และปริมาณทอง (Au) เงิน(Ag) และทองแดง(Cu) ที่ผสมเข้าไปมีปริมาณค่อนข้างมากจึงส่งผลต่อค่าความแข็งที่สูงกว่าโลหะทองขาว 6k ของส่วนผสมอื่นๆ ส่วนค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k ที่อัตราส่วนผสม 25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd, 25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd มีค่าความแข็งค่อนข้างใกล้เคียงกันมีค่าเท่ากับ 259.87 HV และ 244.60 HV ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมโลหะทองขาว 6k 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd มีค่าความแข็งเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 186.73 HV จากผลการทดสอบเป็นไปตามหลักทฤษฎีพื้นฐานทางโลหะ 1) ปริมาณของเงินที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความแข็งของส่วนผสมอัลลอย มีแนวโน้มลดลง 2) ปริมาณของทองแดงที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความแข็งของส่วนผสมอัลลอย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 3) ปริมาณของสังกะสีที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความแข็งของส่วนผสมอัลลอย มีแนวโน้มคงที่

ตารางที่ 3 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบของโลหะทองขาว6k

อัตราส่วนผสม	ค่าความแข็งเฉลี่ย (HV)
25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd	277.60
25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd	259.87
25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd	244.60
25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd	186.73

5. สรุป

5.1 จากการทดสอบและวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่ทำการผสมจริงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ XRF (X-ray Fluorescence Spectrometers) พบว่าส่วนผสมทางเคมีของโลหะทองขาว 6k มีปริมาณที่แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณก่อนและหลังกระบวนการหลอม

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3
Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

5.2 จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของค่าความต้านทานแรงดึงของโลหะทองขาว 6k สูตรส่วนผสม 25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.14 kN/mm² มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำที่สุดเท่ากับ 64% และมีค่าความแข็งเท่ากับ 259.87HV ซึ่งผลการทดสอบที่แสดงออกมาแบบนี้คุณสมบัติทางกลของวัสดุจะเป็นแบบแข็งเปราะ (Brittle Material) เมื่อนำไปขึ้นรูปจะเกิดการแตกหักได้ง่าย และกระบวนการขึ้นรูปจะเป็นไปได้ยาก นอกจากนี้อีก 3 สูตรส่วนผสมโลหะทองขาว 6k 25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd, 25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd และ 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd มีค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วง 0.66-0.70 kN/mm² มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวอยู่ในช่วง 84-90% และมีค่าความแข็งอยู่ที่ 277.60, 244.60 และ 186.73HV ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าที่ส่วนผสมโลหะทองขาว 6k 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd มีค่าความต้านทานแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์ของการยืดตัวสูงที่สุดเท่ากับ 90% และมีค่าความแข็งน้อยที่สุดเท่ากับ 186.73HV จะเหมาะสำหรับการขึ้นรูปเพราะมีคุณสมบัติแข็งเหนียว (Ductile Material) การขึ้นรูปจะทำได้ง่าย ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกลที่ดีในการขึ้นรูปโลหะมีค่าต่อไป และส่วนผสมทางเคมีของทองคำกะรัตที่ได้จากนำทองบริสุทธิ์ผสมอัลลอยสำหรับผสมทองคำกะรัต ในระบบทอง เงิน ทองแดงและสังกะสี อิทธิพลของเงินที่มีต่อทองคำเจือเงินเป็นโลหะที่ช่วยเพิ่มความแข็งเมื่อผสมลงไปในทองคำเจือเงินมีผลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการผสมทองแดงและสีที่เปลี่ยนแปลงไปทางขาว อิทธิพลของทองแดงที่มีต่อทองคำเจือทองแดงสามารถเพิ่มความแข็งให้กับทองคำเจือได้มากกว่าเมื่อเทียบกับเงินและสีที่เปลี่ยนแปลงไปทางสีแดง หรือชมพู อิทธิพลของสังกะสีที่มีต่อทองคำเจือ จะส่งผลทำให้แนวโน้มของทองคำระบบทองคำ-เงิน-ทองแดง-สังกะสีมีความแข็งน้อยกว่าทองคำระบบทองคำ-เงิน-ทองแดงลดการเกิดออกซิเดชัน สีที่เปลี่ยนไปทางขาว และเพิ่มสภาวะการไหลลื่นในระบบทองคำเจือ ส่วนธาตุเจือพาลเดียมจะช่วยให้โลหะมีความขาวและแวววาวเพิ่มมากขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาในระบบทองคำเจืออื่นๆ ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนผสมรองอีกหลายชนิดที่มีผลต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และระดับสีของทองคำกะรัตผสมอัลลอยของโลหะทองขาว 6k โครงการนี้เป็นเพียงตัวอย่างอัลลอยในระบบทองคำ-ทองแดงและเงินมาตรฐาน ยังไม่ได้ทำการศึกษาในระบบทองคำเจือระบบอื่นๆ หรือส่วนผสมรอง จึงมีความสำคัญที่ควรจะมีการศึกษาวิจัยอิทธิพลของโลหะผสมรองชนิดต่างๆ ที่สามารถเข้าไปในโลหะทอง นอกเหนือจากระบบทองคำเจือระบบทองคำ-ทองแดง-เงินและสังกะสี

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Katsuhiko Yasuda. "Age Hardening and Relate Phase Trans for major in Dental Gold Alloys", Gold Bulletin.20,1982, pp.90-103.
- [2] ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, "การใช้งานทองและทองผสม", การสัมมนาโครงการวิจัย คุณสมบัติของโลหะมีค่าสำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ, 2541, หน้า 76-77
- [3] สมนึก วัฒนศรียกูล, "การทดสอบวัสดุ (Material Testing)", กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549, หน้า 13-19



อาจารย์ธีระวัฒน์ แม้นด้วง
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
เครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: การปรับปรุงสมบัติทางกล
และโทรโบลีย์ ของ UHMWPE ด้วยไมโคร-
นาโนฟิลเลอร์, Precious Metal Metallurgy,
Investment Casting



อาจารย์อาวรุท ฉายศิริ
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
เครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: การปรับปรุงสมบัติโลหะมีค่า
สำหรับการผลิตเครื่องประดับ