บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3

Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับโลหะทองขาว 6k

A Study an Optimum Casting Condition for Manufacturing Jewelry Setting of White Gold Alloy 6k

สุรพล จักรชัยกุล[1] และ ธีระวัฒน์ แม้นด้วง[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: suraphon.j@rmutp.ac.th

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: teerawat_gt@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาพัฒนาส่วนผสมโลหะทองขาว 6k สำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ โดยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับและวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือโลหะทองขาว 6k ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ผลการทดลองพบว่าจากการทดสอบและวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่ทำการผสมจริงด้วยการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ XRF (X-ray Fluorescence Spectrometers) พบว่าส่วนผสมทางเคมีของโลหะทองขาว 6k มีปริมาณที่แตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก่อนและหลังกระบวนการหลอม พบว่าค่าความร้อนจากสูตรการเจือ 25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd,25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd,25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd,25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd พบว่าค่าความร้อนจากจุดเริ่มต้นถึงระดับความเปลี่ยนแปลงสถานะก่อนกลายเป็นของเหลวใช้อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 702.3 - 636.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สรุปผลเห็นได้ว่าสูตรการเจือ 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd เป็นสูตรการเจือซึ่งให้ค่าความร้อนที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวต่ำที่สุดเท่ากับ 636.7 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่ดีที่สุดของการทดลองนี้ เหมาะสำหรับการใช้ในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ อันเนื่องมาจากสามารถหลอมละลายเพื่อการหล่อขึ้นรูป การหลอมละลายเพื่อขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร และขึ้นรูปด้วยมือ ปริมาณของธาตุสังกะสี (Zn) อาจเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงซึ่งแปรผันตรงจากสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นสูงสุดในลำดับการเจือสุดท้าย ปริมาณที่ 3.58 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เครื่องประดับโลหะทองขาว 6k, กระบวนการขึ้นรูป, วัสดุตัวเรือนเครื่องประดับ, จุดหลอมละลาย

Abstract

This Research is to Study the Development of 6k White Gold Alloys for Jewelry Production. The Optimum Conditions for Casting Jewelry and Jewelry were Investigated. The Results of the Experiments Show that the Chemical Composition of the 6k White Gold Alloys is Slightly Different when Compared with XRF (X-ray Fluorescence Spectrometers) Pre-and Post-Melting Quantities The Heat of the Test Specimen was found to be25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd,25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd,25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pdand25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+ 18%Pd It is Found that the Heat from the Beginning to the Level of Change before the Liquid is used the Average Temperature of 702.3 - 636.7 Degrees Celsius, Respectively, 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd It is the Formula that Gives the Lowest Value of Liquid State Change from 636.7 Degrees Celsius to the Best Value of this Experiment. Suitable for use in the Manufacture of Jewelry due to its Melting Ability for Molding. Melting for Molding and Formed by Hand. The Amount of Zinc(Zn) may be an Important Factor in the Variation, which is Directly Proportional to the Maximum Increase in the Final order of 3.58 Percent.

Keywords: 6k White Gold Jewelry, Forming Process, Jewelry Housing Material, Melting Point

1. บทนำ

ปัญหาด้านการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ เนื่องจากการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคนิคการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ ยังมีผลงานการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาและสร้างองค์ความรู้ค่อนข้างน้อย ไม่สามารถทำการศึกษาวิจัยได้ครอบคลุมสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นกับ

ผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มผู้ประกอบการที่เป็น SMEs. เช่น อัตราส่วนผสมระหว่างก๊าซ LPG และออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อที่ทำการหล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงที่ให้ความร้อนด้วยหัวเผา (Torch หรือ Burner) แบบสัมผัสบรรยากาศเปิดปกติ ตัวแปรของอุณหภูมิน้ำโลหะและแบบหล่อที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ อิทธิพลของบรรยากาศที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ อิทธิพลของธาตุเจือต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ และอิทธิพลของขนาดทางเดินน้ำโลหะที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ เป็นต้น

จากปัญหาของภาคอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับดังที่ได้กล่าวข้างต้น การศึกษาวิจัยของโครงการวิจัยนี้ จะทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาส่วนผสมโลหะทองขาว 6k สำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ โดยทำการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือเงิน ทองแดง สังกะสี และพาเลเดียม ที่มีผลต่อสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับโลหะทองขาว 6k เพื่อสร้างองค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสาขานี้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของส่วนผสมทางเคมีที่เหมาะสมต่อทองขาว 6k

2.2 เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับโลหะทองขาว 6k

3. วิธีการศึกษา

3.1 การดำเนินการหล่อหลอมผสมโลหะเพื่อผลิตชิ้นงานทดสอบสำหรับการวิจัยนี้ ดำเนินการโดยการหลอมโลหะทองขาวที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ซึ่งทำการหลอมผสม ด้วยเครื่องหลอมเทเม็ดโลหะที่ทำการหลอมโลหะผสมโลหะภายใต้สภาวะสุญญากาศและปกคลุมผิวน้ำโลหะด้วยก๊าซอาร์กอน ด้วยเครื่องหล่อ Profitcast รุ่น IC 600 ที่ใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับ หลังจากทำการหลอมผสมโลหะจนส่วนผสมต่างๆ หลอมผสมเข้าด้วยกัน เพื่อทำเป็นชิ้นงานทดสอบต่อไป สภาวะของการหลอมผสมเทเม็ดโลหะ เพื่อผลิตชิ้นงานทดสอบได้แก่ อัตราส่วนผสมของเม็ดโลหะประกอบด้วย Au+Ag+Cu+Zn+Pd,ความจุของการหลอมผสมโลหะครั้งละ 1/2 กิโลกรัม,อุณหภูมิหลอมผสมโลหะ 1,150ºC, ระยะเวลาของการคงอุณหภูมิก่อนทำการเทหยดเม็ดโลหะ 10 นาทีและหลอมผสมโลหะภายใต้สภาวะสุญญากาศและปกคลุมผิวน้ำโลหะด้วยก๊าซอาร์กอน

3.2 การหล่อหลอมขึ้นรูปชิ้นทดสอบโลหะทองขาว 6k ได้ดำเนินการหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบ สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพโดยตัวแบบเทียนของชิ้นทดสอบสำหรับการหล่อขึ้นรูปได้จากการฉีดเทียนเข้าไปในโพรงแบบซิลิโคลน ชิ้นทดสอบถูกกำหนดให้มีขนาด 20×20×3 มิลลิเมตร ซึ่งตัวแบบเทียนทั้งหมดจะถูกนำไปติดเป็นต้นเทียนสำหรับการหล่อขึ้นรูปด้วยขบวนการ Investment Casting ด้วยเครื่องหล่อดูดสุญญากาศยี่ห้อ Profitcast รุ่น IC 600

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษา ผู้วิจัยมุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาวิจัยนี้ เพื่อการศึกษาพัฒนาส่วนผสมของธาตุเจือที่เหมาะสมของโลหะทองขาว 6k โดยทำการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลปริมาณของธาตุเจือเงิน ทองแดง พาเลเดียม และสังกะสี ที่มีผลต่อสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับโลหะทองขาว 6k

4.1 วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k

จากผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของส่วนผสมโลหะทองขาว 6k โดยการทดสอบและวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่ทำการผสมจริงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ XRF (X-ray Fluorescence Spectrometers) สำหรับเปรียบเทียบและยืนยันผลการทดลองการผสมของปริมาณธาตุที่อัตราต่างๆ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1-2 และชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนทั้งสี่ชนิด พบว่า โลหะผสมที่ได้ทุกสูตรที่ทำการผสมจริงมีอัตราส่วนและปริมาณแตกต่างเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF (X- ray Fluorescence Spectrometers) ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากการสูญเสียปริมาณธาตุขณะทำการหลอมโลหะ จึงส่งผลให้ปริมาณธาตุที่ตรวจพบมีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย

ตารางที่ 1 สัดส่วนการผสม (wt%) ที่กำหนดในการทดลองของส่วนผสมโลหะทองขาว 6k

อัตราส่วนผสม	สัดส่วนการผสม (wt%) ที่กำหนดในการทดลอง				
	Au	Ag	Cu	Zn	Pd
25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd	25	42	12	3	18
25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd	25	46	8	3	18
25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd	25	50	4	3	18
25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd	25	54	0	3	18

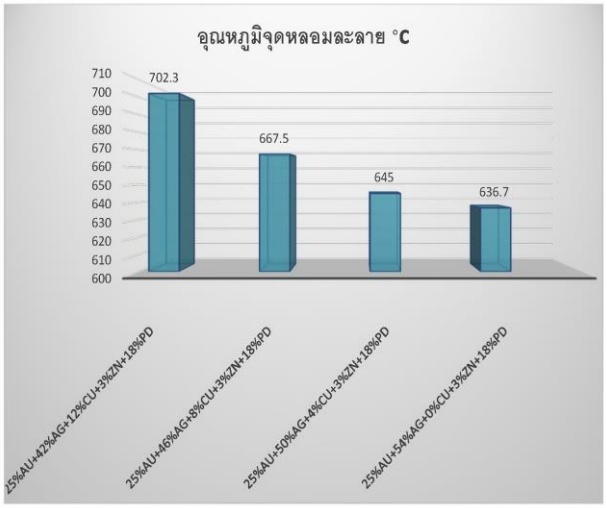
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของส่วนผสมโลหะทองขาว 6k

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	1.82	5.43
25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd	25.77	59.86	8.69	-	5.68
25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd	25.46	60.38	6.60	1.96	5.49
25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd	24.83	64.40	1.74	3.58	5.37

4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนจากชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความวามร้อน

ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k ในแต่ละอัตราส่วนผสม โดยทำการวิเคราะห์ด้วยการอ่านค่าความร้อนเมื่อเริ่มต้น ให้จนถึงมีปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงทางสถานะโครงสร้างผลึกของทองขาว6k แต่ละสูตร และผ่านการจดบันทึกในบทที่ผ่านมา แสดงรายละเอียดคือสูตรการเจือที่ 1 เจือที่ 25%Au+42%Ag+12%Cu+3%Zn+18%Pd จากผลการทดสอบ พบว่าค่าความร้อนจากจุดเริ่มต้นถึงระดับความเปลี่ยนแปลงสถานะ ก่อนกลายเป็นของเหลวใช้อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 702.3 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเป็นค่าทดสอบทางความร้อนก่อนการเปลี่ยนสถานะสูงที่สุด สูตรการเจือที่ 2 เจือที่ 25%Au+46%Ag+8%Cu+3%Zn+18%Pd พบว่าค่า ความร้อนจากจุดเริ่มต้นถึงระดับความเปลี่ยนแปลงสถานะก่อนกลายเป็นของเหลวใช้อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 667.5 องศาเซลเซียสเห็นได้ว่าเป็นค่าทดสอบทางความร้อนก่อนการเปลี่ยนสถานะที่สูง สูตรการเจือที่ 3 เจือที่ 25%Au+50%Ag+4%Cu+3%Zn+18%Pd จากผลการทดสอบ พบว่า ค่าความร้อนจากจุดเริ่มต้นถึงระดับความเปลี่ยนแปลงสถานะ ก่อนกลายเป็นของเหลวใช้อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 645.0 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเป็นค่าทดสอบทางความร้อนก่อนการเปลี่ยนสถานะที่ต่ำลงมาเล็กน้อย สูตรการเจือที่ 4 เจือที่ 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd จากผลการทดสอบ พบว่าค่าความร้อนจากจุดเริ่มต้นถึงระดับความเปลี่ยนแปลงสถานะก่อนกลายเป็นของเหลวใช้อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 636.7องศาเซลเซียส เห็นได้ว่าเป็นค่าทดสอบทางความร้อนก่อนการเปลี่ยนสถานะที่ต่ำที่สุด สมบัติทางความร้อนแตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้การที่อัตราส่วนผสมมีปริมาณที่มากน้อยแตกต่างกันก่อให้เกิดอิทธิพลคุณสมบัติของธาตุแต่ละชนิดไม่เหมือนกันจึงทำให้มีค่าความร้อนก่อนการเปลี่ยนสถานะ ไม่เท่ากัน



รูปที่ 1 กราฟแสดงอุณหภูมิจุดหลอมละลายของโลหะทองขาว 6k ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

4.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าความวามร้อน

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k ในแต่ละอัตราส่วนผสม โดยทำการวิเคราะห์ด้วยการอ่านค่าความร้อนเมื่อเริ่มต้นให้จนถึงมีปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงทางสถานะโครงสร้างผลึกเมื่อทองขาว 6k โดยธาตุสังกะสี (Zn) อาจเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงซึ่งแปรผันตรงตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นสูงสุดในลำดับการเจือสุดท้ายดังสูตรการเจือที่ 4 ปริมาณที่ 3.58 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาตามหลักการทางความร้อนของธาตุเจือดังกล่าวตามจุดมุ่งหมายแห่งการทดลองครั้งนี้การเจือเพื่อปรับคุณสมบัติเป็นไปตามเป้าประสงค์ การทดลองในครั้งนี้ยังเห็นอีกได้ว่าการเจือธาตุ สังกะสีเพียง 1-2 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการลดอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวของทองขาว 6k ที่มีสูตรการผสมของธาตุ ทอง(Au) เงิน(Ag) ทองแดง(Cu) สังกะสี(Zn) และพาเลเดียม(Pd) ได้

5. สรุป

5.1 จากการทดสอบและวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่ทำการผสมจริงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ XRF (X-ray Fluorescence Spectrometers) พบว่าส่วนผสมทางเคมีของน้ำประสานทองมีปริมาณที่แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณก่อนและหลังกระบวนการหลอม

5.2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของชิ้นงานทดสอบโลหะทองขาว 6k ในแต่ละอัตราส่วนผสม โดยทำการวิเคราะห์ด้วยการอ่านค่าความร้อนเมื่อเริ่มต้นให้จนถึงมีปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงทางสถานะโครงสร้างผลึกของทองขาว 6k โดยธาตุสังกะสี (Zn) อาจเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงซึ่งแปรผันตรงจากสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นสูงสุดในลำดับการเจือสุดท้าย ดังสูตรการเจือที่ 4 ปริมาณที่ 3.58 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณา ตามหลักการทางความร้อนของธาตุเจือดังกล่าวตามจุดมุ่งหมายแห่งการทดลองครั้งนี้เจือเพื่อปรับคุณสมบัติเป็นไปตามเป้าประสงค์ การทดลองในครั้งนี้ยังเห็นอีกได้ว่าการเจือธาตุสังกะสีเพียง 1-2 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการลดอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวของทองโลหะทองขาว 6k ที่มีสูตรการผสมของธาตุ ทอง(Au) เงิน(Ag) ทองแดง(Cu) สังกะสี(Zn) และพาเลเดียม(Pd) ได้ ปัจจัยที่สองและสามของปริมาณธาตุเจือที่ต่างกันและอาจมีผลร่วมคือ เงิน(Ag) และทองแดง(Cu) แต่อาจส่งผลกระทบเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความต่างกันของอุณหภูมิของการเกิดหลอมละลาย

5.3 การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าทั้งสี่สูตรการเจือผลทางความร้อนก่อนการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวนั้นสามารถนำไปขึ้นตัวเรือนเครื่องประดับได้เป็นอย่างดี หลอมละลายง่ายอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 702.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นต่ำสุดอยู่ที่ 636.7 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความต่างการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวของธาตุที่นำมาทดลองจากการผ่านการวิเคราะห์ และสรุปผลเห็นได้ว่าสูตรเจือที่ 4 25%Au+54%Ag+0%Cu+3%Zn+18%Pd เป็นสูตรการเจือซึ่งให้ค่าความร้อนที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงสถานะ จากของแข็งเป็นของเหลวต่ำที่สุด ค่าเฉลี่ยที่ 636.7 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่ดีที่สุดของการทดลองนี้

6. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในส่วนของการพัฒนาทางด้านกระบวนการการหล่อขึ้นรูปงานเครื่องประดับของทองขาว 6k ตามสูตรการเจือที่มีส่วนผสมทอง เงิน ทองแดง สังกะสี และพาเลเดียมโดยเริ่มศึกษาการเปลี่ยนแปลงเริ่มต้นสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวจุดเดือดถึงระดับการระเหิดทั้งนั้นเพื่อง่ายแก่การออกแบบการหล่อรวมถึงอุณหภูมิการอบเบ้าก่อนการหล่อขึ้นรูปทองขาว 6k ตามธาตุที่มีส่วนเจือดังกล่าว

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Katsuhiro 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] อรัญ หาญสืบสาย, “การสื่อสารเรื่องสีอย่างแม่นยำ และการควบคุมสีจากการรับรู้ไปสู่อุปกรณ์วัดสี”, Trinity Publishing Co., Ltd., Thailand

ประวัติผู้เขียนบทความ

อาจารย์สุรพล จักรชัยกุล
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต, Precious Metal Metallurgy, Investment Casting

อาจารย์ธีระวัฒน์ แม้นด้วง
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: Precious Metal Metallurgy, Investment Casting, Metal Thermal Processing, Polymer Tribology