ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
246674

การพัฒนาจำนวนสมาชิกของเว็บสเตอร์กิจเพื่อเพิ่มความแข็งโดยการเพิ่มจุดยึด

นางสาวรัตนาวดี ดิมกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอัจฉริยะ
คณะเทคนิคสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
พ.ศ. 2554

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246674

การพัฒนาส่วนผสมของเงินสเตอร์ลิงเพื่อเพิ่มความแข็งโดยการเติมธาตุผสม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

นางสาวศันสนีย์ ฉิมกุล วท.บ. (ฟิสิกส์)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร. ชาญเดช พิสิษฐ์ไพบูลย์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผศ. ดร. สิริพร โรจนนันต์)

..... กรรมการ
(ดร. วันดี ลือสายวงศ์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาส่วนผสมของเงินสเตอร์ลิงเพื่อเพิ่มความแข็งโดยการเติมธาตุผสม
หน่วยกิต	15
ผู้เขียน	นางสาวศันสนีย์ ฉิมกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. สิริพร โรจนนันต์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวัสดุ
สายวิชา	เทคโนโลยีวัสดุ
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

246674

เงินสเตอร์ลิงเป็นโลหะที่นิยมใช้ทำเครื่องประดับ จึงต้องการความแข็งเพื่อทนการเกิดรอยขีดข่วน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาส่วนผสมของเงินสเตอร์ลิง 930 เพื่อเพิ่มความแข็งโดยการเติมธาตุผสมปริมาณน้อยเข้าไปในเงินสเตอร์ลิงที่มีส่วนผสมเริ่มต้น Ag-6.4Cu-0.4Sn-0.2In วิธีการทดลองเริ่มจากการหลอมธาตุบริสุทธิ์ ได้แก่ เงิน ทองแดง ดีบุก และอินเดียม รวมกับโลหะผสมแต่ละชนิดแล้วหล่อเป็นอินกอต หลังจากนั้นทดสอบความแข็งและความต้านทานการหมอง เงินสเตอร์ลิงที่ให้ความแข็งสูงและมีค่า DE* ต่ำ ได้ถูกเลือกไปผลิตเป็นชิ้นงานเครื่องประดับ ผลการทดลอง พบว่าการเติมโลหะผสม Al-1.05Mg-0.64Si-0.25Ti หรือ Cu-29.70Zn-0.42Ti ในเงินสเตอร์ลิงสามารถเพิ่มความแข็งจาก 64 วิกเกอร์ เป็น 79 และ 75 วิกเกอร์ ตามลำดับ (ใช้น้ำหนักกด 200 กรัม) และมีค่า DE* ลดลงจาก 19.02 เป็น 6.84 หรือ 5.66 ตามลำดับ โครงสร้างจุลภาคของเงินสเตอร์ลิงทุกส่วนผสมมีลักษณะเป็นเดนไดรต์ ประกอบด้วยเฟสแอลฟาและเฟสบีตา ผลการทดลองสรุปได้ว่า การเติมธาตุผสมปริมาณน้อยๆ ลงในเงินสเตอร์ลิง สามารถเพิ่มสมบัติทางกลและความต้านทานการหมองได้ ผลที่ได้จากการทดลองนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิงเพื่อผลิตอัลลอยทางการค้าได้

คำสำคัญ: การหล่อโลหะ/ ความต้านทานการหมอง/ ความแข็ง/ เงินสเตอร์ลิง

Thesis Title	Development of Sterling Silver Compositions to Increase Hardness by Alloying Elements
Thesis Credits	15
Candidate	Miss Sunsanee Chimkul
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Siriporn Rojananan
Program	Master of Engineering
Field of Study	Materials Technology
Department	Materials Technology
Faculty	School of Energy, Environment and Materials
B.E.	2554

Abstract

246674

Sterling silver is a metal commonly make jewelry, so it needs to be hard to withstand the abrasion. The purpose of this study is to develop the 930 sterling silver compositions to enhance the hardness by alloys addition in the nominal composition of Ag-6.4Cu-0.4Sn-0.2In. In the experiment, high purity of Ag, Cu, Sn and In elements were melted together with each studied alloys to produce the ingots. After that, their hardness and tarnish resistance were investigated. The maximum hardness and the lowest DE* values of the sterling silver compositions were criteria for compositional selection to reproduce the jewelry samples. The results show that the nominal composition can be enhanced the hardness from 64 to 79 and 75 HV_{200}, respectively and decrease DE* from 19.02 to 6.84 and 5.66, respectively by adding the Al-1.05Mg-0.64Si-0.25Ti alloy or Cu-29.70Zn-0.42Ti alloy, respectively. The microstructures of all sterling silvers show dendrites containing of alpha and beta phases. It could be concluded that the addition of small amounts of alloys into the sterling silver can improve the mechanical properties and tarnish resistance. The experimental results are useful for the sterling industrials in order to produce for commercial alloys.

Keywords: Hardness/ Metal Casting/ Sterling Silver/ Tarnish Resistance

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. สิริพร โรจนนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบพระคุณ ดร. ชาญเดช พิสิษฐ์ไพบูลย์ และ ดร. วันดี ลือสายวงศ์ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านในสายวิชาเทคโนโลยีวัสดุที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ขอขอบคุณ คุณเดวิช ชนนิยม ช่างเทคนิคสายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ ที่ช่วยแนะนำการใช้เครื่องมือต่างๆ ขอขอบคุณ คุณพยูร เสนทองแก้ว ที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ ขอขอบคุณ คุณดอกดูณ บุญเดช เจ้าหน้าที่ของบริษัท ดีทแฮล์ม (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ ในการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเงินสเตอร์ลิง และขอขอบคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในระหว่างทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบริษัทเท็ทดีไซน์ จำกัด ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการนี้ (สัญญาเลขที่ MRG-WI525S073)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ซ
ประมวลศัพท์คำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	**1**
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 โลหะเงินบริสุทธิ์	4
2.2 โลหะเงินสเตอร์ลิง	6
2.3 กลไกการเพิ่มความแข็งและความแข็งแรงของวัสดุ	13
2.4 การหล่อโลหะ	16
2.5 การทดสอบความแข็ง	17
2.6 การทดสอบแรงดึง	18
2.7 ความต้านทานการหมองของเงินสเตอร์ลิง	20
2.8 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค	22
2.9 การทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยวิธี Difference Thermal Analysis	26
2.10 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยวิธี ICP-OES	27

หน้า

2.11 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Analysis 29
2.12 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 31

3. การดำเนินงานวิจัย **36**
3.1 การหลอมและหล่อโลหะเงินสเตอร์ลิง 38
3.2 การเตรียมชิ้นงานสำหรับศึกษาโครงสร้างจุลภาค 44
3.3 การศึกษาโครงสร้างจุลภาค 46
3.4 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี 47
3.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน 50
3.6 การทดสอบสมบัติทางกล 51
3.7 การทดสอบความต้านทานการหมอง 53

4. ผลการทดลอง **56**
4.1 ผลการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ 56
4.2 ผลการทดลองที่โรงงาน 86
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง 107

5. สรุปผลการทดลอง **108**
6. ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ **109**
เอกสารอ้างอิง 110
ภาคผนวก ก. น้ำหนักของวัตถุดิบก่อนและหลังการหล่อของเงินสเตอร์ลิง 115
ประวัติผู้วิจัย 118

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพและทางกลของโลหะเงินบริสุทธิ์	4
2.2 ปริมาณสารเจือปนในโลหะเงินบริสุทธิ์มาตรฐาน ASTM B413-97a(2008)	5
2.3 สมบัติทางกลของโลหะเงินบริสุทธิ์ร้อยละ 99.97 ที่อัตราการขึ้นรูปต่างกัน	5
2.4 อิทธิพลของธาตุผสมที่มีผลต่อโลหะเงินสเตอร์ลิง	7
2.5 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของมาสเตอร์อัลลอยทองแดง โดยเทคนิค ICP-OES และผลความแข็งของเงินสเตอร์ลิงที่ใช้มาสเตอร์อัลลอยทองแดง A-F	31
2.6 ปริมาณส่วนผสมทางเคมีจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES และความแข็งจุลภาคของเงินสเตอร์ลิง	33
2.7 ส่วนผสมทางเคมี ความแข็ง ระดับการหมองและค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเงินสเตอร์ลิงจากสิทธิบัตรหมายเลข 7,198,683 B2	34
4.1 ลักษณะและรูปของอินกอตเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A- H	57
4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอินกอตเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A ด้วยเทคนิค EDS	61
4.3 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอินกอตเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม B ด้วยเทคนิค EDS	65
4.4 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอินกอตเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม C ด้วยเทคนิค EDS	68
4.5 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอินกอตเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม D ด้วยเทคนิค EDS	71
4.6 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอินกอตเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม E ด้วยเทคนิค EDS	74
4.7 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอินกอตเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม F ด้วยเทคนิค EDS	77
4.8 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอินกอตเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม G ด้วยเทคนิค EDS	80
4.9 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอินกอตเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม H ด้วยเทคนิค EDS	82
4.10 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงด้วยเทคนิค ICP-OES	92
4.11 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงด้วยเทคนิค XRF	94
4.12 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A ด้วยเทคนิค EDS	97
4.13 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม B ด้วยเทคนิค EDS	100
4.14 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม E ด้วยเทคนิค EDS	103
4.15 ผลการทดสอบความแข็ง ความต้านแรงดึงสูงสุด และร้อยละการยืดตัวของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A, B และ E	104

รายการรูปประกอบ

รูป หน้า

2.1 อิทธิพลของธาตุผสมที่มีผลต่อความแข็งของโลหะเงินสเตอร์ลิง 7
2.2 แผนภาพเฟสสมดุลของโลหะเงิน - ทองแดง 8
2.3 แผนภาพเฟสสมดุลของโลหะเงิน-ดีบุก 9
2.4 แผนภาพเฟสสมดุลของโลหะเงิน-อินเดียม 10
2.5 แผนภาพเฟสสมดุลของโลหะเงิน-อะลูมิเนียม 10
2.6 แผนภาพเฟสสมดุลของโลหะเงิน-แมกนีเซียม 11
2.7 แผนภาพเฟสสมดุลของโลหะเงิน-ซิลิคอน 12
2.8 แผนภาพเฟสสมดุลของโลหะเงิน-สังกะสี 12
2.9 กลไกการเกิดสารละลายแบบแทนที่ 13
2.10 กลไกการเกิดสารละลายของแข็งแบบแทรกที่ 14
2.11 ผลของปริมาณการแปรรูปเย็นต่อสมบัติทางกล 15
2.12 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน – ทองแดง 15
2.13 ลักษณะหัวกด รอยกดและการวัดขนาดของเส้นทแยง 18
2.14 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด 19
2.15 ปริภูมิสีระบบ CIELAB 21
2.16 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์แสง 23
2.17 ส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด 24
2.18 สัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยา 25
2.19 ลักษณะการทำงานของ DTA 27
2.20 แผนภาพส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP-OES 28
2.21 แผนภาพของการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค XRF 29
2.22 พฤติกรรมการเกิดรังสีเอ็กซ์ 30
3.1 ผังการไหลของงานส่วนที่ 1 ทดลองที่ห้องปฏิบัติการ 36
3.2 ผังการไหลของงานส่วนที่ 2 ทดลองที่โรงงาน 37
3.3 เตาสำหรับอุ่นแม่พิมพ์ 38
3.4 เตาหลอมขดลวดเหนี่ยวนำไฟฟ้า 39
3.5 ขั้นตอนการเตรียมแม่พิมพ์ปูน 41
3.6 ขั้นตอนการหล่อเงินสเตอร์ลิงด้วยระบบสุญญากาศ 43

รูป(ต่อ) หน้า

3.7 บริเวณของชิ้นงานหล่อที่ถูกตัด 44
3.8 เครื่องอัดเรซิ่นขึ้นรูปแบบร้อน 44
3.9 เครื่องขัดหยาบและขัดละเอียด 45
3.10 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง 46
3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 47
3.12 เครื่องตรวจสอบส่วนผสมแบบ XRF 47
3.13 บริเวณผิวชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์ 48
3.14 สเปกตรัมของธาตุ และปริมาณที่วิเคราะห์ได้ 48
3.15 เครื่องตรวจสอบส่วนผสมแบบ ICP-OES 49
3.16 เครื่องตรวจสอบอุณหภูมิหลอมเหลว DTA 50
3.17 เครื่องวัดความแข็ง 51
3.18 เครื่องทดสอบแรงดึง 52
3.19 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง 52
3.20 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ 53
3.21 ชิ้นงานทดสอบก่อนและหลังขัดเงาผิว 54
3.22 อุปกรณ์สำหรับขัดเงาชิ้นงาน 54
4.1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A 59
4.2 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A 60
4.3 สเปคตรัมของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A 61
4.4 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม B 63
4.5 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม B 64
4.6 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม C 66
4.7 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม C 67
4.8 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม D 69
4.9 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม D 70
4.10 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม E 72
4.11 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม E 73
4.12 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม F 75
4.13 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม F 76
4.14 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม G 78

รูป(ต่อ) หน้า

4.15 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม G 79
4.16 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม H 81
4.17 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม H 82
4.18 ความแข็งจุลภาคของชิ้นงานหลังผ่านการหล่อของเงินสเตอร์ลิง 8 ส่วนผสม 83
4.19 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเงินสเตอร์ลิงเมื่อใช้เวลาทดสอบ 15, 30, 45 และ 60 นาที 84
4.20 ชิ้นงานของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A ประกอบด้วย 93Ag-6.4Cu-0.4Sn-0.2In 86
4.21 ชิ้นงานของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม B 87
4.22 ชิ้นงานของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม E 88
4.23 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความร้อนของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A วิเคราะห์ด้วยเทคนิค DTA 89
4.24 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความร้อนของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม B วิเคราะห์ด้วยเทคนิค DTA 90
4.25 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความร้อนของเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม E วิเคราะห์ด้วยเทคนิค DTA 91
4.26 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A 96
4.27 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A 97
4.28 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม B 99
4.29 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม B 100
4.30 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม E 102
4.31 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม E 103
4.32 ลักษณะชิ้นงานทดสอบ 105
4.33 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีของชิ้นงานเงินสเตอร์ลิงส่วนผสม A, B และ E โดยใช้เวลาทดสอบ 15, 30, 45 และ 60 นาที 105

ประมวลศัพท์และคำย่อ

CIE	=	The Commission International Del'Eclairage
DTA	=	Difference Thermal Analysis
DE*	=	Total Color Difference
EDS	=	Energy Dispersive Spectrometer
FCC	=	Face Center Cubic
HV	=	Hardness Vicker
ICP-OES	=	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
L*a*b*	=	L* stands for luminance
		a* is the red-green axis
		b* is the blue-yellow axis
mm	=	Millimeter
N/A	=	Non Available
OM	=	Optical Microscope
SEM	=	Scanning Electron Microscope
XRF	=	X-Ray Fluorescence
^{o}C	=	Degree of Celsius
%wt	=	Percent by Weight
β	=	Beta Phase
α	=	Alpha Phase