

การปรับส่วนผสมของโลหะสำหรับผลิตชิ้นส่วนหน้าสัมผัสสวิตช์ไฟฟ้า

Modification of Metal Compositions for Electrical Contact Part

สิริพร โรจนันต์^{1*} เกศราพร วทัญญู² บริบูรณ์ คงชู² ปกรณ์ บุญรอด²

¹สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

* Corresponding author, email: siriporn.roj@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

วัสดุหน้าสัมผัสไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นสินค้าที่ถูกนำเข้าจากต่างประเทศ ปัจจุบันมีการศึกษาเพื่อพัฒนาวัสดุหน้าสัมผัสไม่มากนักในประเทศไทย การปรับส่วนผสมของโลหะสำหรับผลิตชิ้นส่วนหน้าสัมผัสไฟฟ้า จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ จุดประสงค์ของบทความนี้ต้องการนำเสนอเกี่ยวกับอิทธิพลของการปรับส่วนผสมทางเคมีและอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ในการทดลองเริ่มจากการหลอมโลหะบริสุทธิ์เข้าด้วยกัน ตามส่วนผสมที่ต้องการแล้วหล่อเป็นอินกอต จากนั้นนำไปรีดเย็น แล้วทดสอบสมบัติต่าง ๆ ผลการทดลองพบว่าโลหะผสม 95Ag-5Cu มีค่าการนำไฟฟ้าสูงประมาณ 89%IACS ผลการศึกษาสรุปได้ว่าการเติมทองแดง อะลูมิเนียม สังกะสี เข้าไปในโลหะเงินบริสุทธิ์ มีผลให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง แต่ค่าความแข็งมีค่าสูงขึ้น ทนการเสียดสีดีขึ้น ผลการศึกษานี้จึงเป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรม เพื่อทราบแนวทางในการปรับส่วนผสมของโลหะหน้าสัมผัสที่ราคาถูกลง และทราบปัจจัยที่มีผลต่อการนำไฟฟ้า

Abstract

Most electrical contact materials have been imported from abroad. The developments of electrical contact materials are interesting since they are rarely investigated in Thailand. The objectives of this article are presented about the effect of the composition modifications and the temperatures on their conductivity. In the experiment, pure metals as required compositions were melted and cast into ingot. Then, the samples were cold rolled and measured their properties. The result showed that the 95Ag-5Cu alloy was high conductivity with 89%IACS. It could be concluded that the electrical conductivity of pure silver was reduced by the addition of copper, aluminium and zinc. On the other hand, the hardness and wear resistance were improved. The finding of this study is useful for the electrical contact industrial to understand the effect of the chemical composition variations to manufacture the cheaper contact.

1. คำนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการส่งออกอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง เป้าหมายการส่งออกปี 2550 คาดว่าจะมีมูลค่า 15,693 ล้านดอลลาร์ เนื่องจากในชิ้นส่วนอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า เหล่านี้ ต้องมีอุปกรณ์การตัดต่อไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบของโลหะที่ใช้ทำหน้าสัมผัสนำไฟฟ้าอยู่ด้วยเสมอ ไม่ว่าจะเป็นส่วนของสวิตช์ไฟฟ้า (Electrical Switches) เบรกเกอร์ (Circuit Breaker) หรือรีเลย์ (Relays) ทำหน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ครบวงจร พบว่าปัจจุบัน วัสดุหน้าสัมผัสเหล่านี้ล้วนแต่ถูกนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น จากงานวิจัยของ Findik และ Uzun [1] ศึกษาพัฒนาวัสดุหน้าสัมผัสนำไฟฟ้า ที่ทำจากโลหะที่มีส่วนผสมของโลหะเงินผสมทั้งสแตน (Ag-W) และโลหะเงินผสมทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Ag-WC) ผลิตด้วยเทคโนโลยีโลหะผง มีรายงานว่าโลหะที่มีส่วนผสมของ 85Ag-15W มีค่าการนำไฟฟ้า 87%IACS (International Annealed Copper Standard) มีความแข็ง 70 วิกเกอร์ เนื่องจากเทคโนโลยีโลหะผงมีต้นทุนที่แพง ดังนั้นการพัฒนาโลหะเพื่อใช้ทำหน้าสัมผัสนำไฟฟ้า จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาวัสดุโดยกระบวนการผลิตที่ถูกลง เพื่อเป็นการทดแทนการนำเข้า และเพื่อเพิ่มศักยภาพในการวิจัยด้านวัสดุต่อไป

โดยทั่วไปโลหะที่ใช้ทำหน้าสัมผัสนำไฟฟ้า ต้องเป็นโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดี ซึ่งโลหะเงินบริสุทธิ์ (Pure Silver) มีความสามารถนำไฟฟ้าดีที่สุด รองลงมาก็เป็นโลหะทองแดง แต่นิยมเติมธาตุผสมอื่นเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มสมบัติด้านต่าง ๆ เช่น ความแข็ง ความแข็งแรง และความต้านทานการสึกหรอ เงินบริสุทธิ์มีค่าการนำไฟฟ้าได้ 63.0×10^{-3} โอห์ม⁻¹-มิลลิเมตร² [2] มีค่าเทียบเท่ากับ 106%IACS และไม่เกิดฟิล์มออกไซด์ของเงิน แต่มักเกิดฟิล์มของซัลไฟด์และคลอไรด์ โลหะเงินบริสุทธิ์มีค่าความแข็งต่ำ มีค่าประมาณ 60 วิกเกอร์ ทำให้มีความต้านทานการสึกหรอทางกลได้ต่ำ จึงได้มีการพัฒนาเป็นโลหะเงินผสม (Ag Alloys) สามารถทำได้โดยการเติมธาตุผสมต่าง ๆ จากข้อมูลที่ผ่านมา [2] พบว่าการเติมทองแดง 3-5% ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงไม่มากนัก แต่ช่วยเพิ่มความแข็งได้ดีขึ้น จากมาตรฐาน ASTM พบว่าข้อมูลสมบัติการนำไฟฟ้าของทองแดง อะลูมิเนียม และสังกะสี มีค่าการนำ

ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส วัดได้ 59.9×10^{-3} , 37.7×10^{-3} และ 16.9×10^{-3} โอห์ม⁻¹ มิลลิเมตร² ตามลำดับ โลหะดังกล่าวสามารถละลายเข้ากันได้ดีในเงิน [3] รวมทั้งหาได้ง่ายในประเทศไทย มีราคาถูกกว่าโลหะเงิน และไม่เป็นพิษ จึงถูกเลือกมาใช้เป็นโลหะผสมในงานวิจัยนี้

ข้อมูลจาก US Patent หมายเลข 2,145,690 [4] มีการพัฒนาเป็นวัสดุที่เป็นโลหะผสมระหว่างเงินกับโลหะออกไซด์ บางทีเรียกกันว่าวัสดุคอมโพสิต เพื่อใช้สำหรับงานที่ต้องการทนต่อการสึกหรอได้มากขึ้น วัสดุหน้าสัมผัสที่ใช้กันมาก มีส่วนผสมของ Ag-CdO ผลิตโดยใช้เทคโนโลยีโลหะผง แล้วผ่านกระบวนการ Internal Oxidation Process วัดค่าการนำไฟฟ้าได้ประมาณ 72% IACS ทนการกัดกร่อนดี และมีความแข็งแรงสูง แต่อย่างไรก็ตาม Cd เป็นโลหะมีพิษ เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ ก่อให้เกิดมะเร็งได้จึงต้องเลิกใช้ จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ เพื่อปรับส่วนผสมของโลหะเงิน เพื่อผลิตชิ้นส่วนหน้าสัมผัสไฟฟ้าที่ปราศจากโลหะที่เป็นพิษ การผลิตชิ้นงานโลหะหน้าสัมผัสไฟฟ้า โดยการหลอมและหล่อ แล้วขึ้นรูปโดยการรีด การดึงเป็นลวด สามารถทำได้ง่ายและมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการใช้เทคโนโลยีโลหะผง ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่เลือกใช้กรรมวิธีการผลิตโดยการหลอมโลหะโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของการปรับส่วนผสมทางเคมีและอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า

2. วิธีการทดลอง

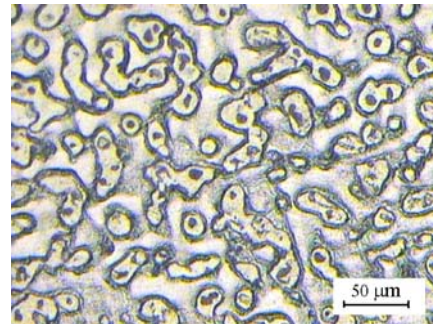
การทดลองเริ่มจากการเตรียมโลหะผสม โดยชั่งน้ำหนักวัตถุดิบด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูง ± 0.0001 กรัม ทำการหลอมโลหะให้มีส่วนผสมตามต้องการ ได้แก่ 95Ag-5Cu, 94Ag-5Cu-1Al และ 94Ag-5Cu-1Zn โดยเตาไฟฟ้า อุณหภูมิการหลอมใช้ 1,020 องศาเซลเซียส ใช้เข้าหลอมกราไฟต์ แล้วนำโลหะที่หลอมเหลวเทลงแบบ ได้ชิ้นงานรูปแท่งสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 20x100x10 มิลลิเมตร วิเคราะห์ส่วนผสมด้วยเทคนิค ICP ศึกษาโครงสร้างจุลภาค และวัดความแข็งของงานเริ่มต้น จากนั้นนำชิ้นงานไปรีดแปรรูปเย็น 80 เปอร์เซ็นต์ ได้ความหนาสุดท้าย 2 มิลลิเมตร วัดสมบัติทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทดสอบสมบัติทางกลและศึกษาโครงสร้างจุลภาค วัดความต้านทานการสึกหรอด้วยวิธี Scratch Test ใช้แรงกด 5 กิโลกรัม

การทำกรรมวิธีทางความร้อน ทำได้โดยนำชิ้นงานที่ผ่านการรีดไปทำการอบที่อุณหภูมิ 550 และ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเตาอบควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบ PID ในบรรยากาศปกติ นำไปวัดสมบัติทางไฟฟ้า ศึกษาโครงสร้างจุลภาค และวัดความแข็งขนาดของชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึง ใช้ตามมาตรฐาน ASTM-E8M มีความยาวเกจ 25 มิลลิเมตร ความกว้างเกจ 6 มิลลิเมตร ชิ้นงานยาว 60 มิลลิเมตร ตัดชิ้นงานได้ด้วยเครื่อง Wire Cut ใช้อัตราเร็วในการดึง 3 มิลลิเมตรต่อนาที การวัดความแข็งใช้เครื่องวัดความแข็งจุลภาคแบบวิกเกอร์ ผลิตโดยบริษัท Future-Tech รุ่น FM 700e ใช้แรงกด 300 กรัม กดแช่ 10 วินาที การศึกษาโครงสร้างจุลภาคใช้กล้องจุลทรรศน์แสง

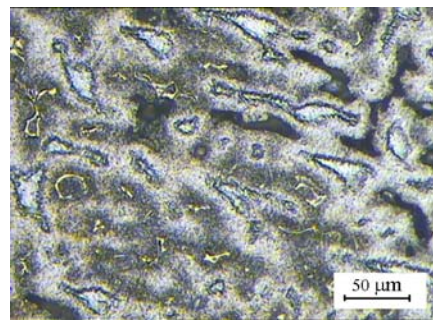
3. ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

3.1 โครงสร้างจุลภาคงานหล่อและรีด

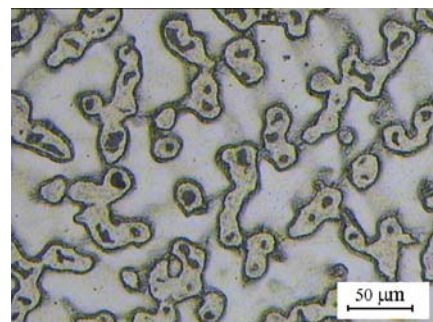
หลังจากหลอมวัตถุดิบเข้าด้วยกัน แล้วหล่อเป็นอินกอต ได้ทำการตรวจสอบส่วนผสมของโลหะด้วยเทคนิค ICP แล้วพบว่าส่วนผสมถูกต้องตามต้องการ โครงสร้างจุลภาคของอินกอต 95Ag-5Cu, 94Ag-5Cu-1Al และ 94Ag-5Cu-1Zn แสดงในรูปที่ 1(ก)-(ค) ตามลำดับ จากรูป (ก) จะเห็นได้ว่าโครงสร้างมีลักษณะเป็นเดนไดรต์ เฟสที่เห็นสีขาวเป็นโครงสร้างพื้นของเฟสแอลฟา ซึ่งเป็นเฟสสารละลายของของแข็งที่มีเงินเป็นส่วนผสมหลัก (Ag-rich phase) ส่วนเฟสที่เห็นเป็นสีดำ เป็นเฟสยูเทคติก จากรูป (ข) จะเห็นได้ว่าเกิดเฟสยูเทคติกเพิ่มขึ้น แสดงว่าเป็นผลมาจากการเติม Al เข้าไป มีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จาก 61 วิกเกอร์ไปเป็น 77 วิกเกอร์ ส่วนการเติม Zn ทำให้ขนาดของเดนไดรต์มีขนาดใหญ่ขึ้นดังรูป (ค) ทำให้ความแข็งแรงมีค่าลดลงเล็กน้อยเหลือ 59 วิกเกอร์



(ก) 95Ag-5Cu



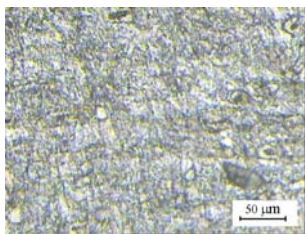
(ข) 94Ag-5Cu-1Al



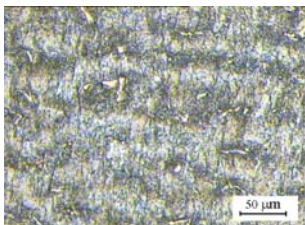
(ค) 94Ag-5Cu-1Zn

รูปที่ 1 โครงสร้างจุลภาคงานหล่อ

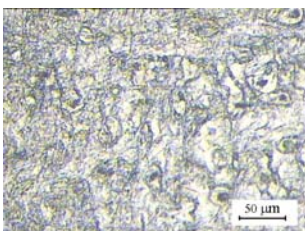
หลังการรีดเย็น เพื่อแปรรูปเป็นแผ่นบาง พบว่าโครงสร้างของชิ้นงานมีลักษณะเป็นริ้วยาวตามแนวรีด มีขนาดเกรนที่เล็ก ละเอียด โครงสร้างจุลภาคของงานรีดเย็นของ 95Ag-5Cu, 94Ag-5Cu-1Al และ 94Ag-5Cu-1Zn แสดงในรูปที่ 2(ก)-(ค) ตามลำดับ โดยทั่วไปงานรีดเย็นจะมีความเค้นตกค้างในโครงสร้าง [5] หลังการนำงานรีดไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550 และ 650 องศาเซลเซียส โครงสร้างของชิ้นงานมีลักษณะเป็นริ้วยาวตามแนวรีด คล้ายกับโครงสร้างงานรีดก่อนอบ เกรนมีขนาดเล็ก ละเอียด เช่นเดิม โดยทั่วไปการอบอ่อนจะเป็นการลดความเค้นตกค้างในโครงสร้างที่เกิดจากการรีดเย็น โดยการเกิดกระบวนการคืนตัว (Recovery) การเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) และเกรนโต (Grain Growth) ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาที่อบ ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่อบต่ำเกินไปในเวลาอบเพียง 1 ชั่วโมง จึงไม่เห็นความแตกต่างของโครงสร้าง โดยทั่วไปโลหะที่มีเกรนเล็กจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าโลหะที่มีเกรนใหญ่ เนื่องจากมีขอบเกรนมากจึงขัดขวางการนำไฟฟ้า ค่าที่วัดได้จะกล่าวในหัวข้อถัดไป



(ก) 95Ag-5Cu



(ข) 94Ag-5Cu-1Al



(ค) 94Ag-5Cu-1Zn

รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคงานรีดเย็น

3.2 ค่าการนำไฟฟ้า

ในการทดลอง ได้วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของชิ้นงานที่ผ่านการรีด และการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550 และ 650 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณเป็นค่าการนำไฟฟ้า จากสมการ $\rho = RA / l$ เมื่อ ρ คือสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิใด ๆ

R คือค่าความต้านทานของชิ้นงาน A คือพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน, l คือความยาวของชิ้นงาน ค่าการนำไฟฟ้า $\sigma = 1/\rho$ ผลการคำนวณค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยจากการวัด แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการนำไฟฟ้าของชิ้นงานที่ผ่านการรีดและผ่านการอบอ่อน

ส่วนผสม	ค่าการนำไฟฟ้า ($\times 10^{-3}$ โอห์ม ⁻¹ -มิลลิเมตร ²)		
	งานรีดเย็น	งานอบที่ 550°C	งานอบที่ 650°C
95Ag-5Cu	54.0	37.9	37.4
94Ag-5Cu-1Al	24.3	20.0	12.1
94Ag-5Cu-1Zn	35.6	27.2	27.0

จากผลการคำนวณค่าการนำไฟฟ้า พบว่า 95Ag-5Cu ที่ผ่านการรีด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.0×10^{-3} โอห์ม⁻¹-มิลลิเมตร² มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เคยรายงานไว้โดย Joshi และ Ramakrishnan, 2004 [6] และมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ 94Ag-5Cu-1Al และ 94Ag-5Cu-1Zn ซึ่งมีค่าเพียง 24.3×10^{-3} และ 35.6×10^{-3} โอห์ม⁻¹-มิลลิเมตร² ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าอะลูมิเนียมมลดค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าสังกะสี เนื่องจากการเติมอะลูมิเนียมเข้าไปทำให้เกิดโครงสร้างยูเทคติกสูงขึ้น ทำให้การนำไฟฟ้าลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าของ 95Ag-5Cu จากการทดลองนี้ กับโลหะเงินบริสุทธิ์ พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าลดลงไปประมาณ 14% ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีและหลักการโดยทั่วไปว่าการเติมธาตุผสมจะทำให้สมบัติการนำไฟฟ้าลดลง แต่สิ่งที่ได้จากการเติมธาตุผสมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการทนต่อการสึกหรอได้ดีขึ้น

เมื่อคำนวณเป็นค่า %IACS พบว่า 95Ag-5Cu มีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 89%IACS ซึ่งจัดว่ามีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุหน้าสัมผัสนำไฟฟ้าอื่น ในกลุ่มที่เป็นโลหะผสมกลุ่มเงินเป็นธาตุหลัก (Silver Based Alloys) จากงานวิจัยของ Kocher, H. H. และ Stockel, D. [7] รายงานว่า โลหะผสม Ag-20Ni และ 85Ag-15W มีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 85 และ 87%IACS ตามลำดับ [1] จะเห็นได้ว่าการเติมทองแดง 5 % ลดค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่าการเติมนิกเกิล 20% และทังสเตน 15% หลังการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550 และ 650 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของชิ้นงานทั้งหมดทุกส่วนผสมมีค่าลดลง ซึ่งขัดแย้งกับหลักการโดยทั่วไป เนื่องจากในการทดลองขั้นตอนการอบ ใช้บรรยากาศธรรมดา จึงเกิดออกไซด์ขึ้นที่ผิว [8] ส่งผลให้ความต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าจึงลดลง

3.3. ผลการทดสอบความแข็งแรง

ผลการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน หลังผ่านการรีดเย็นแปรรูป พบว่ามีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากงานหล่อทุกส่วนผสม เนื่องจากมีความเค้นเกิดขึ้นในโครงสร้าง หลังจากนำชิ้นงานไปอบอ่อนด้วยอุณหภูมิ 550 และ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าความแข็งแรงเฉลี่ยมีค่าลดลงกว่างานรีดเย็น ดังแสดงในตารางที่ 2 ความแข็งแรงลดลง

เนื่องจากโครงสร้างมีความเค้นลดลง ซึ่งเป็นผลมาจาก มีการเรียงตัวใหม่ของอะตอมและการเกิดผลึกใหม่ขึ้นในระหว่างที่อบอ่อน [8]

ตารางที่ 2 ความแข็งเฉลี่ยของงานรีดและงานอบอ่อน

ส่วนผสมทางเคมี	ความแข็งเฉลี่ย (วิกเกอร์)		
	งานรีด	อบ 550°C	อบ 650°C
95Ag-5Cu	155	93	70
94Ag-5Cu-1Al	172	95	74
94Ag-5Cu-1Zn	169	80	73

3.4. การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

ผลการทดสอบการสึกหรอ โดยวิธี Scratch test ของชิ้นงานรีดเย็น ค่าความกว้างรอยเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นว่าความกว้างของ 94Ag-5Cu-1Al มีขนาดเล็กที่สุด มีค่าประมาณ 330 ไมครอน ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งที่มีค่าสูงสุด เมื่อเทียบกับอีกสองส่วนผสม

ตารางที่ 3 ค่าความกว้างของรอยเฉลี่ยหลังการทดสอบการต้านทานการสึกหรอโดยวิธี Scratch Test

ส่วนผสมทางเคมี	ความกว้างของรอยเฉลี่ย (ไมครอน)
95Ag-5Cu	430
94Ag-5Cu-1Al	330
94Ag-5Cu-1Zn	360

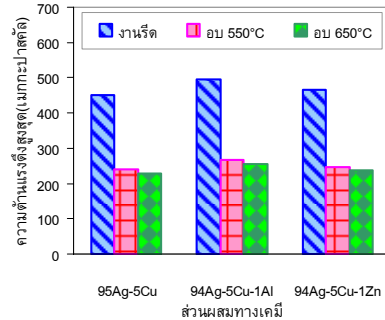
3.5 ผลการทดสอบแรงดึง

ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงาน 95Ag-5Cu, 94Ag-5Cu-1Al และ 94Ag-5Cu-1Zn ที่ผ่านการรีดเย็นและหลังการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550 และ 650 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าความต้านแรงดึงสูงสุดของ 94Ag-5Cu-1Al ในสภาพรีดมีค่าสูงสุดเป็น 497 เมกกะปาสคัล เนื่องจากอิทธิพลของอะลูมิเนียมมีผลให้เกิดโครงสร้างยูเทคติกเพิ่มขึ้นจึงแข็งแรงขึ้น รองลงไปเป็น 94Ag-5Cu-1Zn มีค่าความต้านแรงดึงสูงสุด 467 เมกกะปาสคัล เนื่องจากสังกะสีเกิดสารละลายของแข็งเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความต้านแรงดึงมีค่าสูงกว่า 95Ag-5Cu ผลการทดสอบแรงดึงให้ผลสอดคล้องกับความแข็งดึงได้กล่าวแล้ว ส่วนหลังการอบอ่อน มีผลทำให้ค่าความต้านแรงดึงของโลหะผสมทุกส่วนผสมลดลง เนื่องจากโครงสร้างมีกระบวนการเกิดผลึกใหม่ขึ้นบางส่วน

4. สรุปผลการทดลอง

การปรับส่วนผสมของโลหะสำหรับผลิตชิ้นส่วน หน้าสัมผัสสวิตซ์ไฟฟ้าที่ทำจากโลหะเงินบริสุทธิ์ โดยการเติมทองแดง อะลูมิเนียมสังกะสีนั้น มีผลให้การนำไฟฟ้าลดลง แต่ค่าความแข็งและความแข็งแรงมีค่าสูงขึ้น ทนการสึกหรอได้ดีขึ้น การเติมทองแดง 5% แล้วรีดเย็นทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่า 89% IACS ซึ่งยังคงมีค่าสูง ใช้งานได้ ส่วนการเติมอะลูมิเนียมหรือสังกะสีมีผลให้การนำไฟฟ้าลดลงมาก จึงไม่เหมาะในการใช้เป็นโลหะผสม หลังการอบอ่อนในบรรยากาศปกติ ทำให้การนำไฟฟ้าลดลงเนื่องจากเกิดออกไซด์ที่ผิว ผลการศึกษาข้างนี้เป็น

ประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรม เพื่อทราบแนวทาง ในการปรับส่วนผสมของโลหะหน้าสัมผัสที่ราคาถูกลง ควรคำนึงถึงการใช้งานที่ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงในบรรยากาศปกติ จะส่งผลต่อการนำไฟฟ้าที่ต่ำลง ความต้านทานกระแสสูงขึ้น จะทำให้ชิ้นงานร้อน ก่อความเสียหายได้



รูปที่ 4 ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดของงานรีดและงานอบอ่อน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการ IRPUS ประจำปี 2550 ที่ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณบริษัทสยามการไฟฟ้า บริษัทบางกอกเคเบิล ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือ ในการวิจัยนี้จนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- Findik, F., Uzun, H., 2003, **Microstructure, Hardness and Electrical Properties of Silver-Based Refractory Contact Materials.** *Materials & Design*, Volume 24, Issue 7, pp. 489-492.
- ASM Handbook, 1997, **Powder Metal Technologies and Applications**, vol. 7. Materials Park OH 44073-0002 USA, pp. 1020-1030.
- Okamoto, H. (2000). **Desk Handbook Phase Diagrams for Binary Alloys.** ASTM International.
- Hensel, F.R., US Patent 2,145,690.
- Smith, W.F., 1999, *Principles of Materials Science and Engineering*, 3rd ed, McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- Joshi, P. B., Ramakrishnan, P., 2004, **Materials for Electrical and Electronic Contacts Processing, Properties and Applications.** Science Publishers, Inc. Plymouths, UK, p. 168.
- Kocher, H. H., Stockel, D., 1979, **Material Transfer of Composite Contact Materials.** *IEEE Transactions on component Hybrids, and Manufacturing Technology*, Vol., NO. 1, March, pp. 15-19.
- Smallman, R.E. and Bishop, R.J., 2003, *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*, 6th edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.