


สมบัติทางกลและความต้านทานการหมองของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส



นางสาวสุภิญญา วงษ์ศรีรักษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-9736-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MECHANICAL PROPERTIES AND TARNISH RESISTANCE OF 92.5%Ag - Cu - Mn ALLOYS



Miss Supinya Wongsriruksa

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-9736-2

สุภิญญา วงษ์ศรีรักษา : สมบัติทางกลและความต้านทานการหมองของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส. (MECHANICAL PROPERTIES AND TARNISH RESISTANCE OF 92.5%Ag - Cu - Mn ALLOYS) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ นิสาร์ตันพร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์ 100 หน้า. ISBN 974-17-9736-2.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาผลของธาตุแมงกานีสในโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล สีผิวหลังอบให้ความร้อน ความต้านทานการหมองและการกัดกร่อน เพื่อหาปริมาณธาตุแมงกานีสที่เหมาะสมในการหล่อโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ใช้ในอุตสาหกรรมด้านเครื่องประดับ โลหะเงินสเตอร์ลิงที่ทำการทดลองมีปริมาณแมงกานีส 0, 0.38, 0.76, 1.3, 1.7, 2.1, 2.6 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ธาตุแมงกานีสที่พบในโครงสร้างจุลภาคจะเป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างยูเทคติกที่เป็น copper - rich phase สูงกว่าในโครงสร้างเนื้อพื้น (silver - rich phase) และปริมาณแมงกานีสที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณโครงสร้างยูเทคติกที่เกิดขึ้นลดลง ความต้านทานแรงดึง ความเค้นจุดคราก และความแข็งมีค่าลดลงด้วย ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าโลหะผสมที่มีปริมาณแมงกานีส 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีความแข็งเพียง 52.1 HV ซึ่งต่ำกว่าความแข็งของโลหะผสมที่ไม่ได้เติมแมงกานีส (66.8 HV) และปริมาณที่สูงขึ้นของแมงกานีสนี้ยังเพิ่มความต้านทานการหมองให้กับโลหะเงินสเตอร์ลิง ซึ่งน่าจะเป็นผลจากชั้นฟิล์มของสารประกอบแมงกานีสที่เกิดขึ้น และเมื่อทดสอบด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวลดลงจาก 24.98 (โลหะผสมที่ไม่ได้เติมแมงกานีส) เหลือเพียง 5.19 (โลหะผสมที่มีแมงกานีส 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อทดสอบในบรรยากาศซัลเฟอร์เป็นเวลา 3 ชั่วโมง การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของฟิล์มที่เกิดขึ้นจากเส้นโพเทนชิโอไดนามิกอานอดิกโพลาริเซชัน ซึ่งได้จากการทดสอบการกัดกร่อนด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า ทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณแมงกานีสที่เพิ่มขึ้นมีผลในการเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) และลดความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าขณะเกิดฟิล์มพาสซีฟ (I_p) อย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิมิตด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โลหะเงินสเตอร์ลิงไม่มีฟิล์มพาสซีฟเกิดขึ้นที่ผิว

ภาควิชา..... วิศวกรรมโลหการ.....
สาขาวิชา..... วิศวกรรมโลหการ.....
ปีการศึกษา..... 2545.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *สุภิญญา วงษ์ศรีรักษา*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *ดร.เอกสิทธิ์ นิสาร์ตันพร*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *ดร.สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์*.....

4270613521 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: STERLING SILVER / INVESTMENT CASTING / MECHANICAL PROPERTIES / TARNISH RESISTANCE / CORROSION RESISTANCE / ELECTROCHEMICAL TECHNIQUE

SUPINYA WONSRIUKSA : MECHANICAL PROPERTIES AND TARNISH RESISTANCE OF 92.5%Ag - Cu - Mn ALLOYS. THESIS ADVISOR : EKASIT NISARATANAPORN, Ph.D., THESIS COADVISOR : SUWANCHAI PONGSUKITWAT, M.Eng., 100 pp. ISBN 974-17-9736-2.

The objective of this research is to investigate the effect of manganese in 92.5%Ag - Cu - Mn alloys on their microstructure, mechanical properties, surface color, and tarnish and corrosion resistance. This is ultimately to determine the suitable manganese content of sterling silver alloys for the jewelry industry. The experimental alloys contain 0, 0.38, 0.76, 1.3, 1.7, 2.1, 2.6, and 3.0 percent by weight manganese (here after shown in weight percent). The microstructure of 92.5%Ag - Cu - Mn alloys consists of both silver - rich solid solution, as a matrix, and eutectic structure. The amount of manganese found in the eutectic is higher than those in the matrix. By increasing manganese content, the amount of eutectic structure, and therefore, tensile and yield strength and hardness of the alloys were decreasing. It was clearly observed that the hardness of 3.0%Mn alloys (52.1 HV) is lower than that of manganese - free alloys (66.8 HV). The tarnish resistance was found to be improved when the amount of manganese were increasing and the tarnish films were studied quantitatively using a spectrophotometer. The color difference, DE^* , of the manganese - free alloys was 24.98 which was higher than that of the 3.0%Mn alloys, which was 5.19, for 3 hours tarnishing time. Potentiodynamic anodic polarization technique was applied to measure the corrosion potentials (E_{corr}) and passive current density (I_p). In 1% sodium chloride solution, the increasing of manganese 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.....	<i>Supinya Wongsriuksa</i>
Field of study.....	Metallurgical Engineering..	Advisor's signature.....	<i>Ekasit Nisaratanaporn</i>
Academic year.....	2002.....	Co-advisor's signature.....	<i>Suwanchai Pongsukitwat</i>

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจาก อาจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และ ข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งให้คำปรึกษาทางด้านจิตใจ ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์ ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ สำหรับการทดสอบ การกักต้อนด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า

ขอขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์ที่ใช้เครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในการวัดค่าสีของชิ้นงาน ขอขอบคุณ บริษัท ครีเอทีฟ เจมส์แอนด์จิวเวลรี่ จำกัด ในการใช้สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ในการหล่อชิ้นงานโลหะเงินสเตอร์ลิง ขอขอบคุณท่านอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท ในภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ ความช่วยเหลือ ต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ซึ่งให้การสนับสนุนทุนวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณบิดา มารดา พี่สาว เพื่อน ร่วมงาน และเพื่อนทุกคนที่ให้อกำลังใจเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1	
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 คำสำคัญ.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2	
ปริทรรศน์วรรณกรรม.....	5
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโลหะเงิน.....	5
2.1.1 ความเป็นมาของโลหะเงินและเงินสเตอร์ลิง.....	5
2.1.2 ประโยชน์ของโลหะเงินและเงินสเตอร์ลิง.....	5
2.1.3 สมบัติทางกายภาพ.....	6
2.1.4 สมบัติทางเคมี.....	6
2.2 ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นกับเงินสเตอร์ลิง.....	7
2.2.1 การละลายของออกซิเจนในโลหะเงินหลอมเหลว.....	7
2.2.2 การเกิดการหมองจากคอปเปอร์ออกไซด์ที่ผิวโลหะ.....	9
2.2.3 การเกิดการหมองจากซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นบนผิวโลหะ.....	9
2.3 วิธีป้องกันการหมองของโลหะเงินสเตอร์ลิง.....	9
2.4 วิธีวัดความสามารถในการต้านทานการหมอง.....	10
2.4.1 การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิว.....	10
2.4.2 การตรวจสอบพฤติกรรมการกัดกร่อนด้วย กระบวนกรทางเคมีไฟฟ้า.....	11
2.5 แผนภูมิสมดุลเฟสระบบเงิน – ทองแดง.....	15
2.6 แผนภูมิสมดุลเฟสระบบเงิน – แมงกานีส.....	16
2.7 แผนภูมิสมดุลเฟสระบบทองแดง – แมงกานีส.....	16
2.8 แผนภูมิสมดุลเฟสระบบเงิน – ทองแดง – แมงกานีส.....	17

บทที่ 3	2.9 สมบัติทางกล.....	18
	ระเบียบวิธีการวิจัย.....	23
	3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	23
	3.1.1 อุปกรณ์ในการทำแม่พิมพ์ยาง.....	23
	3.1.2 อุปกรณ์ในการหล่อเทียนและติดต้น.....	23
	3.1.3 อุปกรณ์ในการทำแม่พิมพ์ปูนหล่อและอบเผา.....	23
	3.1.4 อุปกรณ์ในการหลอมและหล่อโลหะ.....	23
	3.1.5 อุปกรณ์ในการตรวจสอบการกักร้อนด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า.....	24
	3.1.6 เครื่องมือวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	24
	3.2 วัสดุดิบ.....	24
	3.3 สารเคมี.....	25
	3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	25
	3.5 ระเบียบและวิธีการตรวจสอบ.....	26
	3.5.1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุเงิน ทองแดง และแมงกานีส ด้วยเครื่องมือ Atomic Absorption Spectroscopy (AAS).....	26
	3.5.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	27
	3.5.3 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์.....	27
	3.5.4 การทดสอบแรงดึง.....	28
	3.5.5 การตรวจสอบสีผิวหลังจากทำการอบให้ความร้อน.....	29
	3.5.6 การทดสอบความต้านทานการหมอง.....	29
	3.5.7 การทดสอบการกักร้อนของฟิล์มที่เกิดขึ้นหลังการเติม ธาตุผสมแมงกานีสด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า โดยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกส์.....	29
บทที่ 4	รายงานผลการทดลอง.....	32
	4.1 ผลที่ได้จากการหลอมและหล่อ.....	32
	4.2 ส่วนผสมทางเคมี.....	34
	4.3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางกลในสภาพหลังการหล่อขึ้นรูป.....	35
	4.3.1 ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์.....	35
	4.3.2 ผลการทดสอบแรงดึง.....	35
	4.4 ผลการตรวจสอบสีผิวหลังทำการอบให้ความร้อน.....	36
	4.5 ผลการทดสอบความต้านทานการหมอง.....	37

	4.6 ผลการทดสอบการกัดกร่อนของฟิล์มด้วยกระบวนการ ทางเคมีไฟฟ้า โดยวิธีโพเทนชิโอดนามิกส์.....	39
บทที่ 5	อภิปรายผลการทดลอง.....	41
	5.1 ผลจากการหลอมและหล่อ.....	41
	5.2 ส่วนผสมทางเคมี.....	42
	5.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	43
	5.4 ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางกลในสภาพหลังการหล่อขึ้นรูป.....	48
	5.4.1 ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์.....	48
	5.4.2 ผลการทดสอบแรงดึง.....	50
	5.5 ผลการตรวจสอบสีผิวหลังอบให้ความร้อน.....	52
	5.6 ผลการทดสอบความต้านทานการหมอง.....	53
	5.7 ผลจากการทดสอบการกัดกร่อนของฟิล์มด้วยกระบวนการ ทางเคมีไฟฟ้า โดยวิธีโพเทนชิโอดนามิกส์.....	54
บทที่ 6	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	61
	6.1 สรุปผลการทดลอง.....	61
	6.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
	รายการอ้างอิง.....	63
	ภาคผนวก.....	65
	ภาคผนวก ก.....	66
	ภาคผนวก ข.....	72
	ภาคผนวก ค.....	77
	ภาคผนวก ง.....	79
	ภาคผนวก จ.....	82
	ภาคผนวก ฉ.....	94
	ภาคผนวก ช.....	96
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	100

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	แสดงค่า Gibbs free energy ของธาตุต่าง ๆ ในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน.....	9
2.2	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเงิน ทองแดง และแมงกานีส.....	18
2.3	แสดงค่าความต้านทานแรงดึงของโลหะผสมเงิน ขึ้นกับธาตุผสมชนิดต่าง ๆ.....	21
2.4	แสดงสมบัติทางกลต่าง ๆ ของโลหะผสมเงินและแมงกานีส.....	22
3.1	แสดงส่วนผสมของโลหะเงินเตอรฺ์ลิง.....	26
4.1	แสดงส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ก่อนและหลังการหล่อ.....	34
4.2	แสดงส่วนผสมทางเคมีของปริมาณแมงกานีสที่ใช้ในการหล่อ ปริมาณแมงกานีสที่มีอยู่จริง และที่สูญเสียในขณะทำการหล่อ.....	34
4.3	แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยแบบวิกเกอร์ (HV) เปรียบเทียบกับปริมาณส่วนผสม ทางเคมีของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส	35
4.4	แสดงผลการทดสอบแรงดึงของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส.....	36
4.5	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิว (DE*) ของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส.....	38
4.6	แสดงค่า E_{corr} , E_{pp} , E_p , I_p , I_{corr} และ Corrosion Rate ที่วัดได้จากเส้นโพลาริเซชัน ของชั้นทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	39
4.7	แสดงค่า E_{corr} , E_{pp} , E_p , I_{corr} และ Corrosion Rate ที่วัดได้จากเส้นโพลาริเซชัน ของชั้นทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอิมิตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	40
ข	แสดงปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM).....	72
ค1	ความยาวเส้นทแยงมุม 2 ด้าน (d_1 และ d_2) และความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness; HV) ของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส.....	77
ค2	ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength; UTS) และ ความเค้นจุดคราก (Yield Strength; σ_y) ของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส.....	78
ง1	แสดงค่าความสว่าง (L^*) ค่าสี a^* , b^* และค่าการเปลี่ยนแปลงสี (DE*) ของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ทั้ง 8 ชุด ที่มีปริมาณ แมงกานีส 0, 0.38, 0.76, 1.3, 1.7, 2.1, 2.6 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยทดสอบความต้านทานการหมองเป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง.....	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ฉ

ตาราง

หน้า

- ง2 แสดงค่าความสว่าง (L^*) ค่าสี a^* , b^* และค่าการเปลี่ยนแปลงสี (DE^*) ของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ทั้ง 8 ชุด ที่มีปริมาณแมงกานีส 0, 0.38, 0.76, 1.3, 1.7, 2.1, 2.6 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยทดสอบความต้านทานการหมองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....79
- ง3 แสดงค่าความสว่าง (L^*) ค่าสี a^* , b^* และค่าการเปลี่ยนแปลงสี (DE^*) ของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ทั้ง 8 ชุด ที่มีปริมาณแมงกานีส 0, 0.38, 0.76, 1.3, 1.7, 2.1, 2.6 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยทดสอบความต้านทานการหมองเป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....80
- ง4 แสดงค่าความสว่าง (L^*) ค่าสี a^* , b^* และค่าการเปลี่ยนแปลงสี (DE^*) ของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ทั้ง 8 ชุด ที่มีปริมาณแมงกานีส 0, 0.38, 0.76, 1.3, 1.7, 2.1, 2.6 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยทดสอบความต้านทานการหมองเป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....80
- ง5 แสดงค่าความสว่าง (L^*) ค่าสี a^* , b^* และค่าการเปลี่ยนแปลงสี (DE^*) ของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ทั้ง 8 ชุด ที่มีปริมาณแมงกานีส 0, 0.38, 0.76, 1.3, 1.7, 2.1, 2.6 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยทดสอบความต้านทานการหมองเป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1	แผนภูมิสมดุลเฟสของระบบเงินและออกซิเจน..... 7
2.2	แผนภูมิของ Ellingham สำหรับการเกิดออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ..... 8
2.3	วิธีการหาค่า E_{coff} และ I_{coff} จากเส้นโพลาริเซชัน..... 11
2.4	แสดงส่วนต่างๆ ของเส้นโพลาริเซชัน..... 12
2.5	เซลล์ที่ใช้ทดสอบการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้า..... 13
2.6	เครื่องโพเทนชิโอสแตทที่ใช้วัดเส้นโพลาริเซชัน..... 14
2.7	ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิดต่าง ๆ..... 14
2.8	แผนภูมิสมดุลเฟสระบบเงิน - ทองแดง..... 15
2.9	แผนภูมิสมดุลเฟสระบบเงิน - แมงกานีส..... 16
2.10	แผนภูมิสมดุลเฟสระบบทองแดง - แมงกานีส..... 17
2.11	แผนภูมิสมดุลเฟสระบบเงิน - ทองแดง - แมงกานีส..... 17
2.12	คุณสมบัติต่างๆ ของโลหะระบบเงิน - ทองแดง..... 18
2.13	ผลของปริมาณทองแดงที่มีต่อสมบัติทางกลของโลหะผสมเงิน - ทองแดง..... 20
2.14	แสดงปริมาณธาตุผสมชนิดต่างๆ ที่มีต่อค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ ในโลหะผสมเงิน..... 21
2.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุแมงกานีสที่ละลายอยู่จริง (%โดยน้ำหนัก) กับค่าเฉลี่ยของความแข็งที่วัดได้ (หน่วย HV) ในสภาพหล่อ..... 22
3.1	แสดงภาพขึ้นทดสอบแรงดึง..... 28
4.1	ภาพแสดงชิ้นงานที่ได้จากการหลอมและหล่อแบบสูญญากาศ ของ โลหะเงินสเตอร์ลิงที่เติมปริมาณแมงกานีส 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก..... 32
4.2	ภาพแสดงลักษณะผิวของชิ้นงานที่ได้จากการหล่อ..... 33
4.3	ภาพแสดงลักษณะสีผิวที่ได้จากการอบให้ความร้อน..... 37
4.4	ภาพแสดงลักษณะชิ้นงานหลังทดสอบความต้านทานในการกันหมอง..... 38
5.1	ภาพแสดงจุดสีดำบนผิวโลหะผสม 4.40%Cu - 2.60%Mn - balance of Ag ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM) กำลังขยาย 100 เท่า..... 41
5.2	กราฟแสดงผลจากการตรวจสอบปริมาณธาตุผสมบนผิวของโลหะผสม 4.40%Cu - 2.60%Mn - balance of Ag..... 42
5.3	ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ในสภาพหล่อ ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM) ที่กำลังขยายต่าง ๆ..... 46

ภาพประกอบ	หน้า
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทองแดงในโลหะเงินสเตอร์ลิงกับค่าความแข็งแบบวิกเกอร์.....	49
5.5 ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีสในสภาพหล่อขึ้นรูป ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง กำลังขยาย 100 เท่า หลังการกัดกรด.....	50
5.6 กราฟแสดงผลของธาตุแมงกานีสในโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุดและความเค้นจุดคราก.....	51
5.7 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวของโลหะเงินสเตอร์ลิง.....	53
5.8 ผลของธาตุแมงกานีสในโลหะผสมเงินสเตอร์ลิง ต่อค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_p ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	55
5.9 ผลของธาตุแมงกานีสในโลหะผสมเงินสเตอร์ลิง ต่อค่า I_p ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	55
5.10 ผลของธาตุแมงกานีสในโลหะผสมเงินสเตอร์ลิง ต่อค่า I_{corr} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	56
5.11 แสดงการหาค่า I_{corr} จากจุดตัดระหว่างเส้นโค้งคาโทดิกและเส้นโค้งอโนดิก.....	57
5.12 ผลของธาตุแมงกานีสในโลหะผสมเงินสเตอร์ลิง ต่อค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_p ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	57
5.13 ผลของธาตุแมงกานีสในโลหะผสมเงินสเตอร์ลิง ต่อค่า I_{corr} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิ่มตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	58
5.14 ผลของธาตุแมงกานีสในโลหะผสมเงินสเตอร์ลิงต่อค่า I_{corr} ในสภาวะที่มี 1%NaCl เปรียบเทียบกับสภาวะที่มี 1%NaCl อิ่มตัวด้วย H_2S ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	59
5.15 ผลของธาตุแมงกานีสในโลหะผสมเงินสเตอร์ลิงต่อค่าอัตราการกัดกร่อนในสภาวะที่มี 1%NaCl เปรียบเทียบกับสภาวะที่มี 1%NaCl อิ่มตัวด้วย H_2S ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	59

ภาพประกอบ

หน้า

ก1	ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง กำลังขยาย 50 เท่า.....	66
ก2	ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง กำลังขยาย 100 เท่า.....	68
ก3	ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง กำลังขยาย 200 เท่า.....	70
ข1	กราฟแสดงผลจากการตรวจสอบปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างของโลหะ เงินสเตอร์ลิงที่ไม่มีแมงกานีสผสม ด้วย EDX.....	73
ข2	กราฟแสดงผลจากการตรวจสอบปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างของโลหะ เงินสเตอร์ลิงที่มีแมงกานีส 0.38 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วย EDX.....	74
ข3	กราฟแสดงผลจากการตรวจสอบปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างของโลหะ เงินสเตอร์ลิงที่มีแมงกานีส 1.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วย EDX.....	75
ข4	กราฟแสดงผลจากการตรวจสอบปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างของโลหะ เงินสเตอร์ลิงที่มีแมงกานีส 2.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วย EDX.....	76
จ1-1	เส้นโพลาริเซชันของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ไม่มีแมงกานีสผสม ในสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	82
จ1-2	เส้นโพลาริเซชันของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีแมงกานีส 0.38 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	82
จ1-3	เส้นโพลาริเซชันของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีแมงกานีส 0.76 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	83
จ1-4	เส้นโพลาริเซชันของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีแมงกานีส 1.3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	83
จ1-5	เส้นโพลาริเซชันของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีแมงกานีส 1.7 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	84
จ1-6	เส้นโพลาริเซชันของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีแมงกานีส 2.1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	84

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ณ

ภาพประกอบ

หน้า

จ3-1	ตัวอย่างการหาค่า E_{corr} , E_{pp} , E_p และ I_p จากเส้นโพลาริเซชันของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีปริมาณแมงกานีส 0.38 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์.....	90
จ3-2	ตัวอย่างการหาค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_p จากเส้นโพลาริเซชันของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีปริมาณแมงกานีส 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งอิมิตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	90
จ3-3	การหาค่า I_{corr} และอัตราการกัดกร่อนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากเส้นโพลาริเซชันของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ไม่มีปริมาณแมงกานีส ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	91
จ3-4	การหาค่า I_{corr} และอัตราการกัดกร่อนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากเส้นโพลาริเซชันของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่มีปริมาณแมงกานีส 0.38 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	91
จ4-1	ภาพแสดงชิ้นงานโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส ก่อนการ ทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้า.....	92
จ4-2	ภาพแสดงชิ้นงานโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส หลังการ ทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้า ในสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	92
จ4-3	ภาพแสดงชิ้นงานโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แมงกานีส หลังการ ทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้า ในสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อิมิตัวด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	93
ฉ1	ภาพแสดงลักษณะสีผิวของโลหะผสมทั้ง 8 ชุด ที่อบชุบด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส.....	94
ฉ2	ภาพแสดงลักษณะสีผิวของโลหะผสมทั้ง 8 ชุด ที่อบชุบด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส.....	94
ฉ3	ภาพแสดงลักษณะสีผิวของโลหะผสมทั้ง 8 ชุด ที่อบชุบด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	95