

ผลของสังกะสีและซิลิคอนต่อโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกลและความต้านทานการหมอง
ของโลหะผสมเงินเกรด 940



นางสาวจิรจิตติกาลผ่องศรี นირัญเกิด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**EFFECTS OF ZINC AND SILICON ON MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES AND
TARNISH RESISTANCE OF SILVER ALLOYS GRADE 940**

Miss Jirutthikalpongsri Hirunyagird

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

Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University


502120

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสังกะสีและซิลิคอนต่อโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล
และความต้านทานการหมองของโลหะผสมเงินเกรด 940
โดย นางสาวจิรัฐติกาลผ่องศรี หิรัญเกิด
สาขาวิชา สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย)

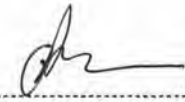

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไสว ด่านชัยวิจิตร)

จิริฐิติกาลผองศรี นิริฎญเกิด : ผลของสังกะสีและซิลิคอนต่อโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกลและความต้านทานการหมองของโลหะผสมเงินเกรด 940. (EFFECTS OF ZINC AND SILICON ON MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES AND TARNISH RESISTANCE OF SILVER ALLOY GRADE 940) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร, อ.ที่ปรึกษาร่วม: รศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ, 166 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาผลของธาตุสังกะสีและซิลิคอนที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล ความต้านทานการหมองและการกัดกร่อน รวมไปถึงผลของการอบเนื้อเดี่ยว อัตราการลดขนาด และการอบอ่อน เพื่อหาปริมาณธาตุสังกะสีและซิลิคอนที่เหมาะสมในการหลอมและหล่อโลหะผสมเงินเกรด 940 ด้วยกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ โลหะเงินผสมเกรด 940 ทั้ง 10 ชุด โดยชุดการทดลองแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกเติมทองแดงและสังกะสี กลุ่มที่สองเติมทองแดง สังกะสีและซิลิคอนคงที่ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กลุ่มที่สามเติมทองแดง สังกะสีและซิลิคอนตั้งแต่ 0.036-0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ธาตุสังกะสีและซิลิคอนที่พบในโครงสร้างจุลภาคจะเป็นองค์ประกอบอยู่ในในโครงสร้างยูเทคติก(Cu - rich phase) สูงกว่าโครงสร้างเนื้อพื้นที่เป็น Ag - rich phase ปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณและการกระจายตัวของโครงสร้างยูเทคติกลดลง ความต้านทานแรงดึงและความแข็งมีค่าลดลง แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้น ส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่เหมาะสมคือ 0.036%Si - 3.23%Zn -2.30%Cu - Balance of Ag สามารถต้านทานการหมองและการแปรรูปสูง การอบไฮไมจิโนเซชัน 750 องศาเซลเซียส นาน 30 และ 60 นาที พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงลดลง ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อนที่เหมาะสมคือ 500 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ส่วนการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของฟิล์มที่เกิดขึ้นจากเส้นโพเทนชิโอไดนามิกอานอดิกโพลาริเซชัน ซึ่งได้จากการทดสอบการกัดกร่อนด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้าทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้นมีผลในการเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน(E_{cor}) และลดความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าขณะเกิดฟิล์มพาสซีฟ(i_p) อย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิมิตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โลหะผสมเงินเกรด 940 ไม่มีฟิล์มพาสซีฟเกิดขึ้นที่ผิว

ภาควิชา..... วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่อนิสิต..... 
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *10/2/58 นิสิต*
 ปีการศึกษา..... 2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม *now 1/2/58*

4770622621 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: CONTINUOUS CASTING / MECHANICAL PROPERTIES / TARNISH RESISTANCE / CORROSION RESISTANCE / ELECTROCHEMICAL TECHNIQUE

JIRUTTHITIKALPONGSRI HIRUNYAGIRD : EFFECTS OF ZINC AND SILICON ON MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES AND TARNISH RESISTANCE OF SILVER ALLOYS GRADE 940. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. EKASIT NISARATANAPORN, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF. GOBBOON LOTHONGKUM, Ph.D., 166 pp.

The objective of this research is to investigate the effect of zinc and silicon in silver alloys grade 940 on their microstructure, mechanical properties, tarnish resistance, corrosion resistance, homogenization, reduction of area and annealing. This is ultimately to determine the suitable zinc and silicon content of silver alloys grade 940 for the jewelry industry. The experimental alloys were divided into 3 groups, first group contains zinc and copper, second group consists of zinc, copper and fixed silicon 0.02 wt% and the last one group was zinc, copper and silicon 0.036-0.065 wt% alloy. The microstructure consists of both silver - rich phase, as a matrix, and eutectic structure. The amount of zinc and silicon found in the in the eutectic structure is higher than those in matrix. The amount of eutectic structure is decreased by increasing zinc content. Nevertheless enhancing properties with zinc additive, yield strength and hardness decreased significantly but elongation increased. The tarnish resistance was found to be improved when the amount of 0.036%Si - 3.23%Zn - 2.30%Cu - Balance of Ag. The tarnish films were studied quantitatively using a spectrophotometer. Homogization at 750 °C for 30 and 60 minutes. therefore, decrease tensile strength. In contrast, hardness and elongation of the alloys were increasing. Potentiodynamic anodic polarization technique was applied to measure the corrosion potentials(E_{cor}) and corrosion current density (I_{cor}). In 1% sodium chloride solution, the increasing of zinc and silicon content not only promoted the noble shift in corrosion potentials but also reduced passive current density. However, in 1% sodium chloride solution saturated with hydrogen sulfide(H_2S), the passive region could not be observed.

Department.....Metallurgical Engineering.....

Student's signature.....

Field of study Metallurgical Engineering.....

Advisor's signature.....

Academic year.....2007.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้ คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณรอง ศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไสว ต่านชัยวิจิตร กรรมการ สอบ และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ โดยอย่างยิ่ง คุณศิริรัตน์ นิสารัตนพรที่ให้คำปรึกษาในเรื่องรายละเอียดปลีกย่อยในการทำแลปและให้กำลังใจ ผู้เขียนในการทำงานวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและ เทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์ให้ เครื่องมือสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ในการวัดค่าสีของชิ้นงาน ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ และเพื่อนๆ นิสิต ปริญญาโทในภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ ความช่วยเหลือต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)และห้างทองชินเจีย เชียง จำกัด บริษัทเอกชนร่วมทุนอยู่ภายใต้การดูแลของ คุณสมศักดิ์ ตันตพชน ซึ่งให้การสนับสนุน ทุนวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณบรรเจิด อุดมตระกูลวงศ์และพี่ๆ ที่โรงงาน ที่ให้ทั้งความช่วยเหลือ ให้ข้อมูลและความสะดวกในขณะที่ผู้เขียนเข้าไปเก็บข้อมูลและปฏิบัติงาน ที่โรงงาน ขอขอบคุณศิริวรรณ สกุลตันเจริญชัย ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาด้วยดีตลอด มา และทำยนี้ผู้เขียนกราบขอบพระคุณคุณย่าที่อันเป็นที่รักยิ่งที่เป็นห่วงผู้เขียนเรื่อยมา กราบ ขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้ทั้งกำลังใจและกำลังใจทรัพย์แก่ผู้เขียนด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณน้อง อ้วน น้องโอมและน้องอึ้ง ที่ให้กำลังใจในยามที่ผู้เขียนท้อ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและเพื่อนทุกคนที่ ให้กำลังใจเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1	บทนำ..... 1
	1.1 ความสำคัญของงานวิจัย..... 1
	1.2 วัตถุประสงค์..... 3
	1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 3
	1.4 คำสำคัญ..... 4
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4
บทที่ 2	ปริทรรศน์วรรณกรรม..... 5
	2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเงินและเงินสเตอร์ลิง..... 5
	2.1.1 สมบัติทางเคมีของเงิน..... 5
	2.1.2 สมบัติทางกายภาพของเงินและโลหะผสม..... 5
	2.2 แผนภูมิสมดุลเฟสของโลหะเงินผสม..... 6
	2.2.1 แผนภูมิสมดุลเฟสของระบบเงิน – ทองแดง..... 7
	2.2.2 แผนภูมิสมดุลเฟสของระบบเงิน – สังกะสี..... 8
	2.2.3 แผนภูมิสมดุลเฟสของระบบทองแดง – สังกะสี..... 9
	2.3 ผลการหล่อแบบต่อเนื่องต่อโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินผสม..... 9
	2.4 บทบาทของธาตุผสมที่มีต่อโลหะเงินผสม..... 12
	2.5 การเกิดความหมองที่ผิว..... 17
	2.6 วิธีวัดความสามารถในการต้านทานความหมอง..... 18
	2.6.1 การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิว..... 18
	2.6.2 การตรวจสอบพฤติกรรมการกัดกร่อนด้วยกระบวนการ ทางเคมีไฟฟ้า..... 19
	2.7 สมบัติทางกลของโลหะเงินผสม..... 23

	2.8 กลไกการเพิ่มความแข็ง.....	24
บทที่ 3	ระเบียบวิธีการวิจัย.....	26
	3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	26
	3.1.1 เครื่องหล่อแบบต่อเนื่อง.....	26
	3.1.2 เครื่องมือวิเคราะห์.....	26
	3.2 วัสดุดิบ.....	25
	3.3 สารเคมี.....	27
	3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	27
	3.5 รายละเอียดขั้นตอนและการเตรียมชิ้นงานทดลอง.....	27
	3.6 ระเบียบและวิธีการตรวจสอบ.....	30
	3.6.1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	30
	3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมด้วยเครื่องมือ ICP.....	31
	3.6.3 การตรวจวัดค่าความแข็งแบบวิกเกอร์.....	31
	3.6.4 การทดสอบแรงดึง.....	32
	3.6.5 การทดสอบความต้านทานการหมอง.....	32
	3.6.6 การทดสอบการกัดกร่อนของฟิล์มที่เกิดขึ้นหลังการเติมธาตุผสม สังกะสีและซิลิคอน ด้วยขบวนการทางไฟฟ้าเคมีโดยเทคนิค โพเทนชิโอสแตติก.....	33
	3.6.7 การวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลวด้วย DTA.....	34
	3.5.9 แผนภูมิกระบวนการทดลอง.....	35
บทที่ 4	รายงานผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	36
	4.1 ผลจากการหลอมและหล่อ.....	36
	4.2 ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี.....	38
	4.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค สภาพหล่อ(as-cast).....	40
	4.4 ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางกล สภาพหล่อ.....	46
	4.4.1 ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์.....	46
	4.4.2 ผลการทดสอบแรงดึง.....	50
	4.5 ผลการอบไฮโมจีในเซชัน.....	53
	4.5.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	53

4.5.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์.....	57
4.5.3 ผลการทดสอบแรงดึง.....	60
4.6 ผลการลดขนาด.....	63
4.6.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	64
4.6.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์.....	64
4.6.3 ผลการทดสอบแรงดึง.....	67
4.7 ผลการอบอ่อน.....	75
4.7.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	75
4.7.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์.....	77
4.8 ผลการทดสอบความต้านทานการหมอง.....	97
4.9 ผลการทดสอบการกัดกร่อนของฟิล์มด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้า โดยวิธี โพเทนชิโอดีนามิก.....	100
4.10 ผลการตรวจสอบช่วงอุณหภูมิในการหลอมเหลว.....	113
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	118
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	118
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	119
รายการอ้างอิง.....	120
ภาคผนวก.....	122
ภาคผนวก ก.....	123
ภาคผนวก ข.....	132
ภาคผนวก ค.....	138
ภาคผนวก ง.....	144
ภาคผนวก จ.....	152
ภาคผนวก ฉ.....	158
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	166

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพของธาตุต่างๆ.....	6
2.2 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงของโลหะผสมเงินขึ้นกับธาตุผสมชนิดต่างๆ.....	13
3.1 แสดงส่วนผสมของโลหะผสมเงินที่ใช้ในการทดลอง.....	28
4.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมก่อนและหลังการหล่อ.....	38
4.2 แสดงส่วนผสมทางเคมีของปริมาณสังกะสีและซิลิคอนที่ใช้ในการหล่อ ปริมาณที่เหลืออยู่จริงและปริมาณที่สูญเสียไปหลังจากการหล่อ.....	39
4.3 แสดงปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างของโลหะผสมเงินด้วย EDX โลหะผสม.....	40
4.4 แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยแบบวิกเกอร์ ($HV_{0.025}$) เปรียบเทียบกับปริมาณ ส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมสภาพหล่อ.....	47
4.5 แสดงผลการทดสอบแรงดึงของโลหะผสมสภาพหล่อ.....	50
4.6 แสดงธาตุผสมในชั้นสารประกอบหลังการอบไฮโมจิในเซชัน.....	57
4.7 แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยแบบวิกเกอร์ ($HV_{0.025}$) เปรียบเทียบกับปริมาณ ส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมสภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน.....	58
4.8 แสดงผลการทดสอบแรงดึงของโลหะผสมหลังการอบไฮโมจิในเซชัน.....	61
4.9 แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยแบบวิกเกอร์ ($HV_{0.025}$) เปรียบเทียบกับปริมาณส่วน ผสมทางเคมีของโลหะผสมสภาพหลังการลดขนาด.....	64
4.10 แสดงผลการทดสอบแรงดึงของโลหะผสมหลังการลดขนาด.....	67
4.11 แสดงค่า E_{corr} , E_{pp} , E_p , I_{corr} และ Corrosion Rate ที่วัดได้จากเส้นโพลาริเซชัน ของชั้นทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	101
4.12 แสดงค่า E_{corr} และ I_{corr} และ Corrosion Rate ที่วัดได้จากเส้นโพลาริเซชันของชั้น ทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอิมิตัวด้วยก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	102
4.13 แสดงผลการทดสอบแรงช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว.....	113

ตาราง	หน้า
ข แสดงปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างของโลหะผสมเงิน 94% - ทองแดง - สังกะสี - ซิลิคอน ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM).....	132
ค ความยาวเส้นทแยงมุม 2 ด้าน (d_1 และ d_2) และความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness; HV) ของโลหะผสมเงิน 94% - ทองแดง - สังกะสี - ซิลิคอน.....	138
ง ความต้านทานแรงดึงสูงสุดของโลหะผสมเงิน 94% - ทองแดง - สังกะสี - ซิลิคอน.....	144
ฉ แสดงค่าค่าความสว่าง L^* , ค่าสี a^* , b^* และค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิว (Color difference; DE^*).....	160

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แผนภูมิสมมูลเฟสของโลหะผสมเงิน – ทองแดง.....	7
2.2 แผนภูมิสมมูลเฟสของโลหะผสมเงิน – สังกะสี.....	8
2.3 แผนภูมิสมมูลเฟสของทองแดง – สังกะสี.....	9
2.4 ผลของอัตราการเย็นตัวต่อโครงสร้างจุลภาค.....	9
2.5 โครงสร้างจุลภาคจากกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องและหล่อแบบเตาสุญญากาศ.....	10
2.6 แสดงการกระจายตัวของเฟสที่สองของเงินสเตอร์ลิง 935 - ทองแดง - ดีบุก.....	11
2.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงจุดครากและอัตราการยืดตัว หลังการอบอ่อน.....	11
2.8 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลในช่วงการรีดเย็น และการอบอ่อน.....	12
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงแบบวิกเกอร์กับปริมาณของธาตุชนิดต่างๆ ของโลหะผสมเงิน.....	13
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณแมงกานีส.....	13
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณทองแดง.....	14
2.12 แผนภาพ Ellingham แสดงค่า Gibb's Free Energy ของการเกิดออกไซด์ ของโลหะที่อุณหภูมิต่างๆ.....	17
2.13 วิธีการหาค่า E_{corr} และ I_{corr} จากเส้นโพลาริเซชัน.....	19
2.14 แสดงส่วนต่างๆ ของเส้นโพลาริเซชัน.....	20
2.15 เซลล์ที่ใช้ทดสอบการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้า.....	21
2.16 เครื่องโพเทนชิโอสแตทที่ใช้วัดเส้นโพลาริเซชัน.....	22
2.17 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิดต่าง ๆ.....	22
2.18 คุณสมบัติต่างๆ ของโลหะผสมเงิน – ทองแดง.....	23
2.19 กลไกและโครงสร้างการเย็นตัวของการอบชุบแบบตกตะกอนของโลหะโลหะผสม.....	24
3.1 ภาพแสดงกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง.....	29
3.2 มิติของชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8M-96.....	32
3.3 แผนภูมิกระบวนการทดลอง.....	35
3.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองในกระบวนการเชิงความร้อนของชิ้นงาน.....	33

ภาพประกอบ	หน้า
4.1 ภาพแสดงชิ้นงานหลังหล่อด้วยกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องของโลหะผสมเงินเกรด 940 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 มิลลิเมตร.....	37
4.2 ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม ในสภาพหล่อ ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM) ที่กำลังขยายต่างๆ.....	41
4.3 ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม ในสภาพหล่อ ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) ที่กำลังขยาย 200 เท่า.....	46
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์.....	47
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	48
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036 - 0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	48
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอนกับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์.....	49
4.8 กราฟแสดงผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว.....	52
4.9 กราฟแสดงผลของธาตุซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	52
4.10 กราฟแสดงผลของธาตุซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036 - 0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	53
4.11 ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน ในสภาพหลังการอบไฮมิจในเซชันถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) ที่กำลังขยาย 50 เท่า.....	54
4.12 ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน ในสภาพหลังการอบไฮมิจในเซชันถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า.....	55
4.13 ภาพแสดงรอยแตกและผิวของโลหะผสมเงิน ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด.....	56

ภาพประกอบ	หน้า
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ ในสภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน	59
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ในสภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน	59
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036 - 0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ในสภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน	60
4.17 กราฟแสดงผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ในสภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน	61
4.18 กราฟแสดงผลของธาตุซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ในสภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน	62
4.19 กราฟแสดงผลของธาตุซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036 - 0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ในสภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน	62
4.20 ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินเกรด 940 หลังการลดขนาดถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) ที่กำลังขยาย 200 เท่า	64
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ ด้วยอัตราการผลิตขนาด 89 เปอร์เซ็นต์	65
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)ด้วยอัตราการผลิตขนาด 89 เปอร์เซ็นต์	66
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036 - 0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยอัตราการผลิตขนาด 89 เปอร์เซ็นต์	66

ภาพประกอบ	หน้า
4.24 กราฟแสดงผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุด ด้วยอัตราการลดขนาด 89 เปอร์เซ็นต์.....	67
4.25 กราฟแสดงผลของธาตุซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุด(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยอัตราการลดขนาด 89 เปอร์เซ็นต์.....	68
4.26 กราฟแสดงผลของธาตุซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุด(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอน ตั้งแต่ 0.036 - 0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยอัตราการลดขนาด 89 เปอร์เซ็นต์.....	68
4.27 กราฟแสดงผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ด้วยอัตราการลดขนาด 89 เปอร์เซ็นต์.....	69
4.28 กราฟแสดงผลของธาตุซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัว(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยอัตราการลดขนาด 89 เปอร์เซ็นต์.....	70
4.29 กราฟแสดงผลของธาตุซิลิคอน สังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัว(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอน ตั้งแต่ 0.036 - 0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยอัตราการลดขนาด 89 เปอร์เซ็นต์.....	70
4.30 ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินเกรด 940 หลังการอบอ่อนถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) ที่กำลังขยาย 50 เท่า.....	72
4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้การอบอ่อน ที่ 500 °C กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหล่อ.....	77
4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้การอบอ่อน ที่ 550 °C กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหล่อ.....	78
4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้การอบอ่อน ที่ 600 °C กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหล่อ.....	79
4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 500 °C, 550 °C และ 600 °C นาน 30 นาที กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหล่อ.....	80
4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 500 °C, 550 °C และ 600 °C นาน 45 นาที กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหล่อ.....	81

ภาพประกอบ	หน้า
4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 500 °C, 550 °C และ 600 °C นาน 60 นาที กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหล่อ.....	82
4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้การอบอ่อน ที่ 500 °C กับ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน 30 นาที.....	84
4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้การอบอ่อน ที่ 550 °C กับ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน 30 นาที.....	85
4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้การอบอ่อน ที่ 600 °C กับ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน 30 นาที.....	86
4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 500 °C, 550 °C และ 600 °C นาน 30 นาที กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการ อบไฮโมจิในเซชัน 30 นาที.....	87
4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 500 °C, 550 °C และ 600 °C นาน 45 นาที กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการ อบไฮโมจิในเซชัน 30 นาที.....	88
4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 500 °C, 550 °C และ 600 °C นาน 60 นาที กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการ อบไฮโมจิในเซชัน 30 นาที.....	89
4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้การอบอ่อน ที่ 500 °C กับ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน 60 นาที.....	91
4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้การอบอ่อน ที่ 550 °C กับ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน 60 นาที.....	92
4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้การอบอ่อน ที่ 600 °C กับ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการอบไฮโมจิในเซชัน 60 นาที.....	93
4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 500 °C, 550 °C และ 600 °C นาน 30 นาที กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการ อบไฮโมจิในเซชัน 60 นาที.....	94
4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 500 °C, 550 °C และ 600 °C นาน 45 นาที กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการ อบไฮโมจิในเซชัน 60 นาที.....	95

ภาพประกอบ	หน้า
4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 500 °C, 550 °C และ 600 °C นาน 60 นาที กับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ สภาพหลังการ อบไฮโมจิโนเซชัน 60 นาที.....	96
4.49 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวของโลหะผสมเงิน 940 (กลุ่มที่ไม่มีการเติมซิลิคอน).....	98
4.50 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวของโลหะผสมเงิน 940 (กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	98
4.51 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวของโลหะผสมเงิน 940 (กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036-0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	99
4.52 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_p ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่ไม่มีการเติมซิลิคอน).....	103
4.53 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_p ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	103
4.54 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_p ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036-0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	104
4.55 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า I_p และ I_{corr} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่ไม่มีการเติมซิลิคอน).....	104
4.56 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า I_p และ I_{corr} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	105
4.57 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า I_p และ I_{corr} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอน ตั้งแต่ 0.036-0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	105

ภาพประกอบ	หน้า
4.58 แสดงการหาค่า E_{corr} , E_{pp} , E_p , I_p และ I_{corr} จากจุดตัดระหว่างเส้นโค้งคาโทดิกและเส้นโค้งอโนดิก.....	107
4.59 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า E_{corr} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่ไม่มีการเติมซิลิคอน).....	107
4.60 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า E_{corr} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	108
4.61 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_p ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036-0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	108
4.62 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า I_{corr} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่ไม่มีการเติมซิลิคอน).....	109
4.63 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า I_{corr} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	109
4.64 ผลของธาตุสังกะสีและทองแดงในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่า I_{corr} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036-0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	110
4.65 ผลของธาตุสังกะสีและซิลิคอนในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่าอัตราการกัดกร่อนในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (กลุ่มที่ไม่มีการเติมซิลิคอน).....	111

ภาพประกอบ	หน้า
4.66 ผลของธาตุสังกะสีและซิลิคอนในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่าอัตราการกัดกร่อนในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	111
4.67 ผลของธาตุสังกะสีและซิลิคอนในโลหะผสมเงินเกรด 940 ต่อค่าอัตราการกัดกร่อนในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036-0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	112
4.68 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีและทองแดงกับช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว (กลุ่มที่ไม่มีการเติมซิลิคอน).....	113
4.69 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงกับช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว (กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนคงที่ที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	114
4.70 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงกับช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว(กลุ่มที่มีการเติมซิลิคอนตั้งแต่ 0.036-0.065 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	114
4.71 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงที่ใกล้เคียงกันกับช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว (โลหะผสมชุดที่ 2, 5 และ 8 ตามลำดับ).....	115
4.72 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงที่ใกล้เคียงกันกับช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว (โลหะผสมชุดที่ 3, 6 และ 9 ตามลำดับ).....	115
4.73 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิคอน สังกะสีและทองแดงที่ใกล้เคียงกันกับช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว (โลหะผสมชุดที่ 4, 7 และ 10 ตามลำดับ).....	116
4.74 Ternary Phase Diagram ของ Ag-Cu-Zn.....	117
ก-1 ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน 94% - ทองแดง - สังกะสี - ซิลิคอน ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงแสดงกำลังขยาย 50 เท่า	123
ก-2 ภาพแสดงการกระจายตัวของโครงสร้างยูเทคติกของโลหะผสมเงิน 94% - ทองแดง-สังกะสี - ซิลิคอน ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาดแสดงกำลังขยาย 500 เท่า ..	126
ก-3 ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน 94% - ทองแดง - สังกะสี - ซิลิคอน ผ่านการลดขนาดด้วยอัตราการลดขนาด 89 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงแสดงกำลังขยาย 50 เท่า.....	129
ข1 กราฟแสดงผลจากการตรวจสอบปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างของโลหะผสมชุดที่ 4 : 3.97%Zn -2.10%Cu-balance of Ag ด้วย EDX.....	135

ข2	กราฟแสดงผลจากการตรวจสอบปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างของโลหะผสมชุดที่ 7 : 0.02%Si-4.11%Zn -2.01%Cu-balance of Ag ด้วย EDX.....	136
ข3	กราฟแสดงผลจากการตรวจสอบปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างของโลหะผสมชุดที่ 10 : 0.036%Si-3.23%Zn -2.30%Cu-balance of Ag ด้วย EDX.....	137
จ1-1	เส้นโพราไรเซชันของ 1.18%Zn -4.95%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	152
จ1-2	เส้นโพราไรเซชันของ 1.96%Zn -4.12%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	152
จ1-3	เส้นโพราไรเซชันของ 3.01%Zn -3.18%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 25 °C.....	152
จ1-4	เส้นโพราไรเซชันของ 3.97%Zn -2.10%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 25 °C.....	153
จ1-5	เส้นโพราไรเซชันของ 0.02%Si-1.93%Zn -3.97%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 25 °C.....	153
จ1-6	เส้นโพราไรเซชันของ 0.02%Si-2.93%Zn - 3.13%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 25 °C.....	153
จ1-7	เส้นโพราไรเซชันของ 0.02%Si-4.11%Zn - 2.01%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 25 °C.....	154
จ1-8	เส้นโพราไรเซชันของ 0.04%Si-1.66%Zn -3.77%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 25 °C.....	154
จ1-9	เส้นโพราไรเซชันของ 0.065%Si-2.65%Zn -2.93%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 25 °C.....	154
จ1-10	เส้นโพราไรเซชันของ 0.036%Si-3.23%Zn -2.30%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดย น้ำหนัก และในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	155
จ2-1	เส้นโพราไรเซชันของ 1.18%Zn -4.95%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนัก อิมิตต์ด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	155
จ2-2	เส้นโพราไรเซชันของ 1.96%Zn -4.12%Cu-balance of Ag เฟอร์เรนต์โดยน้ำหนัก	

	ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	155
จ2-3	เส้นโพลาไรเซชันของ 3.01%Zn -3.18%Cu-balance of Ag เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	156
จ2-4	เส้นโพลาไรเซชันของ 3.97%Zn -2.10%Cu-balance of Ag เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	156
จ2-5	เส้นโพลาไรเซชันของ 0.02%Si-1.93%Zn -3.97%Cu-balance of Ag เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	156
จ2-6	เส้นโพลาไรเซชันของ 0.02%Si-2.93%Zn - 3.13%Cu-balance of Ag เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	157
จ2-7	เส้นโพลาไรเซชันของ 0.02%Si-4.11%Zn - 2.01%Cu-balance of Ag เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	157
จ2-8	เส้นโพลาไรเซชันของ 0.04%Si-1.66%Zn -3.77%Cu-balance of Ag เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	157
จ2-9	เส้นโพลาไรเซชันของ 0.065%Si-2.65%Zn -2.93%Cu-balance of Ag เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	158
จ2-10	เส้นโพลาไรเซชันของ 0.036%Si-3.23%Zn -2.30%Cu-balance of Ag เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	158
จ3-1	ตัวอย่างการหาค่า E_{corr} จากเส้นโพลาไรเซชันในสารละลายโซเดียมคลอไรด์.....	159
จ3-2	ตัวอย่างการหาค่า E_{corr} , E_p และ E_{pp} จากเส้นโพลาไรเซชันในสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ซึ่งอิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	159