

การพัฒนาคุณสมบัติของเส้นลวดทองคำ 14 กระรัต โดยกรรมวิธีทางความร้อน

นาย จาพิกรณ์ สุวีกรม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-451-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE DEVELOPMENT ON PROPERTIES OF 14 CARAT GOLD
WIRE BY HEAT TREATMENT

Mister Jarpikorn Suvikrom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Metallurgical Engineering

Department of Metallurgical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-331-451-2

พิมพ์ต้นฉบับบทความด้วยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

จาทิกรณ์ สุวิกรม : การพัฒนาคุณสมบัติของเส้นลวดทองคำ 14 กะรัต โดยกรรมวิธีทางความร้อน
(THE DEVELOPMENT ON PROPERTIES OF 14 CARAT GOLD WIRE BY HEAT
TREATMENT)

อ. ที่ปรึกษา : ดร. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร. ฉัตรชัย สมศิริ; 75 หน้า.

ISBN 974-331-451-2

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาค ระยะเวลาในการอบเป็นเนื้อเดียว และค่าความแข็งของเส้นลวดทองคำ 14 กะรัต (59.0wt.%Au-14.6wt.%Ag-26.4wt.%Cu) ที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการหล่อด้วยแบบปูนในระบบสุญญากาศและนำมารีดเป็นเส้นลวดด้วยปริมาณลดพื้นที่หน้าตัด 0-88 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเปรียบเทียบกับเส้นลวดทองคำที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว

ผลการทดลองพบว่า โครงสร้างที่เกิดการแยกชั้นในระดับจุลภาคหรือคอร์ริงถูกขจัดด้วยการอบเป็นเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นชุบลงในน้ำผสมน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิใกล้ 0 องศาเซลเซียส การทดลองดังกล่าวพบว่าชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวมีค่าความแข็งลดลงและกระจายตัวสม่ำเสมอกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว

การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอิทธิพลของการอบอ่อน และอบเพิ่มความแข็งต่อค่าความแข็งเส้นลวดทองคำ 14 กะรัต ที่มีปริมาณลดพื้นที่หน้าตัด 88 เปอร์เซ็นต์ พบว่าชิ้นงานทดลองที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวและไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านการอบเพิ่มความแข็งที่ทำให้เกิดการตกผลึกเป็นเฟสใหม่ อย่างไรก็ตามผลการอบเป็นเนื้อเดียว การอบอ่อน การอบเพิ่มความแข็ง แสดงความแตกต่างด้านค่าความแข็งไม่มากนัก (260 HV) เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว (253 HV)

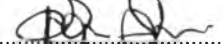
ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ

สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ

ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 

C818158 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: 14 CARAT GOLD / HARDNESS / HOMOGENIZATION / ANNEALING / AGE HARDENING

JARPIKORN SUVIKROM : THE DEVELOPMENT ON PROPERTIES OF 14 CARAT GOLD WIRE BY HEAT TREATMENT. THESIS ADVISOR : Dr. EKASIT NISARATANAPORN THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. CHATCHAI SOMSIRI, Ph.D. 75pp. ISBN 974-331-451-2

The relationships between the microstructures ,holding time for homogenization and hardness of 14 carat gold wire (59.0wt.%Au-14.6wt.%Ag-26.4wt.%Cu) ,produced by using investment casting process with vacuum system and subsequently rolled into wire shape with various reductions of area from 0-88% ,have been investigated. For comparison purposes, wires without homogenization treatment were produced at some rolling condition.

The results from experiments indicated that the micro-segregated structure or coring were completely eliminated by using homogenization condition at temperature about 800^oC for 4 hours and subsequently quench in almost zero-temperature water with ice mixture. It was also found that the hardness values of homogenized specimens were decreased and more uniformly distributed across the cross section than those without homogenization treatment.

The additional study of the effect of annealing and ageing treatment on the hardness of 14 carat gold wire with the reduction of area (88%) was carried out. The hardness of both homogenized and non-homogenized specimens increased after ageing treatment due to the occurrence of precipitates. However the effect of homogenization or annealed and age specimens has no significantly produced any difference on the hardness (260 HV) when compared with that of non-homogenized specimens (253 HV).

ภาควิชา..... วิศวกรรมโลหการ.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมโลหการ.....

ปีการศึกษา..... 2541.....

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จล่วงด้วยดี ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรชัย สมศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วมวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จตามเป้าหมาย

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยโลหะ และวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ และเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ ในการวิจัย

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์ด้านการวิเคราะห์ และทดสอบงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ ทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกในการปฏิบัติงานวิจัย การประสานงาน และเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจ พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดู อบรม และส่งเสริม การศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนทุกด้านจนสามารถสำเร็จการศึกษาสมตามเจตนารมณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ และขอบเขตงานวิจัย	3
1.2 ความสำคัญ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 วารสารปริทัศน์	4
2.1 โลหะทองคำผสม หรือทองคำกะรัต	4
2.1.1 ทองคำบริสุทธิ์	4
2.1.2 ทองคำกะรัต	4
2.1.2.1 ทองคำกะรัตในระบบทองคำ เงิน และทองแดง.....	6
2.1.2.1.1 ทองคำ 22 20 และ 18 กะรัต	8
2.1.2.1.2 ทองคำ 16 และ 14 กะรัต	10
2.1.2.1.3 ทองคำ 10 9 และ 8 กะรัต	11
2.1.3 มาตรฐานการวัดความบริสุทธิ์ของทองคำ	11
2.2 อิทธิพลของธาตุผสมที่ใช้เติมลงในทองคำ	12
2.2.1 โลหะทองคำผสมที่ประกอบด้วยทองคำ เงิน และทองแดง	14
2.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงเฟสในทองคำกะรัต	
ในระบบ ทองคำ เงิน และทองแดง	15
2.3 การอบเป็นเนื้อเดียว (Homogenization)	20
2.3.1 การประมาณเวลาที่ใช้ในการอบเป็นเนื้อเดียว	22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	26
3.1	26
3.1.1	26
3.2	26
3.2.1	26
3.2.1.1	26
3.2.1.2	28
3.2.1.3	29
3.2.1.4	30
3.2.1.5	30
3.2.2	31
3.2.2.1	31
3.2.2.2	31
3.2.2.3	31
3.2.2.4	32
3.3	33
4.	34
4.1	34
4.2	44
4.3	48
4.4	50
5.	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง	57
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลจากการทดลอง.....	58
ภาคผนวก ข. การคำนวณเวลาในการอบเป็นเนื้อเดียว	71
ประวัติผู้เขียน	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสมบัติของทองคำ เงิน และทองแดง	4
2.2 แสดงส่วนผสมทองคำกะรัตของโรงงานแห่งหนึ่งในประเทศอเมริกา	5
2.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งต่อปริมาณส่วนผสมทองแดงในทองคำ 18 กะรัต	10
2.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งต่อปริมาณส่วนผสมทองแดงในทองคำ 14 กะรัต	10
2.5 แสดงค่าความแข็งของทองคำ 14 กะรัต ต่อปริมาณการขึ้นรูป	11
2.6 แสดงการเปรียบเทียบหน่วยวัดความบริสุทธิ์ทองคำ	12
2.7 แสดงอิทธิพลของธาตุผสมต่างๆ ที่ใช้เติมในโลหะทองคำ	13
2.8 แสดงส่วนผสมทองคำกะรัตของโรงงานหนึ่งในประเทศแอฟริกาใต้	14
2.9 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเฟสของทองคำ 18 16 และ 14 กะรัต.....	19
2.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของธาตุต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	24
3.1 แสดงความบริสุทธิ์ของวัสดุดิบ	26
3.2 แสดงผลการตรวจส่วนผสมทางเคมีของทองคำ 14 กะรัตที่ใช้ในการทดลอง	27
3.3 แสดงระยะห่างของแกนเดนไดรต์ในทองคำกะรัตที่ใช้ในการทดลอง	28
3.4 แสดงค่าส่วนผสมทองเคมีของเดนไดรต์ และช่องระหว่างเดนไดรต์	29
4.1 แสดงการเปรียบเทียบส่วนผสมที่ผิวชิ้นงานที่อบ และ ไม่อบเป็นเนื้อเดียว	40
4.2 แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยของทองคำ 14 กะรัตและ 16 กะรัตที่อบเป็นเนื้อเดียวแล้วปล่อยให้เย็นตัวภายในเตา	42
4.3 แสดงค่าส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานที่ผ่านการอบเพิ่มความแข็ง	51

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงแผนภูมิสมมูลเฟสทองคำกะรัตในระบบ 3 ชาติของทองคำ เงินและทองแดง	6
2.2 แสดงภาพตัด ในแนวระนาบแผนภูมิสมมูลเฟสทองคำกะรัตในระบบ 3 ชาติของทองคำ เงิน และทองแดง	7
2.3 แสดงภาพตัดขวางแผนภูมิสมมูลเฟสในระบบ 3 ชาติของทองคำกะรัตต่างๆ	8
2.4 แสดงกราฟค่าความแข็งทองคำกะรัตต่างๆ เมื่ออบเพิ่มความแข็ง	9
2.5 แสดงส่วนผสมทางเคมีของทองคำกะรัต และสีที่เกิดขึ้น	14
2.6 แสดงภาพตัดขวางแผนภูมิสมมูลเฟสที่เกิดขึ้นจาก โลหะผสมระหว่างทองคำและทองแดง	15
2.7 แสดงภาพตัดขวางแผนภูมิสมมูลเฟสของทองคำกะรัตในกลุ่มต่างๆ	17
2.8 แสดงภาพตัด ในแนวระนาบแผนภูมิสมมูลเฟสของทองคำกะรัตในระบบ 3 ชาติที่ 300°C	18
2.9 แสดงการจัดเรียงอะตอมของเฟส AuCu I ในโลหะผสมทองคำกับทองแดง	19
2.10 แสดงการจัดเรียงอะตอมของเฟส AuCu II ในโลหะผสมทองคำกับทองแดง.....	20
2.11 แสดงลักษณะของการแพร่ในรูปแบบต่างๆ	21
2.12 แสดงเส้นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไปจากการแพร่	23
3.1 แสดงแท่งทองคำ 14 กะรัตที่ได้จากการหลอมด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า ชุดที่ 2	27
3.2 แสดงภาพจำลองของขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองอบเป็นเนื้อเดียว	28
3.3 แสดงเครื่องรีดลดขนาดเป็นเส้นลวดที่ใช้ในการทดลอง	30
3.4 แสดงลักษณะวิธีการวัดค่าความแข็งชิ้นงานทดสอบ	34
4.1 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนไปของชิ้นงานในระยะต่างๆ ของทองคำ 16 กะรัตกัดด้วยกรด HCl+HNO ₃ (3:1) เจือจาง 30%	35
4.2 แสดงการกระจายตัวของธาตุเงินเมื่ออบเป็นเนื้อเดียวของทองคำ 16 กะรัต ในสภาพหล่อ และที่เวลา 40 นาที ด้วยเทคนิคการทำแผนภาพ (Mapping)	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.3 แสดงค่าความแข็งที่เปลี่ยนไปที่ระยะเวลาการอบเป็นเนื้อเด็วต่างๆ กัน	37
4.4 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนไปของชิ้นงานในระยะเวลาต่างๆ ของทองคำ 14 กะรัต กัดด้วยกรด HCl+HNO ₃ (3:1) เจือจาง 30%	38
4.5 แสดงการกระจายตัวของธาตุเงินเมื่ออบเป็นเนื้อเด็วของทองคำ 14 กะรัต ใน สภาพหล่อ และที่เวลา 240 นาที ด้วยเทคนิคการทำแผนภาพ (Mapping)	39
4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนเมื่อระยะเวลาการอบเป็นเนื้อเด็วของ ทองคำ 14 กะรัต และ 16 กะรัต	40
4.7 แสดงผิวทองคำ 14 กะรัตที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเด็วในเตาอบ กัดด้วยกรด HCl+HNO ₃ (3:1) เจือจาง 30%	41
4.8 แสดงโครงสร้างจุลภาคทองคำ 14 กะรัต ที่อบเป็นเนื้อเด็วที่ อุณหภูมิ 800°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวภายในเตา กัดด้วยกรด HCl+HNO ₃ (3:1) เจือจาง 30%	43
4.9 แสดงเฟสต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานทองคำที่อบเป็นเนื้อเด็วที่ อุณหภูมิ 800°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวภายในเตา กัดด้วยสารละลาย KCN+(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	43
4.10 แสดงผิวของทองคำ 14 กะรัตที่ผ่านการรีดที่ปริมาณลดพื้นที่หน้าตัด 88%	44
4.11 แสดงโครงสร้างจุลภาคทองคำ 14 กะรัตที่ผ่านการรีด ที่ปริมาณลดพื้นที่หน้าตัด 88%	45
4.12 แสดงค่าความแข็งของทองคำ 14 กะรัตที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเด็วจากขอบถึงกึ่งกลาง ชิ้นงาน	46
4.13 แสดงค่าความแข็งทองคำ 14 กะรัต ที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเด็วจากขอบถึงกึ่ง กลางชิ้นงาน	46
4.14 แสดงแบบจำลองโครงสร้างในวัสดุผสมเมื่อได้รับแรงภายนอก	47
4.15 แสดงผิวที่เกิดความเสียหายจากการรีด ชิ้นงานทองคำ 16 กะรัต ที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเด็ว	48
4.16 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเด็ว ผ่านการรีด และ การอบอ่อน	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดี่ยว ผ่านการรีด และการอบอ่อน	49
4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนของทองคำ 14 กระรัต ในขั้นตอนการรีด	50
4.19 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเมื่ออบเพิ่มความแข็ง หลังผ่านการรีดเย็น และการอบอ่อน กัดด้วยกรด $HCl+HNO_3$ (3:1) เจือจาง 30%	51
4.20 แสดงโครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) ของทองคำ 14 กระรัต เมื่ออบเพิ่มความแข็ง หลังผ่านการรีดเย็น และการอบอ่อน กัดด้วยสารละลาย ละลาย $KCN+(NH_4)_2S_2O_8$ เจือจาง 10%	52
4.21 แสดงโครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของทองคำ 14 กระรัต ที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดี่ยว อบเพิ่มความแข็ง การรีดเย็น และการอบอ่อน.....	53
5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติวัสดุในแต่ละขั้นตอนการทดลอง	55