

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

การพิจารณาผลการทดลองประเมินจากอัตราการขจัดเนื้องาน, อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด และความหนาผิวเฉลี่ย จากตัวแปร ขั้วอิเล็กโทรด, ความต่างศักย์วงจรเปิด, เวลาเปิด, เวลาปิด และกระแสไฟฟ้า ซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่กล่าวมานั้นจากการทดลอง ค่าตัวแปรที่มีผลต่อการทดลองและเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสม จากนั้นนำมา ออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ และวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) อีกครั้ง

4.1 การทดลองหาขั้วอิเล็กโทรดในการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า

การทดลองนี้เป็นการหาขั้วอิเล็กโทรดที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการทดลองสปาร์ค ซิลิคอนไนไตรต์ด้วยการไหลเวลาเปิด เวลาปิดคงที่ และปรับค่าของขั้วอิเล็กโทรด โดยขั้วอิเล็กโทรดมีผลต่อช่วงเวลาในการสปาร์ค เพื่อให้การขจัดเนื้องานขึ้นขึ้นโดยการปรับค่าขั้วอิเล็กโทรดตามตารางที่ 4.1 และได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.2

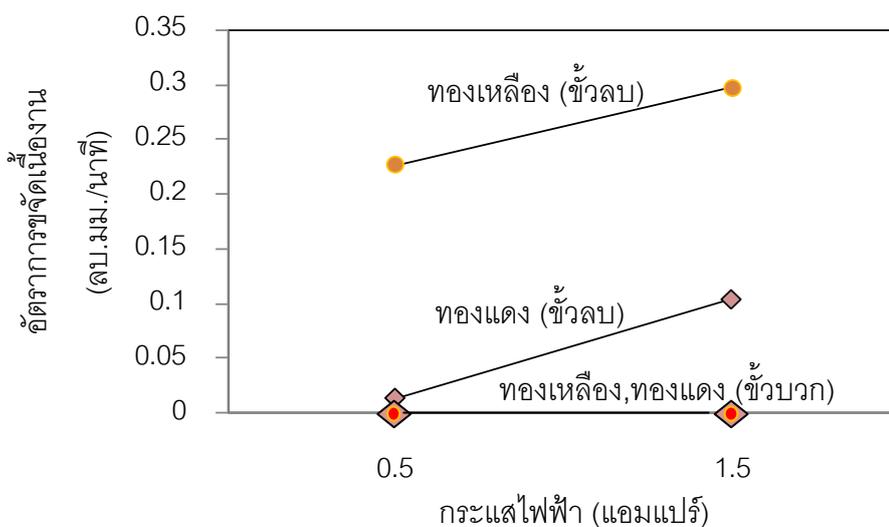
ตารางที่ 4.1

ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการอาร์คขึ้นงานเพื่อศึกษาขั้วอิเล็กโทรด

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้
ชนิดของอิเล็กโทรด	ทองเหลือง,ทองแดง
ขั้วอิเล็กโทรด	บวก,ลบ
ความต่างศักย์วงจรเปิด	250 โวลท์
กระแสไฟฟ้า	0.5, 1.5 แอมแปร์
เวลาเปิด	3.5 ไมโครวินาที
เวลาปิด	6 ไมโครวินาที

ตารางที่ 4.2
ผลการทดลองการปรับขั้วบวกและขั้วลบของอิเล็กทรอนิกส์

ขั้ว	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ทองเหลือง		ทองแดง	
		อัตราการกัด เนื้องาน (ลบ.มม./นาท.)	อัตราการสึกหรอ ของอิเล็กทรอนิกส์ (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการกัด เนื้องาน (ลบ.มม./นาท.)	อัตราการสึกหรอ ของอิเล็กทรอนิกส์ (เปอร์เซ็นต์)
ลบ	0.5	0.23	57.9	0.02	43.24
บวก	0.5	0	0	0	0
ลบ	1.5	0.29	106.5	0.11	51.86
บวก	1.5	0	0	0	0



ภาพที่ 4.1

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขั้วอิเล็กทรอนิกส์ และอัตราการกัดเนื้องาน

จากภาพแสดงให้เห็นว่าการสปาร์คด้วยอิเล็กทรอนิกส์ทองเหลืองและทองแดง ที่ความต่างศักย์ที่ 250 โวลท์ ที่เวลาเปิดที่ 3.5 ไมโครวินาทีและเวลาปิดที่ 6 ไมโครวินาที อัตราการกัดเนื้องานได้ดีที่อิเล็กทรอนิกส์ขั้วลบ และเมื่อใช้ค่าและปัจจัยเดียวกัน แต่เปลี่ยนเป็นอิเล็กทรอนิกส์ขั้วบวก แสดงให้เห็นว่าไม่เกิดการกัดเนื้อชิ้นงานดังนั้น จึงเลือกขั้วลบในการกัดอาร์คไฟฟ้า

4.2 การทดลองหาความต่างศักย์วงจรเปิดในการกักอาร์คด้วยไฟฟ้า

การทดลองนี้ เป็นการหาค่าความต่างศักย์ วงจรเปิดที่ส่งผล ต่อการทดลองสปาร์ค ซิลิคอนไนไตรต์ วยการให้ เวลาเปิด เวลาปิดคงที่ และปรับค าคความต่างศักย์ วงจรเปิด โดยขั้ว กระแสไฟฟ้ามีผลต่อช่วงเวลาในการสปาร์ค เพื่อให้เกิดการกักอาร์คหรือการขจัดเนื้องานขึ้น เพราะ ฉะนั้นต องกำหนดค ากกระแสไฟฟ้า าดวยการปรับค าคความต่างศักย์ วงจรเปิด ให้เหมาะสม โดย กำหนดค่าตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

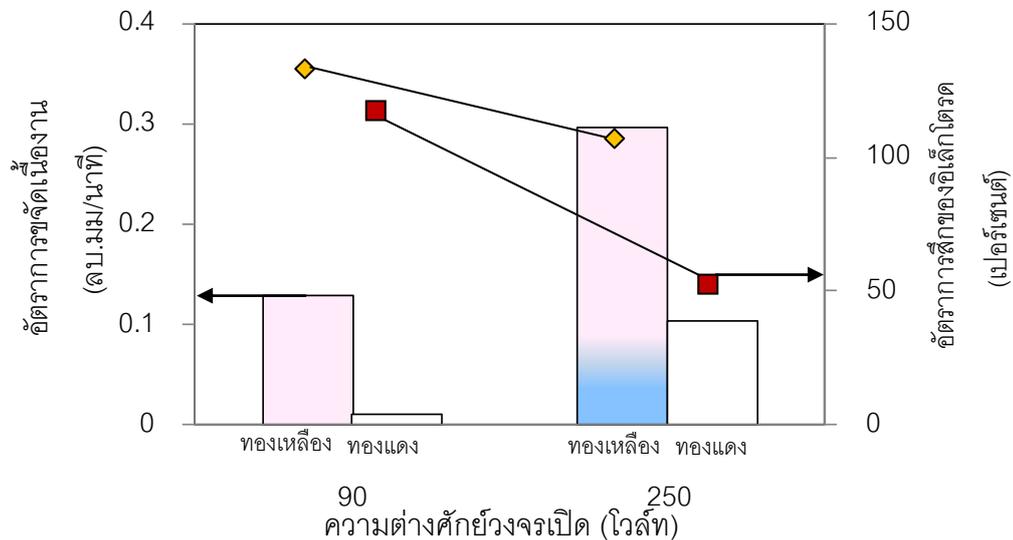
ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการสปาร์คโลหะเพื่อศึกษาค่าความต่างศักย์วงจรเปิดที่เปลี่ยนแปลง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้
ชนิดของอิเล็กโทรด	ทองเหลือง,ทองแดง
ขั้วอิเล็กโทรด	ลบ
ความต่างศักย์วงจรเปิด	90, 250 โวลท์
กระแสไฟฟ้า	1.5 แอมแปร์
เวลาเปิด	3.5 ไมโครวินาที
เวลาปิด	6 ไมโครวินาที

ตารางที่ 4.4

ผลการทดลองการปรับคาคความต่างศักย์วงจรเปิดของอิเล็กโทรดทองเหลือง และทองแดง

ขั้ว	ความต่างศักย์ วงจรเปิด (โวลท์)	ทองเหลือง		ทองแดง	
		อัตราขจัด เนื้องาน (ลบ.มม/นาที่)	อัตราการสึกหรอ ของอิเล็กโทรด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราขจัด เนื้องาน (ลบ.มม/นาที่)	อัตราการสึกหรอ ของอิเล็กโทรด (เปอร์เซ็นต์)
ลบ	90	0.13	134	0.01	121.5
ลบ	250	0.29	106.5	0.11	51.86



ภาพที่ 4.2

ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรถัด และอัตราการขจัดเนื้องาน

เมื่อเลือกขั้วลวดในการกัดชิ้นงานก็นำมาหาค่าความต่างศักย์วงจรถัด แสดงให้เห็นว่าความต่างศักย์วงจรถัด 250 โวลท์ ณ เวลาเปิด 3.5 ไมโครวินาทีและเวลาปิดที่ 6 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 1.5 แอมแปร์ มีการขจัดเนื้องานที่มากกว่าและใช้เวลาที่น้อยกว่าค่าความต่างศักย์ 90 โวลท์ และให้อัตราการสึกของอิเล็กโตรดของทองแดงมีค่าน้อยกว่าอิเล็กโตรดทองเหลืองและเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้า 250 โวลท์ให้ค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรดที่ต่ำกว่าค่าความต่างศักย์ที่ 90 โวลท์ดังนั้น จึงเลือกค่าความต่างศักย์ที่ 250 โวลท์เป็นตัวแปรคงที่ในการทดลองต่อไป

4.3 การทดลองหาค่าปัจจัยประสิทธิภาพของการสปาร์ค

การทดลองนี้ เป็นการหาค่าปัจจัยประสิทธิภาพที่ส่งผลกระทบต่อผลการทดลองสปาร์ค ซิลิคอนไนไตรด์ ด้วยการหา ค่ากระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ วงจรถัด และขั้วอิเล็กโตรดคงที่ โดยปรับค่าเวลาเปิดและเวลาปิด เพื่อหาปัจจัยประสิทธิภาพมีผลต่อช่วงเวลาในการสปาร์ค โดยการทดลองจะทำการทดลองอิเล็กโตรดทองเหลืองและทองแดงตามลำดับ

4.3.1 การทดลองหาค่าปัจจัยประสิทธิภาพของการสปาร์คของเหลือ

การทดลองนี้หาค่าปัจจัยประสิทธิภาพมีผลต่อช่วงเวลาในการสปาร์ค ส่งผลให้เกิดการกัดอาคารหรือการขจัดเนื้องานขึ้น เพราะฉะนั้นต้องกำหนดค่ากระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ วงจรเปิด และขั้วอิเล็กโทรดคงที่ จากค่าที่ได้จากตารางที่ 4.5 และได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5

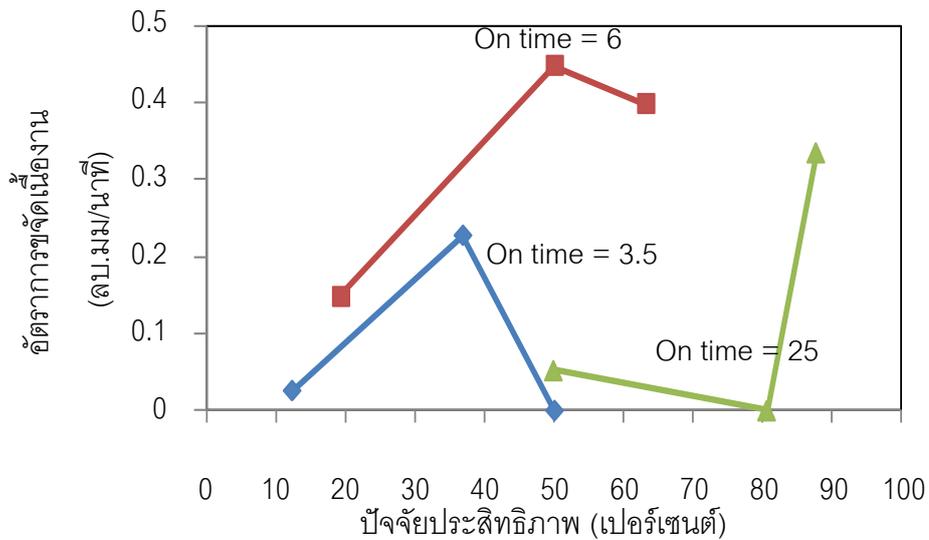
ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการสปาร์คโลหะเพื่อศึกษาปัจจัยประสิทธิภาพ

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้
ขั้วอิเล็กโทรด	ลบ
ความต่างศักย์วงจรเปิด	250 โวลท์
กระแสไฟฟ้า	0.5 แอมแปร์
เวลาเปิด	3.5, 6, 25 ไมโครวินาที
เวลาปิด	3.5, 6, 25 ไมโครวินาที

ตารางที่ 4.6

ผลการทดลองเปรียบเทียบปัจจัยประสิทธิภาพ

เวลาเปิด (ไมโครวินาที)	เวลาปิด (ไมโครวินาที)	ปัจจัยประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)	ทองเหลือง	
			อัตราการขจัดเนื้องาน (ลบ.มม/นาที)	อัตราการสึกหรอ (เปอร์เซ็นต์)
3.5	3.5	50	0	0
3.5	6	36.84	0.2272	57.9
3.5	25	12.28	0.0259	138.3
6	3.5	63.16	0.3980	104.4
6	6	50	0.4472	104.5
6	25	19.35	0.1490	72.9
25	3.5	87.71	0.3365	253.4
25	6	80.64	0	0
25	25	50	0.0523	332.1



ภาพที่ 4.3

ความสัมพันธ์การเปรียบเทียบปัจจัยประสิทธิภาพ ณ เวลาเปิดที่แตกต่างกัน

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยประสิทธิภาพและ อัตราการผลิตชิ้นงาน โดยมีเวลาเปิด 3 ระดับ คือ 3.5, 6, 25 ไมโครวินาที แสดงให้เห็นว่าปัจจัยประสิทธิภาพ 50% ที่เวลาเปิด 6 ไมโครวินาที ให้อัตราการผลิตชิ้นงานที่มากที่สุดโดยอยู่ที่ 0.45 ลบ.มม/นาที

4.3.2 การทดลองหาค่าปัจจัยประสิทธิภาพของการสปาร์คด้วยทองแดง

ตารางที่ 4.7

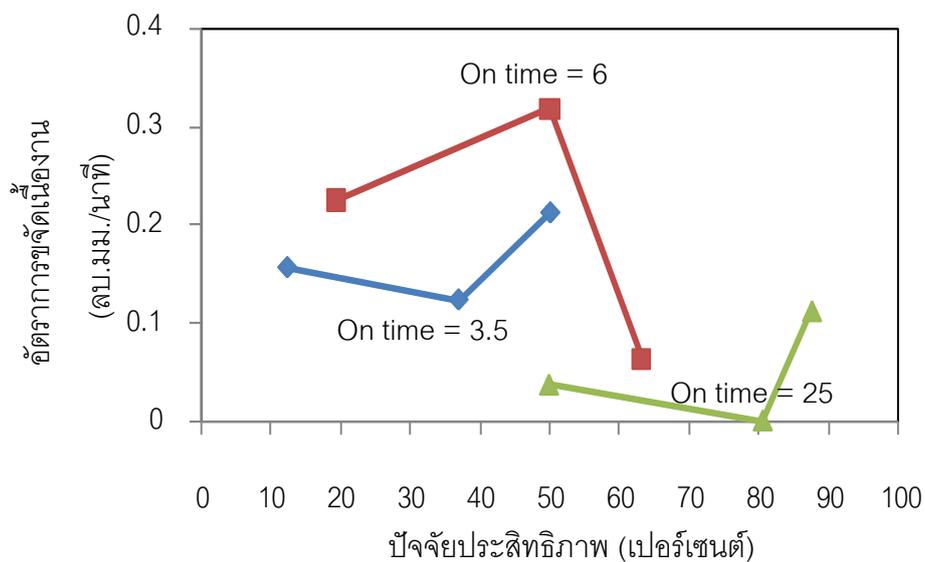
ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการสปาร์คโลหะเพื่อศึกษาปัจจัยประสิทธิภาพ

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้
ขั้วอิเล็กโทรด	ลบ
ความต่างศักย์วงจรเปิด	250 โวลท์
กระแสไฟฟ้า	0.5 แอมแปร์
เวลาเปิด	3.5, 6, 25 ไมโครวินาที
เวลาปิด	3.5, 6, 25 ไมโครวินาที

ตารางที่ 4.8

ผลการทดลองเปรียบเทียบปัจจัยประสิทธิภาพของอิเล็กทรอนิกส์ของแดง

เวลาเปิด (ไมโครวินาที)	เวลาปิด (ไมโครวินาที)	ปัจจัย ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)	ทองแดง	
			อัตราการขจัด เนื้องาน (ลบ.มม./นาท)	อัตราการสึกหรอ ของอิเล็กทรอนิกส์ (เปอร์เซ็นต์)
3.5	3.5	50	0.212	132.05
3.5	6	36.84	0.123	56.13
3.5	25	12.28	0.156	57.53
6	3.5	63.16	0.064	101.00
6	6	50	0.319	54.20
6	25	19.35	0.226	63.26
25	3.5	87.71	0.113	159.2
25	6	80.64	0	0
25	25	50	0.037	299.8



ภาพที่ 4.4

การเปรียบเทียบปัจจัยประสิทธิภาพ ณ เวลาเปิดที่แตกต่างกัน

จากภาพแสดงให้เห็นว่าค่าปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50% ที่เวลาเปิด 6 ไมโครวินาที ทำให้ อัตราการขจัดเนื้องานมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.32 ลบ.มม/นาที่ เป็นตัวแปรคงที่สำหรับการหาค่ากระแส ไฟฟ้าต่อไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเลือกปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50% ณ เวลาเปิด 6 ไมโครวินาทีมา ทำการทดลองหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อไป

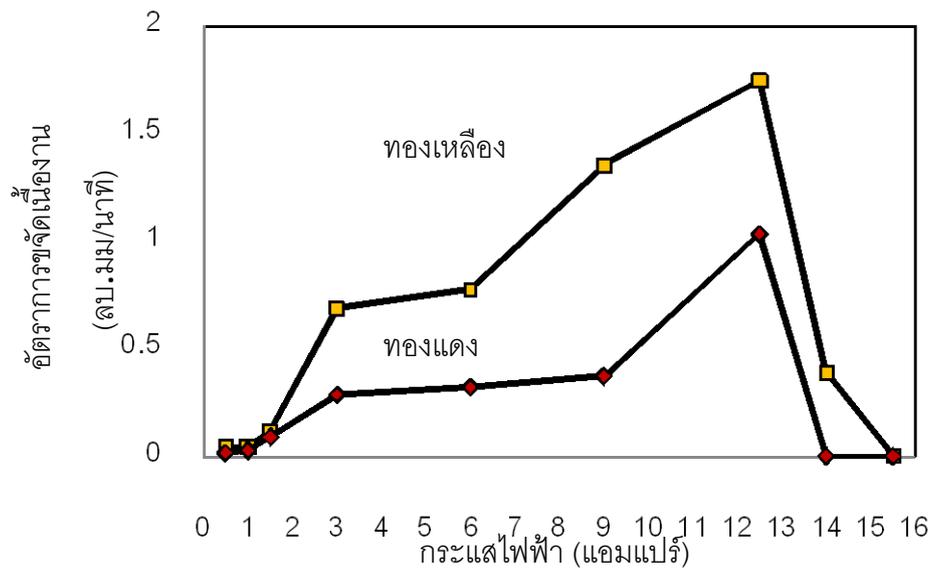
4.4 การทดลองการศึกษาผลกระทบจากค่ากระแสไฟฟ้า

จากผลการทดลองข้างต้นทั้งอิลี กโตรดทองแดงและทองเหลืองแบบกลวงให้ค่า ปัจจัยประสิทธิภาพเท่ากันที่ 50% ณ เวลาเปิดที่ 6 ไมโครวินาทีจึงนำค่าตัวแปรต่างๆ ข้างต้นคือ ค่าความต่างศักย์ วงจรเปิดที่ 250 โวลท์ อิลี กโตรดขั้วลบมาทำการศึกษา ผลจาก กระแสไฟฟ้า เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดพลังงานที่ปล่อยออกมาเพื่อใช้ในการสปาร์ค ก่อนเริ่ม ทดลองมีการกำหนดตัวแปรต่างๆ ตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9

ตัวแปรต่างๆ ในการสปาร์คโลหะเพื่อศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง

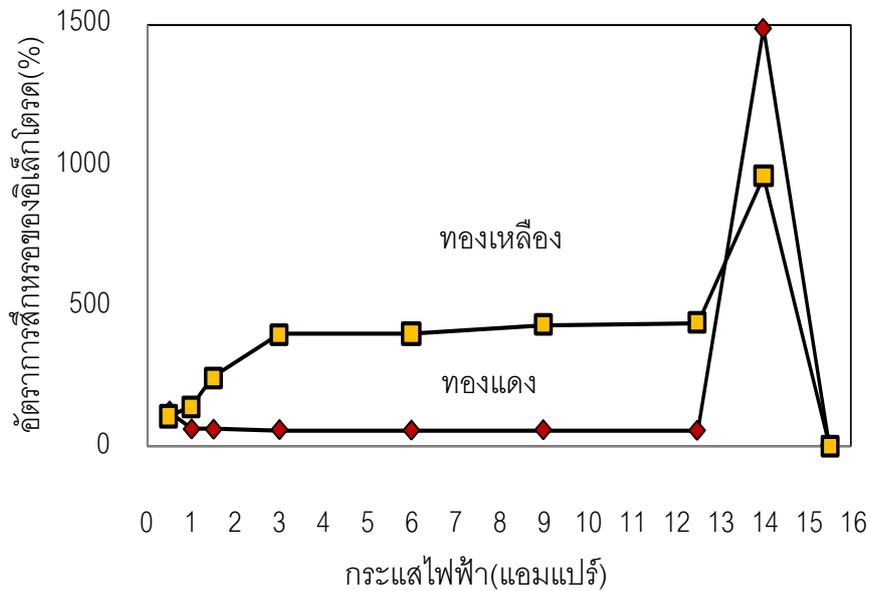
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้
ชนิดของอิลี กโตรด	ทองเหลือง,ทองแดง
ขั้วอิลี กโตรด	ลบ
ความต่างศักย์วงจรเปิด	250 โวลท์
กระแสไฟฟ้า	0.5, 1, 1.5, 3, 6, 12.5 ,14, 15.5 แอมแปร์
เวลาเปิด	6 ไมโครวินาที
เวลาปิด	6 ไมโครวินาที



ภาพที่ 4.5

ความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับอัตราการขจัดเนื้องาน

จากภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าอิเล็คโตรดทองเหลืองให้อัตราการขจัดเนื้องานได้ดีกว่าอิเล็คโตรดทองแดง โดยเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าจะส่งผลให้การขจัดเนื้อชิ้นงานที่ เพิ่มขึ้นและ อิเล็คโตรดทั้งสองให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงสุดที่ 12.5 แอมแปร์ โดยทั้งอิเล็คโตรดทองแดงและ ทองเหลืองจะให้ค่าการขจัดเนื้องานสูงสุด และหลังจากเพิ่มกระแสไฟฟ้าเกินกว่า 12.5 แอมแปร์ อัตราการขจัดเนื้องานลดลง โดยอิเล็คโตรดทองแดงจะเกิดการสปาร์คแต่ไม่สามารถขจัดเนื้องานได้ แต่สำหรับ อิเล็คโตรดทองเหลือง ยังคงมีการขจัดเนื้องานอยู่ และไม่สามารถขจัดเนื้องานได้ที่ 15 แอมแปร์



ภาพที่ 4.6

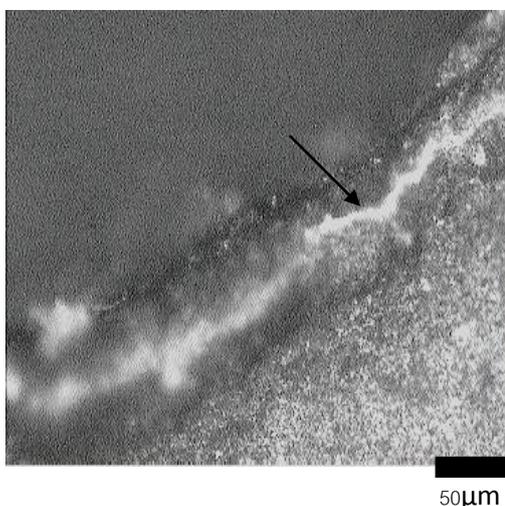
ความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

จากภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าอิเล็กโทรดทองเหลืองให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสูงกว่าอิเล็กโทรดทองแดง และตั้งแต่ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 3 ถึง 12.5 แอมแปร์ ทั้งสองอิเล็กโทรดให้ค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดค่อนข้างคงที่ และ อัตราการสึกของอิเล็กโทรดสูงที่สุดที่ 14 แอมแปร์ แต่ค่ากระแส 14 แอมแปร์นี้ การกัดอาร์คด้วยทองแดงมีผล อัตราการสึกที่มากกว่าอิเล็กโทรดทองเหลือง เนื่องจากเกิดการสปาร์คแต่ไม่สามารถขจัดเนื้องานได้

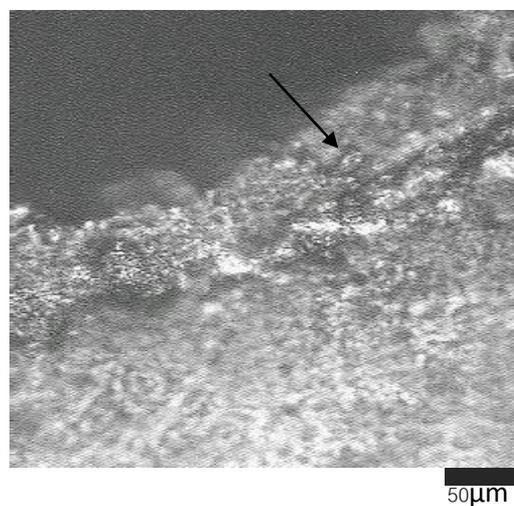
4.4.1 การตรวจสอบชิ้นงานหาชั้นเหนียวนำโดยดูจากจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscopes)

จากการทดลองด้วยวิธีทางจุลทรรศน์ จึงได้นำ ค่าที่เหมาะสมที่สุดจาก 9 การทดลองคือเลือกค่าที่ได้จากการสปาร์คที่กระแสไฟฟ้า 12.5 แอมแปร์ ค่าความต่างศักย์ วงจรเปิด 250 โวลท์ ที่ขั้วลบ ณ ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% ที่เวลาเปิด 6 ไมโครวินาที นำมาวิเคราะห์สภาพผิวชิ้นงานโดยละเอียดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง ที่กำลังขยาย 20 เท่าเพื่อดูความหนาของชั้นเหนียวนำที่ได้หลังจากการสปาร์คชิ้นงานเซรามิกส์ด้วยอิเล็กโตรดทองเหลืองและทองแดง

ก) ทองเหลือง



ข) ทองแดง



ภาพที่ 4.7

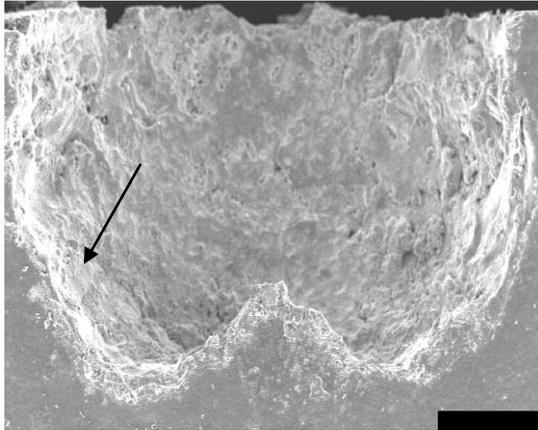
ความหนาชั้นเหนียวนำหลังการอาร์คด้วย ก) ทองเหลือง และ ข) ทองแดง

จากภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า หลังจากการอาร์ค ด้วยอิเล็กโตรดทองเหลืองมีสภาพเกิดชั้นเหนียวนำสม่ำเสมอ โดยมีความหนาของชั้นเหนียวนำ ประมาณ 60-70 ไมครอน แต่การกัดอาร์คด้วยทองแดงมีความหนาของชั้นเหนียวนำที่แตกต่าง โดยมีความหนาประมาณ 40-80 ไมครอน จึงส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานด้วยอิเล็กโตรดทองเหลือง สูงกว่าการอาร์คด้วยอิเล็กโตรดทองแดง เมื่อมองด้วยตาเปล่าชั้นเหนียวนำที่เกิดขึ้นเป็น ลักษณะสีขาว ซึ่งลักษณะสีขาวนี้มาจากอิเล็กโตรด จากนั้นนำไปวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.4.3 เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานสเปกโทรสโคปี (EDS)

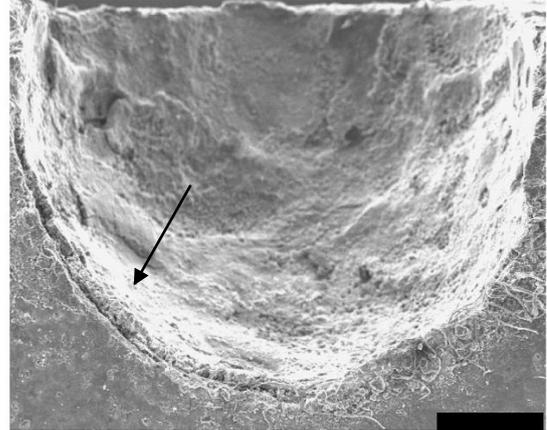
4.4.2. การตรวจสอบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(Scanning Electron Microscop : SEM)

ก) ทองเหลือง



ข) ทองแดง



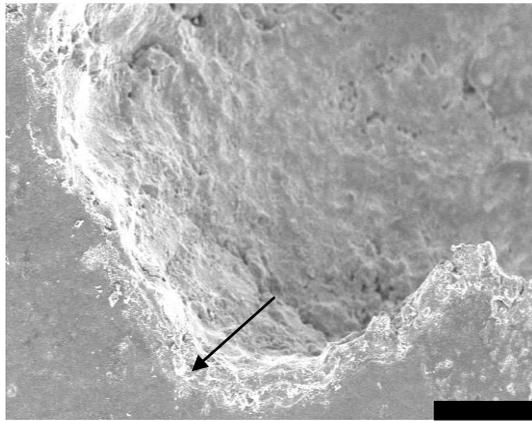
1 mm.

1 mm.

ภาพที่ 4.8

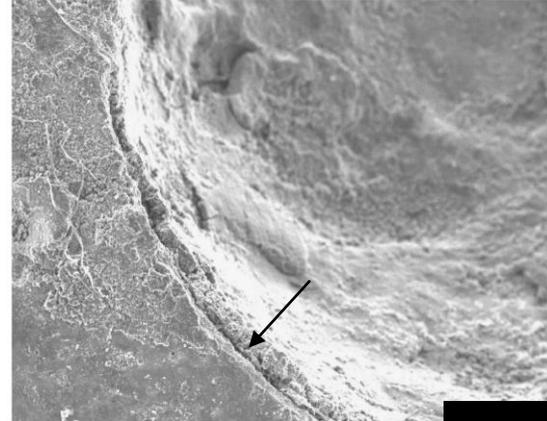
ลักษณะพื้นหลุมที่เกิดจากการอาร์ค จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ก) ทองเหลือง



1 mm.

ข) ทองแดง



1 mm.

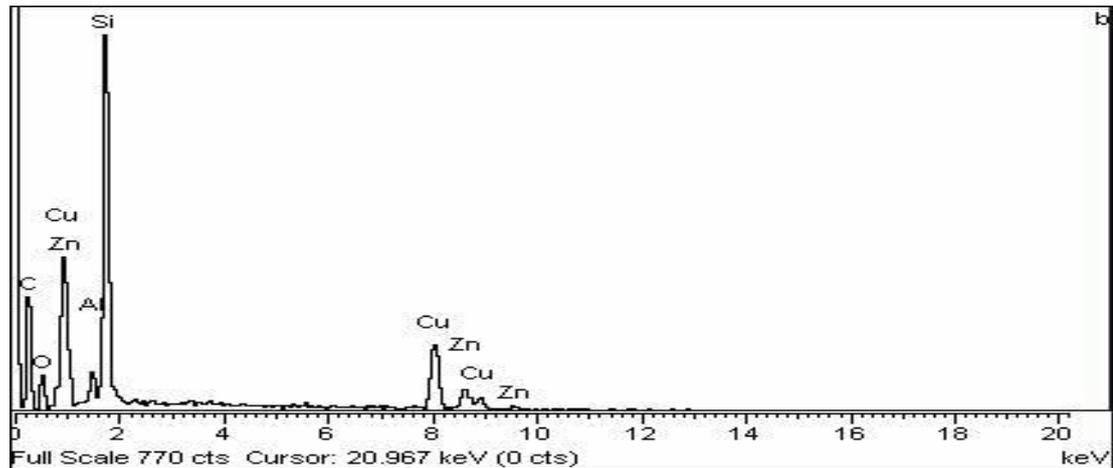
ภาพที่ 4.9

ความหนาของชั้นเหนียวนำหลังการกัดอาร์ค จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

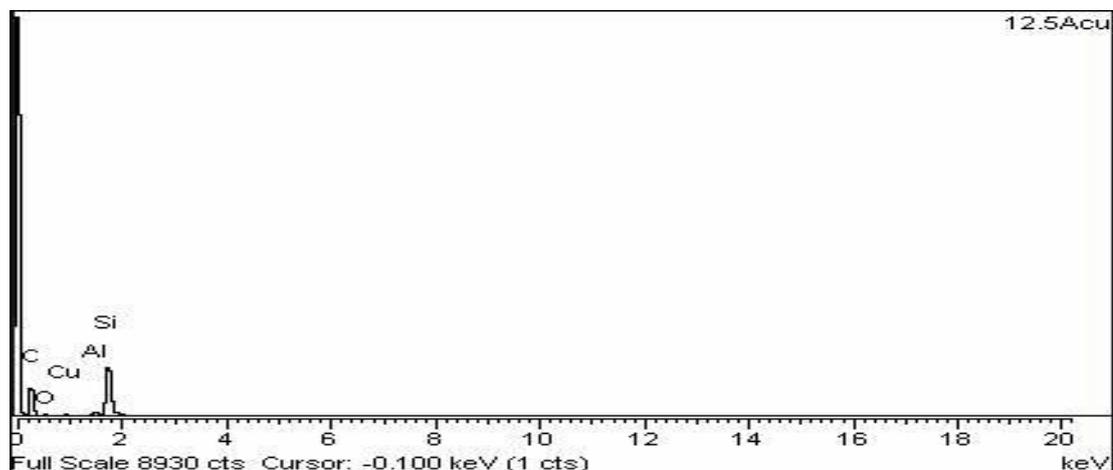
จากภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าความหนาของชั้นเหนียวนำของการอาร์คด้วยทองเหลืองมีความสม่ำเสมอกว่าทองแดง ส่วนพื้นของหลุมจะมีลักษณะเป็นรูปตัวดับเบิลยู (w) ซึ่งเกิดจากช่องว่างรูปวงของอิเล็กโตรด แต่ทองแดงมีลักษณะเป็นรูปตัวยู (U) ซึ่งในช่องว่างรูปวงดูเหมือนมีเศษอุดตัน ที่เกิดจากเซรามิกส์ อิเล็กโตรด และชั้นเหนียวนำ ปฏิกิริยาการนี้จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้การ กัดอาร์คด้วยอิเล็กโตรดทองเหลืองมีมากกว่าอิเล็กโตรดทองแดง

4.4.3 การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี โดยเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานสเปกโทรสโคปี (Electron Dispersive Spectrometer)

ก) ทองเหลือง



ข) ทองแดง



ภาพที่ 4.10

การวิเคราะห์ธาตุในชั้นเหนียวนำซึ่งเกิดจาก ก) ทองเหลือง ข) ทองแดง

ผลการวิเคราะห์จากภาพ 4.10 ทั้ง 2 อิเล็กโตรดพบองค์ประกอบธาตุที่เหมือนกันคือ ซิลิคอน ทองแดง และคาร์บอน โดยซิลิคอนได้มาจากชั้นงาน ทองแดงได้มาจากอิเล็กโตรด และคาร์บอนเกิดจากน้ำมัน และผงคาร์บอน ที่ใช้ในกระบวนการ แต่ส่วนที่ แตกต่าง กันคือ พบธาตุสังกะสีในการกัดอาร์คด้วยทองเหลืองเห็นได้จากภาพที่ 4.10 ก) ซึ่งได้มาจากอิเล็กโตรดทองเหลือง

4.4.4 การตรวจสอบค่าความต้านทานของชั้นเหนียวนำ

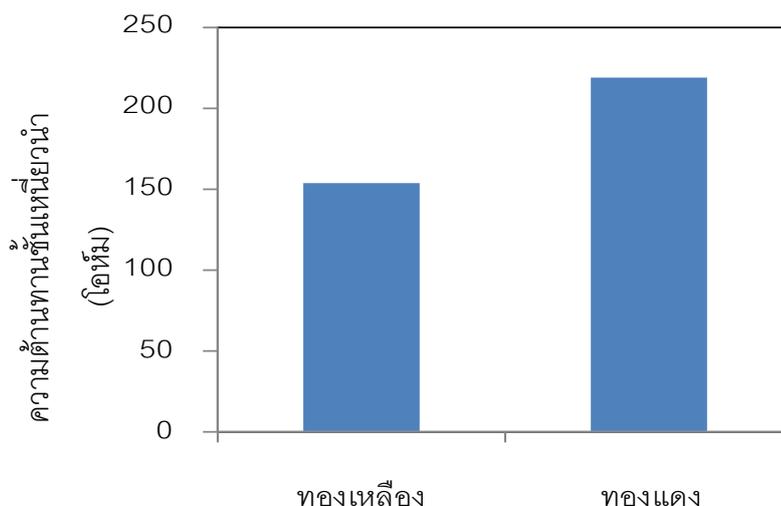
จากผลการวิเคราะห์ หาค่าประกอบทางเคมีโดยเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานสเปกโทรสโคปี (EDS) พบสังกะสีมีมากในชั้นเหนียวนำที่เกิดจากอิเล็กโตรดทองเหลือง ดังนั้นจึงนำมาทดสอบหาค่าความต้านทานของชั้นเหนียวนำของชิ้นงานที่สปาร์คด้วยอิเล็กโตรดทั้งสองชนิด



ภาพที่ 4.11
เครื่องมือที่ใช้ในการวัด

ตารางที่ 4.10
ผลการทดลองวัดค่าความต้านทานของชั้นเหนียวนำ

ชนิดอิเล็กโตรด	ความต้านทานของชั้นเหนียวนำ (โอห์ม)
ทองเหลือง	153.42
ทองแดง	218.96



ภาพที่ 4.12

เปรียบเทียบค่าความต้านทานของชั้นเหนียวนำ

ตารางที่ 4.10 แสดงผลค่าความต้านทานของชั้นเหนียวนำและภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานของชั้นเหนียวนำจากอิเล็กโตรดทองเหลืองมีค่าต่ำกว่าอิเล็กโตรดทองแดง ซึ่งให้ค่า 218.96 โอห์ม โดยมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานโดยทั่วไปเมื่อสปาร์คบนซิลิคอนไนไตรต์ (Mohri, 2004) จึงส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มากกว่า ซึ่งได้มาจากสังกะสีที่ได้จากการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการในหัวข้อที่ 4.4.4 จึงทำให้การสปาร์คด้วยทองเหลืองง่ายกว่าทองแดง

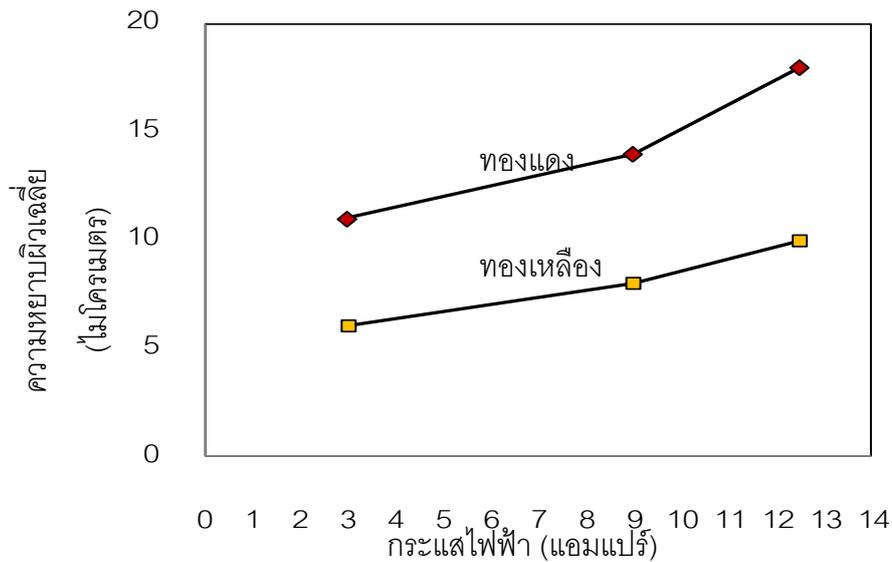
4.4.5 การตรวจสอบชิ้นงานโดยดูจากความหยابของผิวชิ้นงาน

จากการทดลองด้วยวิธีทาคุชิ จึงได้นำค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลอง นำมาวัดด้วยเครื่องวัดความหยابของผิว เฉลี่ยเพื่อดูพื้นผิวที่ได้หลัง จากการสปาร์คว่าการเลือกใช้ อิเล็กโตรดใดที่เหมาะสมกับการอาร์คบนชิ้นงานเซรามิกส์

ตารางที่ 4.11

ผลการทดลองค่าความหยابเฉลี่ยหลังการสปาร์ค

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	Ra ทองเหลือง (ไมโครเมตร)	Ra ทองแดง (ไมโครเมตร)
3	6	11
9	8	14
12.5	10	18

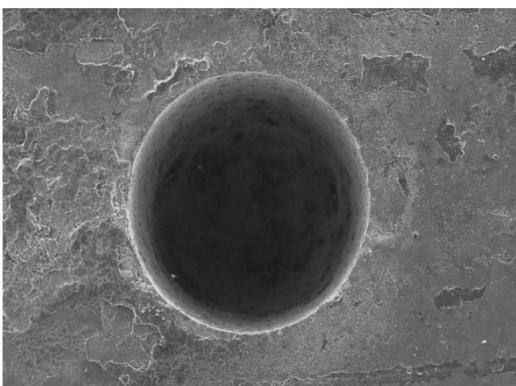


ภาพที่ 4.13

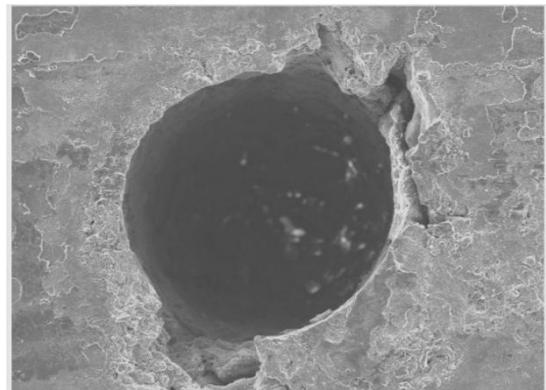
ความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับค่าความหยาบของผิวเฉลี่ย

จากภาพที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าจะส่งผลให้ความหยาบผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น และค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของทองแดงมีค่าสูงกว่าทองเหลือง เนื่องจากชั้นเหนียวนำของทองแดงให้ค่าแตกต่างกันจึงทำให้การ สปาร์คบนชั้นเหนียวนำมีค่าไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ผิวงานมีความหยาบมากกว่า

ก) ทองเหลือง



ข) ทองแดง



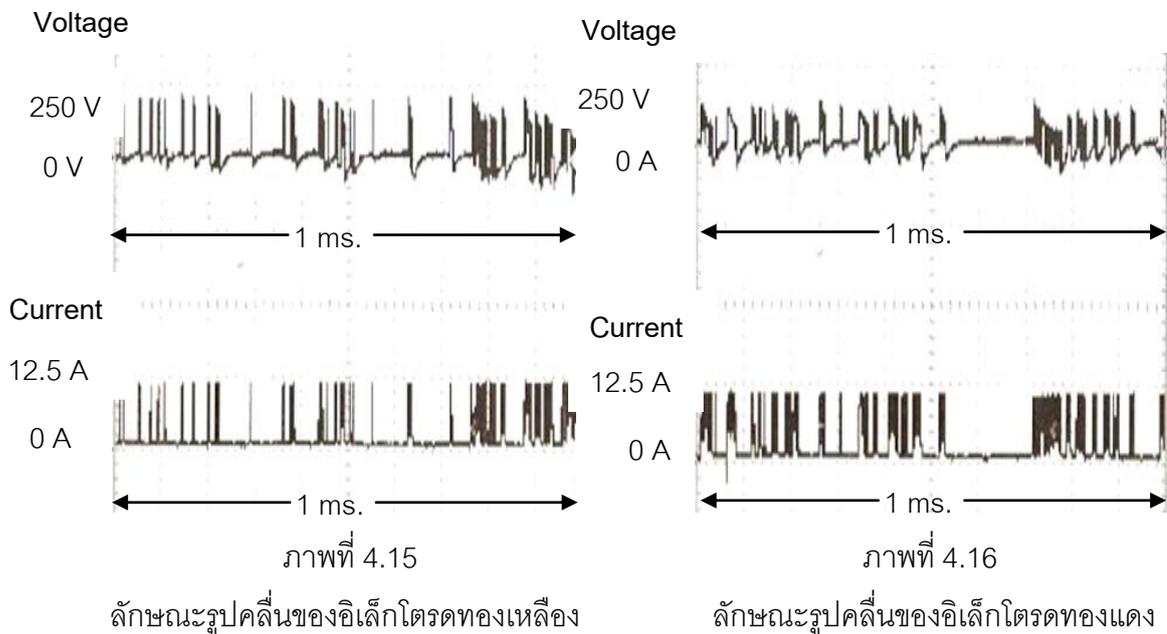
ภาพที่ 4.14

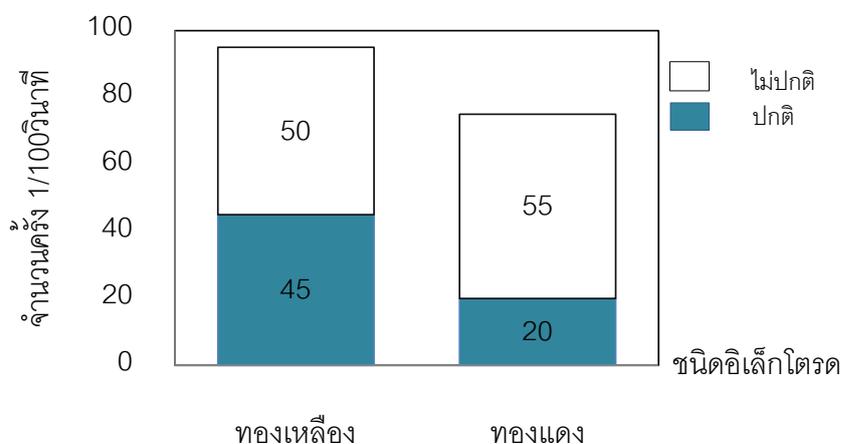
ลักษณะปากหลุมจากการอาร์ดด้วยอิเล็กโตรดทองเหลืองและทองแดง

จากภาพที่ 4.14 ลักษณะปากหลุมของการสปาร์คด้วยอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องเรียบสวยกว่าการสปาร์คด้วยอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องแดง เนื่องจากชั้นเหนียวนำของการสปาร์คด้วยอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องมีความสม่ำเสมอกว่าของแดง ซึ่งผลนี้สอดคล้องกับค่าความหนาของชั้นเหนียวนำในหัวข้อที่ 4.4.1

4.4.6 รูปลักษณะคลื่นที่ได้จากการสปาร์ค

จากการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าการสปาร์คเซรามิกส์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องจะให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงกว่าอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องแดง สำหรับการสปาร์คชิ้นงานที่ไม่นำไฟฟ้าการสปาร์คส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นแบบไม่ปกติ ซึ่งประกอบไปด้วยแบบยาว (Long) แบบลัดวงจร และแบบเจาะจง (Short & Concentrate) ดังนั้น การทดลองนี้เพื่อศึกษาลักษณะรูปคลื่นที่เกิดจากการสปาร์คด้วยอิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกัน โดยการทดลองได้นับจำนวนลักษณะรูปคลื่นที่ได้จากการสปาร์คในเวลา 1/100 วินาที ดังแสดงให้เห็นจากภาพที่ 4.15 และ 4.16 แสดงให้เห็นรูปคลื่นที่ได้จากการสปาร์ค





ภาพที่ 4.17

จำนวนลูกคลื่นที่ได้จากการสปาร์ค

จากภาพที่ 4.17 พบว่าอิลีเก้กโตรดทองเหลือง ให้จำนวนรูปคลื่นมากกว่าอิลีเก้กโตรดทองแดง โดยทองเหลืองมีจำนวน 95 ลูกคลื่น และทองแดงมีจำนวน 75 ลูกคลื่น ดังนั้นการสปาร์คด้วยทองเหลืองมีความถี่กว่าและได้ลักษณะรูปคลื่นที่เป็นแบบปกติมากกว่าอิลีเก้กโตรดทองแดง โดยจำนวนลูกคลื่นแบบปกติที่ได้สำหรับอิลีเก้กโตรดทองเหลือง มีจำนวน 45 ลูกคลื่น ส่วนในทองแดงมีจำนวน 20 ลูกคลื่น ซึ่งผลนี้สามารถอธิบายได้ถึงอัตราการขาดน้ำ การเกิดลักษณะขึ้นเหนียวน้ำ และค่าความหยาบของผิวเฉลี่ย

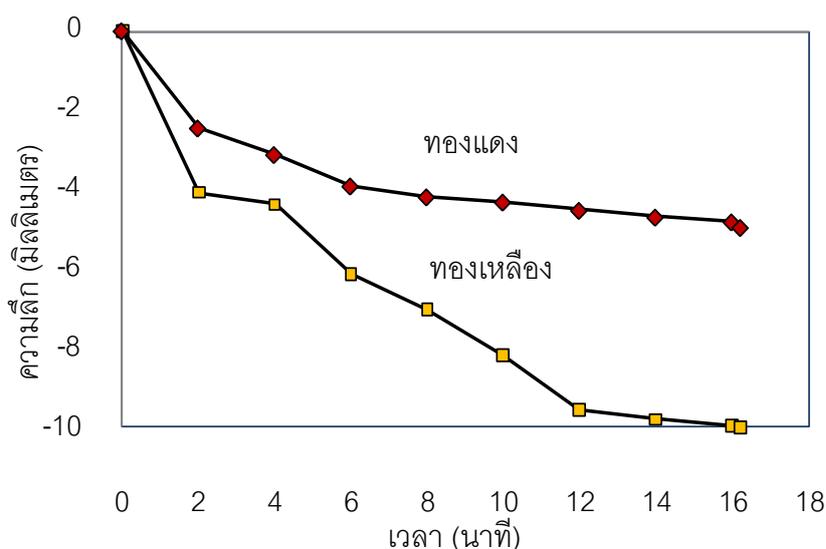
4.5 การทดลองเปรียบเทียบความสัมพันธ์ประสิทธิภาพความลึกและเวลาที่ต่างกัน

จากผลการทดลองข้างต้นทั้งอิลีเก้กโตรดทองแดงและทองเหลืองแบบกลวงให้ค่าปัจจัยประสิทธิภาพ เท่ากันที่ 50% ณ เวลาเปิด-เวลาปิดที่ 6 ไมโครวินาทีจึงนำค่าตัวแปรต่างๆ ข้างต้นคือ ค่าความต่างศักย์ที่ 250 โวลท์ อิลีเก้กโตรดชั่ววอมมาทำการศึกษาเมื่อให้เวลาคงที่ ที่แตกต่างกันมีการส่งผลกระทบต่อ การทดลอง โดยกำหนดตัวแปรต่างๆ ตามตาราง จากนั้นนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอัตราการอาร์ค และอัตราการสึกหรอของอิลีเก้กโตรด

ตารางที่ 4.12

ค่าตัวแปรต่างๆ ในการสปาร์คโลหะเพื่อศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง

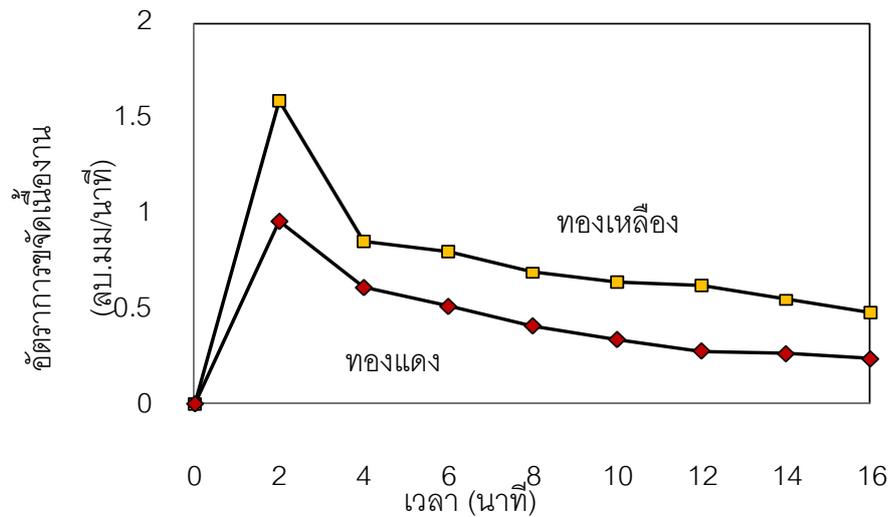
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้
ชนิดของอิเล็กโตรด	ทองเหลือง,ทองแดง
ขั้วอิเล็กโตรด	ลบ
ความต่างศักย์วงจรเปิด	250 โวลท์
กระแสไฟฟ้า	12.5 แอมแปร์
เวลาเปิด	6 ไมโครวินาที
เวลาปิด	6 ไมโครวินาที
เวลา	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 นาที



ภาพที่ 4.18

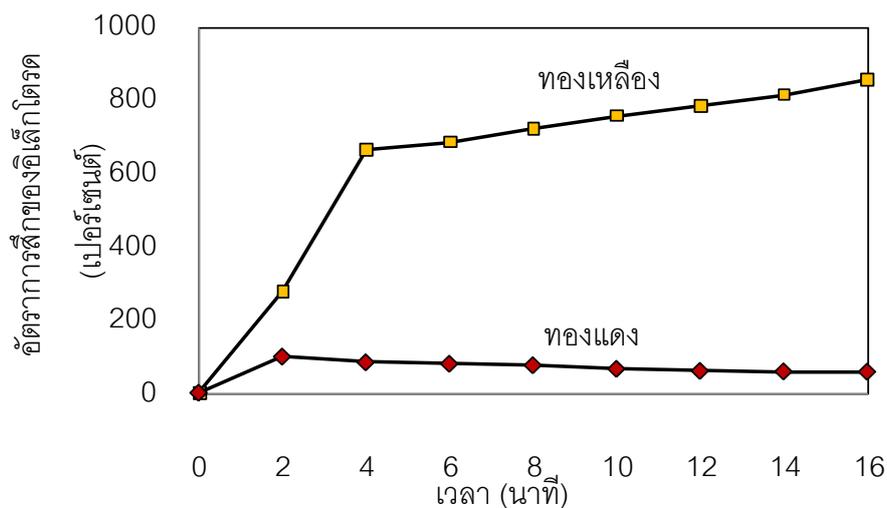
ความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างเวลากับความลึกของชิ้นงาน

จากภาพที่ 4.18 แสดงการขจัดเนื้องานของอิเล็กโตรดทองเหลืองในเวลา 16.23 นาที จะทะลุชิ้นงานที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร แต่ในอิเล็กโตรดทองแดงต้องใช้เวลาในการเจาะทะลุถึง 83.15 นาที ซึ่งทองเหลืองใช้เวลาในการเจาะทะลุเร็วกว่าทองแดงถึง 4 เท่า อีกทั้งเมื่อดูเวลาตั้งแต่ 6 นาทีเป็นต้นไป จะเห็นได้ว่าทองแดงให้อัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ในส่วนของอิเล็กโตรดทองเหลือง นั้นให้อัตราการขจัดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นทองเหลืองจึงมีประโยชน์อย่างมากในการกัดชิ้นงานที่มีความลึกมาก



ภาพที่ 4.19

ความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างเวลากับอัตราการขจัดเนื้องาน



ภาพที่ 4.20

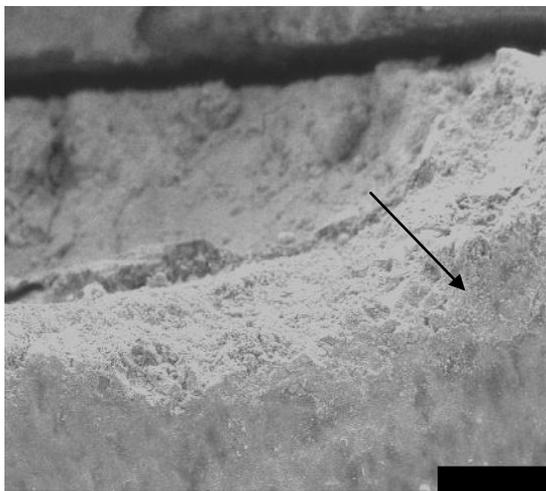
ความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับอัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรด

อิเล็กโตรดทองเหลือง ให้อัตราการขจัดเนื้องานได้ดีกว่าอิเล็กโตรดทองแดงโดย ทั้ง อิเล็กโตรดทองแดงและทองเหลือง เมื่อเวลาในการขจัดเนื้องาน ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การขจัดเนื้องานลดลงและอิเล็กโตรดทองเหลือง ให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรดสูงกว่าอิเล็กโตรดทองแดง ในส่วนอิเล็กโตรดทองเหลือง เมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การสึกของอิเล็กโตรดเพิ่มขึ้น แต่สำหรับ อิเล็กโตรดทองแดงเมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้นอัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรดลดลง

4.5.1 การตรวจสอบชั้นเหนียวนำจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ความลึกแตกต่างกัน (Scanning Electron Micrography)

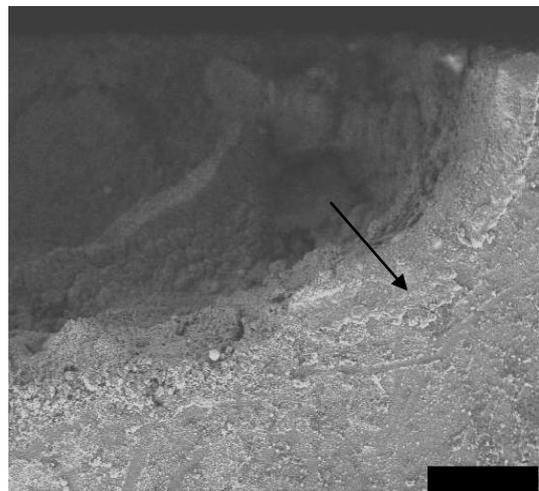
จากการทดลองนำชิ้นงานที่ได้จากค่าที่ดีที่สุดคือการสปาร์คจากกระแสไฟฟ้าที่ 12.5 แอมแปร์ มาตรวจหาชั้นเหนียวนำ จะเห็นได้ว่าที่ความลึกต่างกันให้ค่าความหนาของชั้นเหนียวนำไม่ต่างกันมาก โดยมีค่าประมาณ 60 – 70 ไมโครเมตร

ก. ความลึก 1 มม.



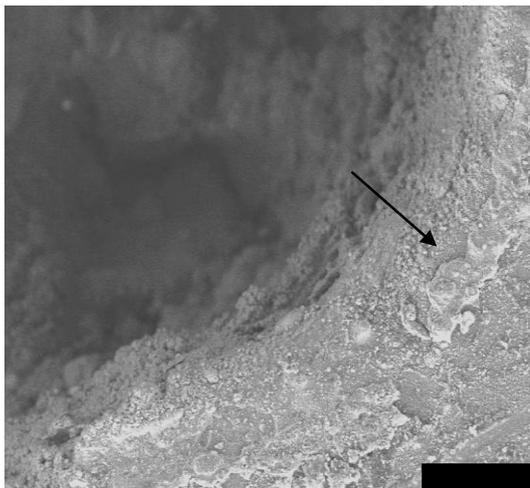
ความหนาชั้นเหนียวนำ (60-70 μ m) 600 μ m

ข. ความลึก 2 มม.



ความหนาชั้นเหนียวนำ (60-70 μ m) 600 μ m

ค. ความลึก 3 มม.

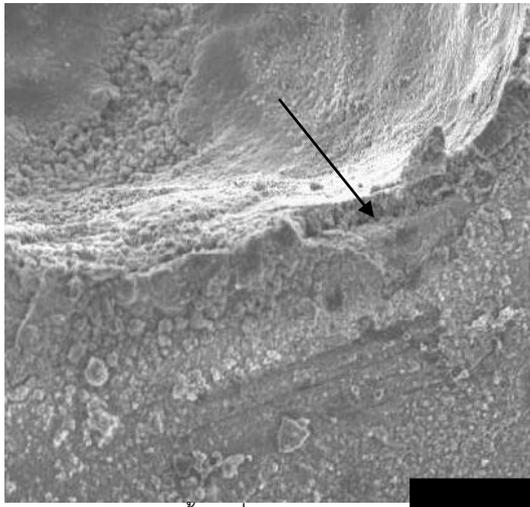


ความหนาชั้นเหนียวนำ (60-70 μ m) 600 μ m

ภาพที่ 4.21

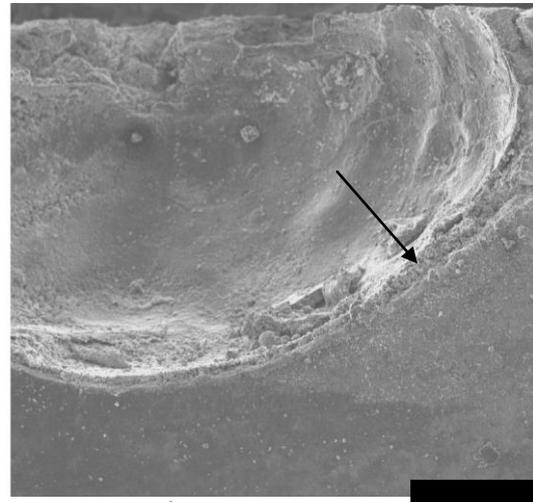
ค่าการกัดลึกเนื่องงานจากอิเล็กโตรดทองเหลืองที่แตกต่างกัน

ก. ความลึก 1 มม.



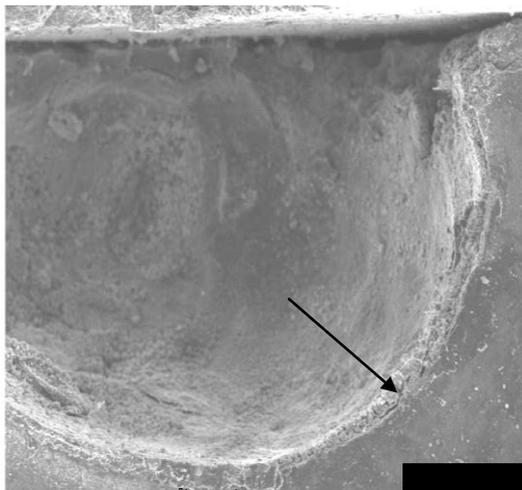
ความหนาชั้นเหนียวน้ำ (60-70 μ m) 600 μ m

ข. ความลึก 2 มม.



ความหนาชั้นเหนียวน้ำ (35-55 μ m) 600 μ m

ค. ความลึก 3 มม.



ความหนาชั้นเหนียวน้ำ (20-45 μ m) 600 μ m

ภาพที่ 4.22

การกัดลึกเนื้องานจากอิลเล็กโตรดทองแดงที่แตกต่างกัน

จากภาพ ที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่า ค่าความหนาของชั้นเหนียวน้ำจากอิลเล็กโตรดทองแดง คือเมื่อกัดที่ความลึกต่ำ งามันพบว่า ยิ่งกัดลึกเนื้องานมากขึ้น ทำให้ความหนาของชั้นเหนียวน้ำมีค่าลดลง และยังส่งผลให้ ชั้นเหนียวน้ำมีค่าแตกต่างกัน จึงทำให้การสปาร์คบนชั้นเหนียวน้ำมีค่าไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้การกัดอาร์ค ด้วยอิลเล็กโตรดทองแดงมีอัตราการขจัดเนื้องานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการกัดอาร์คด้วยอิลเล็กโตรดทองเหลือง

4.6 การทดลองด้วยวิธีทาทุชิ

จากการทดลองเบื้องต้นทำให้ทราบแนวโน้มที่มีผลต่อการทดลองดังนั้นจึงนำค่าที่ได้มาออกแบบการทดลองด้วยวิธีทาทุชิอีกครั้งเพื่อเป็นการประเมินผล กระบะเพล นั้นและหาปัจจัยต่างๆ เพื่อให้ เกิดความแน่ใจว่าการทดลองที่เกิดขึ้นตรงตามเป้าหมายที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ ดังนั้นจากแนวโน้มที่ได้ข้างต้นทั้งการสปาร์คด้วยอิเล็กโตรดทองแดงและทองเหลืองแบบกลวงให้ค่าตัวแปรคงที่เหมือนกัน จึงส่งผลให้การใช้ตัวแปรต่างๆ ด้วยวิธีทาทุชิในทองแดงและทองเหลืองใช้วิธีการออกแบบและค่าตัวแปรเดียวกัน โดยผู้วิจัยทำการทดลองวิธีทาทุชิจากอิเล็กโตรดของทองแดงและทองเหลืองแบบกลวงและหลังจากนั้นนำไป วิเคราะห์ผลกระทบบหลักจากโปรแกรมมินิเทป 15.0 อีกครั้ง

4.6.1 ผลการทดลองทาทุชิด้วยอิเล็กโตรดทองแดงแบบกลวง

จากผลการทดลอง หาผลกระทบบที่เกิดขึ้นจากค่า เวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ ๖๖ 50% และกระแสไฟฟ้า ๖ มีผลกระทบบต่อประสิทธิภาพของการสปาร์ค คชิลิคอนไนไตรด์ แตกต างกันไปไม่มากนัก อยดงนั้นจึงกำหนดให้ ตัวแปรทั้ง 2 เป็นตัวแปรสำหรับการทดลองด วยวิธีทาทุชิ และเมื่อ กำหนดตัวแปรใด แลว จึงกำหนดระดับ และค ่าในแต่ละระดับของตัวแปรนั้นๆ ตามตารางที่ 4.13 โดยการทดลองต องการ 3 ระดับ ซึ่งระดับ 1 หมายถึง ระดับที่ต่ำที่สุด ระดับ 2 หมายถึง ระดับ กลาง และระดับ 3 หมายถึงระดับที่สูงที่สุด

ตารางที่ 4.13

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองดวยวิธีทาทุชิ และระดับของตัวแปร

สัญลักษณ์	ตัวแปร	หน่วย	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3
I_p	กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์	3	9	12.5
t_{on}	เวลาปิด	ไมโครวินาที	3.5	6	25

หมายเหตุ: ปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50%

ตารางที่ 4.14

ผลจากการทดลองด้วยวิธีทาทุชิ L9 ด้วยอิเล็กทรอนิกส์โทรดทองแดง

การทดลองที่	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		เวลาเปิด (ไมโครวินาที)		อัตราการขจัดเนื้องาน (ลูกบาศก์ มิลลิเมตร / นาที)	อัตราการสึกหรอของ อิเล็กโทรด(%)
	ระดับ	ค่า	ระดับ	ค่า		
1	1	3	1	3.5	0.07	76.44
2	1	3	2	6	0.13	99.54
3	1	3	3	25	0.02	30.61
4	2	9	1	3.5	0.13	62.27
5	2	9	2	6	0.19	80.51
6	2	9	3	25	0.02	29.98
7	3	12.5	1	3.5	0.14	4,988
8	3	12.5	2	6	0.69	76
9	3	12.5	3	25	0.06	5,002

4.6.2 การวิเคราะห์ผลกระทบหลักโดยเครื่องมือทางสถิติสำหรับทองแดง

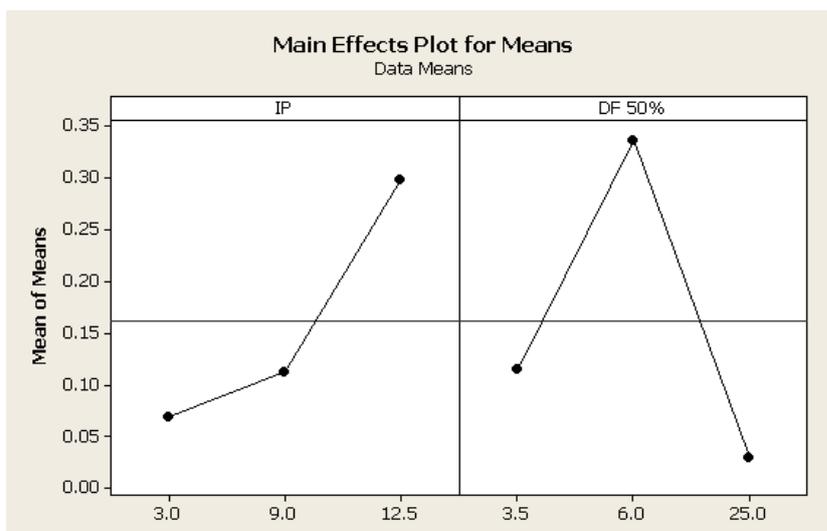
โดยหลังจากการทดลองแบบวิธีทาทุชิ นำผลอัตราการขจัดเนื้องาน, อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด นำมาวิเคราะห์ผลกระทบหลักด้วยโปรแกรมมินิเทป 15.0 ดังนี้

1. ผลกระทบของตัวแปรหลักต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

ตารางที่ 4.15

ผลกระทบของตัวแปรหลักของตัวแปรหลักแต่ละตัวแปรต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

หน่วย	ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที		
	ระดับ 1 (L1)	ระดับ 2 (L2)	ระดับ 3 (L3)
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง			
กระแสไฟฟ้า	0.07	0.11	0.29
เวลาเปิด	0.12	0.34	0.03



ภาพที่ 4.23

ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลกระทบหลักของ ตัวแปรกระแสไฟฟ้า และเวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% ต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

จากภาพที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าผลตอบแทนในแต่ละ ระดับตัวแปร สามารถอธิบายผลได้ดังนี้

- ตัวแปรกระแสไฟฟ้า พิจารณาระหว่าง ช่วง 3 ถึง 12.5 แอมแปร์ พบว่าที่กระแสไฟฟ้าที่ 12.5 แอมแปร์ ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด เนื่องจากปริมาณกระแสไฟฟ้ามามาก จึงทำให้มีการไหลของกระแสไฟฟ้าอย่างหนาแน่น เพื่อสปราร์คกับชิ้นงานมากกว่าปกติ

- ตัวแปรเวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% พิจารณา ระหว่าง ช่วง 3.5 ถึง 25 ไมโครวินาที พบว่าที่เวลาเปิด เท่ากับ 6 ไมโครวินาที ให้ ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด เนื่องจาก เวลาเปิด-เวลาปิด จะเกี่ยวข้องกับเวลาในการปล่อยกระแสและช่วงเวลาหยุดการสปราร์ค เพื่อระบายเศษชิ้นงานออก เซรามิกส์เป็นชิ้นงานที่มีความแข็ง ดังนั้นการให้เวลาในการปล่อยกระแสและเวลาหยุดพักในระดับปานกลางทำให้ ประสิทธิภาพในการสปราร์ค ดีกว่าการให้ เวลาพักน้อยหรือมากเกินไป

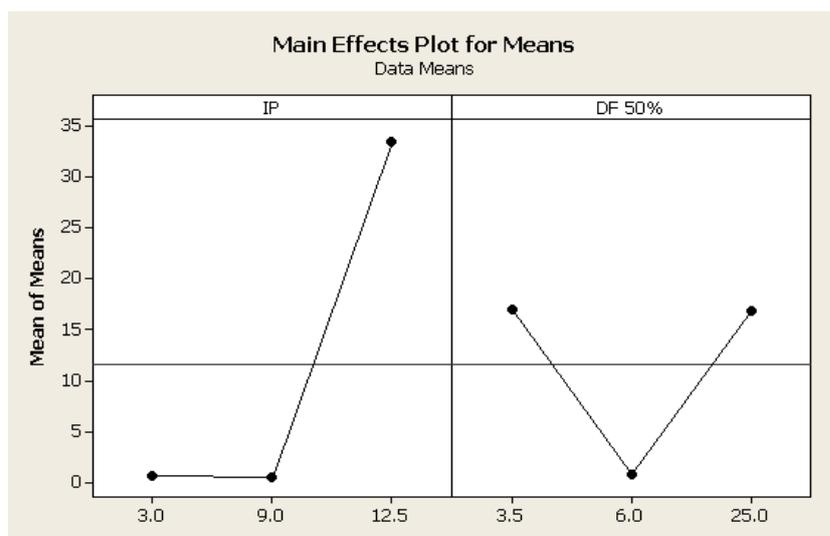
สรุปผลการทดลองด้วยวิธีทางสถิติจากความสัมพันธ์ระหว่าง ผลกระทบหลักของตัวแปรกระแสไฟฟ้า และเวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50% พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับที่ 3 ค่าเวลาเปิดที่ระดับที่ 2 หรือการทดลองที่ 8 คือ เงื่อนไขความสัมพันธ์ที่ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานมีค่ามากที่สุด

2. ผลกระทบของตัวแปรหลักต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์โทรดทองแดง

ตารางที่ 4.16

ผลกระทบของตัวแปรหลักและผลต่างของผลกระทบของตัวแปรหลัก
แต่ละตัวแปรต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์โทรดทองแดง

หน่วย	เปอร์เซ็นต์		
	ระดับ 1 (L1)	ระดับ 2 (L2)	ระดับ 3 (L3)
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง			
กระแสไฟฟ้า	68.86	57.58	3,355.33
เวลาเปิด	1,708.90	85.35	1,687.53



ภาพที่ 4.24

ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลกระทบหลักของตัวแปรกระแสไฟฟ้า
และเวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% ต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์โทรด

จากภาพที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ในแต่ละระดับตัวแปรสามารถอธิบายผลได้ดังนี้

- ตัวแปรกระแสไฟฟ้า พิจารณาระหว่าง ช่วง 3 ถึง 12.5 แอมแปร์ พบว่า ที่กระแสไฟฟ้า เท่ากับ 9 แอมแปร์ ทำให้อัตราการสึก หรอของอิเล็กโตรดต่ำที่สุดเนื่องมาจากการเศษที่มีการระบายออกของทองแดงได้หลุดร่วระหว่าง การสปาร์ค ที่ใดกลาวไปแล้ว

- ตัวแปรค่าเวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50% พิจารณา ระหว่าง ช่วง 3.5 ถึง 25 ไมโครวินาที พบว่าที่เวลาเปิด เท่ากับ 6 ไมโครวินาที ใน อัตราการสึก หรอของอิเล็กโตรดที่ต่ำที่สุด เหตุผลคือ ช่วงเวลาในการปล่อยกระแสและเวลาหยุดสปาร์ คเพื่อระบายเศษชิ้นงานออกหรือเวลาหยุดพักนั้นอยู่ในระดับปานกลาง อิเล็กโตรดคายความร้อนได้พอดี และมีเวลาให้ คืนสภาพเพื่อ การสปาร์คครั้งต่อไปได้อย่างเต็มที่

สรุปผลการทดลอง ด้วยวิธีทากูชิ พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับที่ 2 ค่าเวลาเปิดที่ ระดับที่ 2 หรือการทดลองที่ 5 คือ เงื่อนไขความสัมพันธ์ที่ทำให้อัตราการสึกของอิเล็ก โตรดมีค่าน้อยที่สุด

4.6.3 ผลการทดลองทากูชิด้วยอิเล็กโตรดทองเหลือง

ในการทดลองนี้ใช้ตัวแปร และระดับ เดียวกันกับการทดลองด้วยอิเล็กโตรดทองแดง

ตารางที่ 4.17

ผลจากการทดลองด้วยวิธีทากูชิ L9 ด้วยอิเล็กโตรดทองเหลือง

การทดลองที่	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		เวลาเปิด (ไมโครวินาที)		อัตราการขจัดเนื้องาน (ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที่)	อัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรด (%)
	ระดับ	ค่า	ระดับ	ค่า		
1	1	3	1	3.5	0.19	758.4
2	1	3	2	6	0.36	345.4
3	1	3	3	25	0.15	600.6
4	2	9	1	3.5	0.25	784.8
5	2	9	2	6	0.46	181.5
6	2	9	3	25	0.17	99.44
7	3	12.5	1	3.5	0.13	1,760
8	3	12.5	2	6	2.66	130.4
9	3	12.5	3	25	0.001	1,234

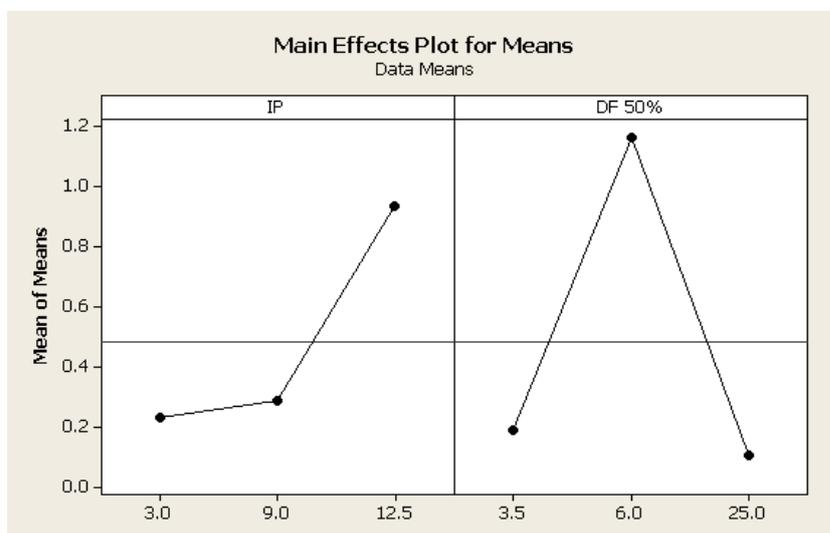
4.6.4 การวิเคราะห์ผลกระทบหลักโดยเครื่องมือทางสถิติสำหรับทองเหลือง โดยหลังจากการทดลองแบบวิธีทาคุชิ นำผลอัตราการจัดنيعงาน, อัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์ผลกระทบหลักด้วยโปรแกรมมินิเทป 15.0 ดังนี้

1. ผลกระทบของตัวแปรหลักต่ออัตราการจัดنيعงาน

ตารางที่ 4.18

ผลกระทบของตัวแปรหลักแต่ละตัวแปรต่ออัตราการจัดنيعงาน

หน่วย	ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที		
	ระดับ 1 (L1)	ระดับ 2 (L2)	ระดับ 3 (L3)
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง			
กระแสไฟฟ้า	0.24	0.29	0.93
เวลาเปิด	0.19	1.16	0.11



ภาพที่ 4.25

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ผลกระทบหลักของ ตัวแปรกระแสไฟฟ้า และเวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50%

จากภาพที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างคาบผลตอบสนองในแต่ละระดับตัวแปร สามารถอธิบายผลได้ดังนี้

- ตัวแปรกระแสไฟฟ้า พิจารณาระหว่าง ช่วง 3 ถึง 12.5 แอมแปร์ พบว่า กระแสไฟฟ้า เทากับ 12.5 แอมแปร์ ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด

- ตัวแปรค่าเวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% พิจารณาระหว่าง ช่วง 3.5 ถึง 25 ไมโครวินาที พบว่า ที่เวลาเปิด เทากับ 6 ไมโครวินาที ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด

สรุปผลการทดลองด้วยวิธีทากูชิ พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับ 3 ค่าเวลาเปิดที่ระดับ 2 หรือการทดลองที่ 8 คือ เงื่อนไขความสัมพันธ์ที่ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานมีค่ามากที่สุด

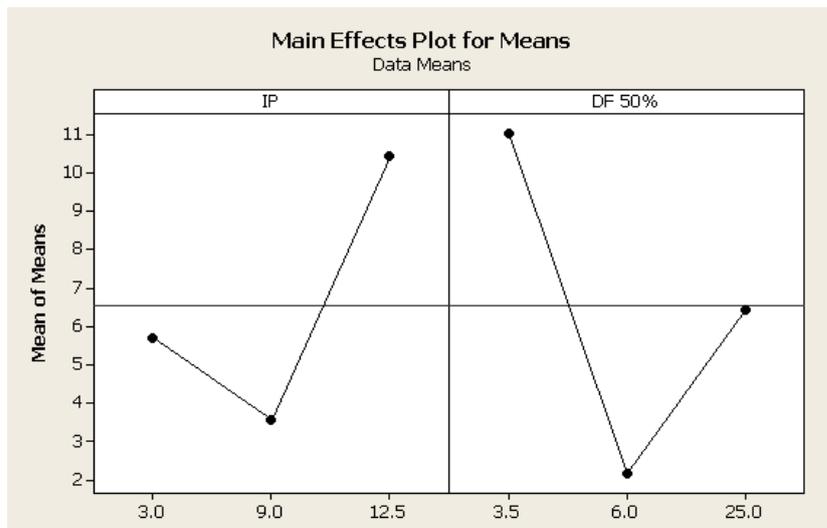
2. ผลกระทบของตัวแปรหลักต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์โทรดทองเหลือง

ตารางที่ 4.19

ผลกระทบของตัวแปรหลัก และผลต่างของผลกระทบของตัวแปรหลัก

แต่ละตัวแปรต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์โทรด

หน่วย	เปอร์เซ็นต์		
	ระดับ 1 (L1)	ระดับ 2 (L2)	ระดับ 3 (L3)
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง			
กระแสไฟฟ้า	388.13	355.25	43.47
เวลาเปิด	1,101.07	219.1	644.68



ภาพที่ 4.26

ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลกระทบหลักของตัวแปรกระแสไฟฟ้า และเวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% ต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

จากภาพที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าผลตอบสนองในแต่ละระดับตัวแปร สามารถอธิบายผลได้ดังนี้

- ตัวแปรกระแสไฟฟ้า พิจารณาระหว่าง ช่วง 3 ถึง 12.5 แอมแปร์ พบว่าที่กระแสไฟฟ้า เท่ากับ 9 แอมแปร์ ทำให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์ต่ำที่สุด

- ตัวแปรค่าเวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% พิจารณาระหว่าง ช่วง 3.5 ถึง 25 ไมโครวินาที พบว่า ที่เวลาเปิด เท่ากับ 6 ไมโครวินาที ให้ อัตราการสึก หรอของอิเล็กทรอนิกส์ ต่ำที่สุด

สรุปผลการทดลอง ด้วยวิธีทากูชิ พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับที่ 2 ค่าเวลาเปิดที่ ระดับที่ 2 หรือการทดลองที่ 5 คือ เส้นไขความสัมพันธ์ที่ทำให้อัตราการสึก หรอของอิเล็กทรอนิกส์มี ค่าต่ำที่สุด

4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากการศึกษาปัจจัยทั้ง 2 คือ กระแสไฟฟ้า, เวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทำการทดสอบสมมติฐานอัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์ เทียบกับปัจจัยทั้ง 2 คือ ค่ากระแสไฟฟ้า เวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ ตั้งสมมติฐานดังนี้

4.7.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับอัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

1. อัตราการขจัดเนื้องาน

- H_0 : อัตราการขจัดเนื้องาน ของปัจจัยทั้ง 2 ไม่แตกต่างกัน หรือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ โดยที่}$$

μ_1 คือ อัตราการขจัดเนื้องาน ของค่าตัวแปรกระแสไฟฟ้า

μ_2 คือ อัตราการขจัดเนื้องาน ของค่าตัวแปรปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50%

- H_1 : อัตราการขจัดเนื้องาน ของปัจจัยอย่างน้อย 1 ปัจจัยมีค่าแตกต่างกัน

จากปัจจัยอื่น

จะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 หากค่านัยสำคัญจากการทดสอบของปัจจัยใด หรือความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่า 0.05 หรือก็คือปัจจัยนั้นๆ หรือความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นๆ มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

2. อัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

- H_0 : อัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์ของปัจจัยทั้ง 2 ไม่แตกต่างกัน หรือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ โดยที่}$$

μ_1 คือ อัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์ของค่าตัวแปรกระแสไฟฟ้า

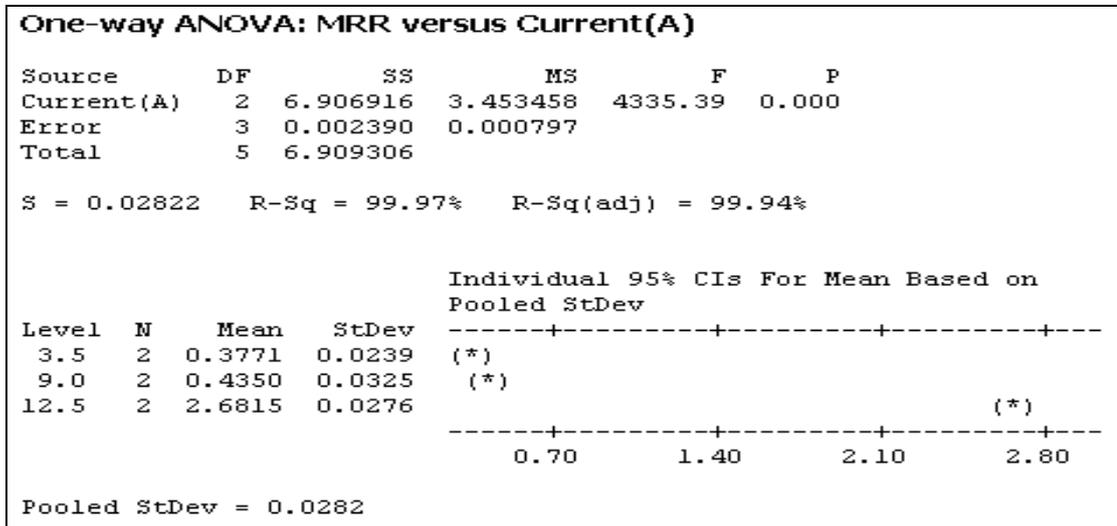
μ_2 คือ อัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์ของค่าตัวแปรปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50%

- H_1 : อัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์ของปัจจัยอย่างน้อย 1 ปัจจัยมีค่าแตกต่างกันจากปัจจัยอื่น

จะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 หากค่านัยสำคัญจากการทดสอบของปัจจัยใด หรือความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่า 0.05 หรือก็คือปัจจัยนั้นๆ หรือความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นๆ มีผลต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

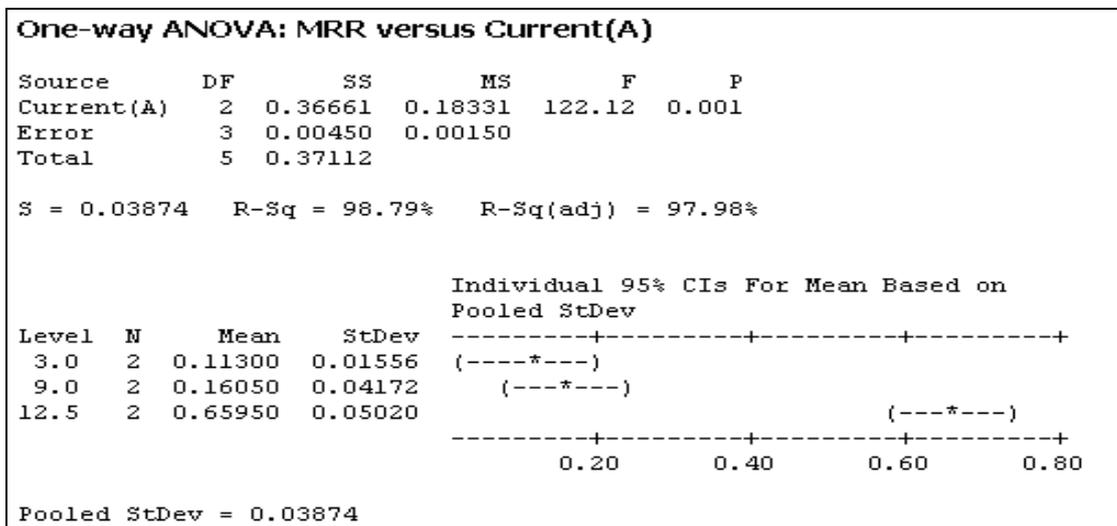
ตารางที่ 4.20

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับอัตราการขจัดเนื้องานเทียบกับกระแสไฟฟ้าของทองเหลือง



ตารางที่ 4.21

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับอัตราการขจัดเนื้องานเทียบกับกระแสไฟฟ้าของทองแดง



จากตารางแสดง การวิเคราะห์ อัตราการขจัดเนื้องานด้วย ANOVA ทั้งอิเล็กโตรดทองเหลืองและทองแดง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า จาก P-value ทั้งสองค่ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ากระแสไฟฟ้าส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.22

การวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราการขจัดเนื้องานเทียบกับปัจจัยประสิทธิภาพของทองเหลือง

One-way ANOVA: MRR versus Efficiency(μ s)					
Source	DF	SS	MS	F	P
Efficiency(μ s)	2	0.105215	0.052608	65.69	0.003
Error	3	0.002403	0.000801		
Total	5	0.107618			

S = 0.02830 R-Sq = 97.77% R-Sq(adj) = 96.28%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev	
3.5	2	0.27450	0.03748	-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)	
6.0	2	0.47750	0.02758	(-----*-----)	
25.0	2	0.15690	0.01541	-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)	

0.12 0.24 0.36 0.48

Pooled StDev = 0.02830

ตารางที่ 4.23

การวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราการขจัดเนื้องานเทียบกับปัจจัยประสิทธิภาพของทองแดง

One-way ANOVA: MRR versus Efficiency(μ s)					
Source	DF	SS	MS	F	P
Efficiency(μ s)	2	0.0292007	0.0146004	711.40	0.000
Error	3	0.0000616	0.0000205		
Total	5	0.0292623			

S = 0.004530 R-Sq = 99.79% R-Sq(adj) = 99.65%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev	
3.5	2	0.12775	0.00530	-----+-----+-----+-----+----- (-*-)	
6.0	2	0.18600	0.00566	(-----*-----)	
25.0	2	0.01775	0.00120	-----+-----+-----+-----+----- (-*-)	

0.050 0.100 0.150 0.200

จากตารางแสดง การวิเคราะห์ อัตราการขจัดเนื้องานด้วย ANOVA ทั้งอิเล็กทรอนิกส์ ทองเหลืองและทองแดง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า จาก P-value ทั้งสองค่ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50% ส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.24

การวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์เทียบกับกระแสไฟฟ้าของเหลืออง

One-way ANOVA: EWR versus Current(A)					
Source	DF	SS	MS	F	P
Current(A)	2	50953.45	25476.73	9545.66	0.000
Error	3	8.01	2.67		
Total	5	50961.46			

S = 1.634 R-Sq = 99.98% R-Sq(adj) = 99.97%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev	
3.5	2	346.80	1.98		(*
9.0	2	180.53	1.37	(*)	
12.5	2	131.45	1.48	(*)	

Pooled StDev = 1.63

ตารางที่ 4.25

การวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์เทียบกับกระแสไฟฟ้าของแดง

One-way ANOVA: EWR versus Current(A)					
Source	DF	SS	MS	F	P
Current(A)	2	622.380	311.190	612.54	0.000
Error	3	1.524	0.508		
Total	5	623.904			

S = 0.7128 R-Sq = 99.76% R-Sq(adj) = 99.59%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev	
3.0	2	99.080	0.651		(--*--)
9.0	2	79.825	0.969	(--*--)	
12.5	2	75.715	0.403	(--*--)	

Pooled StDev = 0.713

จากตารางแสดง การวิเคราะห์ อัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์ด้วย ANOVA ทั้งอิเล็กทรอนิกส์ของเหลือองและของแดง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า จาก P-value ทั้งสองค่ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ากระแสไฟฟ้าส่งผลต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.26

วิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์ที่เปรียบเทียบกับปัจจัยประสิทธิภาพของเครื่อง

One-way ANOVA: EWR versus Efficiency(μ s)						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Efficiency(μ s)	2	542949	271475	2496.14	0.000	
Error	3	326	109			
Total	5	543275				

S = 10.43 R-Sq = 99.94% R-Sq(adj) = 99.90%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
3.5	2	775.50	17.39	-----+-----+-----+-----+-----			
6.0	2	184.85	4.74	(*)			
25.0	2	98.65	1.12	(*)			
				200	400	600	800

Pooled StDev = 10.43

ตารางที่ 4.27

วิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์ที่เปรียบเทียบกับปัจจัยประสิทธิภาพของแดง

One-way ANOVA: EWR versus Efficiency(μ s)						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Efficiency(μ s)	2	2656.15	1328.08	710.94	0.000	
Error	3	5.60	1.87			
Total	5	2661.76				

S = 1.367 R-Sq = 99.79% R-Sq(adj) = 99.65%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
3.5	2	61.195	1.520	-----+-----+-----+-----+-----			
6.0	2	79.825	0.969	(-*-)			
25.0	2	28.895	1.534	(-*-)			
				30	45	60	75

Pooled StDev = 1.367

จากตารางแสดง การวิเคราะห์ อัตราการสึกของอิเล็กทรอนิกส์ที่ โดย ANOVA ทั้ง อิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องและแดง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า จาก P-value ทั้งสองค่ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยประสิทธิภาพที่ 50% ส่งผลต่ออัตราการสึกของอิเล็กทรอนิกส์อย่างมีนัยสำคัญ

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์