

การเปรียบเทียบอิเล็กโทรดด้วยกระบวนการกัดเซาะไฟฟ้ากับวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ Comparative investigation of electrodes using by Electrical discharge machining on tungsten carbide

รัตติกรณ์ เสาร์แดน^{1*}, ไพบุณย์ หาญมนต์^{2*}
Rattikorn Saodaen^{1*}, Phiboon Harnmont^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

¹Department of Mechanical and Industrial Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok Thailand 10120

*Corresponding Author: E-mail: Rattikorn.s@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวัสดุผงเพื่อผลิตอิเล็กโทรดต่างชนิดที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปโลหะผงและใช้กระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งวัสดุอิเล็กโทรด 3 ชนิด ประกอบด้วยวัสดุอิเล็กโทรดทองแดง วัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) และวัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมคาร์ไบด์ (Cu-TiCN) วัสดุอิเล็กโทรดทั้งหมดถูกนำไปผ่านกระบวนการอบเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1050 °C ผลการทดลองสปาร์คจากการปรับพารามิเตอร์โดยใช้กระแสไฟฟ้า พบว่าแต่ละกระแสไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน โดยการทดลองสปาร์คชิ้นงานวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์เริ่มต้นจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ 9, 15 และ 25 แอมป์ ซึ่งที่กระแสไฟฟ้าที่ 9 แอมป์ ให้ค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยดีที่สุด ซึ่งทำให้ได้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานมากที่สุดของวัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) อยู่ที่ 0.0047 g/min และส่งผลให้ค่าการสึกหรออิเล็กโทรดน้อยที่สุดอยู่ที่ 33.72% จากผลการทดลองของค่าความเรียบของผิวละเอียดสุดอยู่ที่ อยู่ที่ 9.76 µm

คำสำคัญ: อีดีเอ็ม ,อิเล็กโทรด, ทังสเตนคาร์ไบด์,วัสดุผง

ABSTRACT

The aim of work is to compare powder materials for producing different types of electrodes processed by powder metallurgy and electrophoretic erosion processes. The three types of electrode materials consist of Copper (Cu) electrode materials, copper-titanium nitride (Cu-TiN) electrode material, and copper-titanium carbonitride (Cu-TiCN) electrode material were all samples into a sintering process at 1050 °C. Experiment results by adjusting the current parameters found that only the electric current affects the work efficiency and surface quality of the samples. This experiment spark with tungsten carbide was started with a current of 9, 15 and 25 Amp. Using 9 Amp gave the lowest average surface roughness resulting in a maximum removal rate of 0.0047 g/min of copper-titanium nitride (Cu-TiN) electrode material, and highest

the electrode wear rate. The lowest surface roughness was 33.72%, as well as the results of the surface roughness experiment to obtain the lowest mean surface roughness of 9.76 μm .

Keyword: EDM, electrode, tungsten carbide, powder materials.

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตงานแม่พิมพ์ระดับสูง จำเป็นต้องอาศัยสมบัติของวัสดุแม่พิมพ์ที่มีความแข็งแรงสูง อีกทั้งมีความสามารถต้านทานการสึกหรอได้ดีในสภาวะการทำงานแบบซ้ำๆ ภายใต้อุณหภูมิสูง แต่อย่างไรก็ตามแบบของแม่พิมพ์ในแต่ละแบบ แต่ละประเภท เช่น แม่พิมพ์พลาสติกและแม่พิมพ์โลหะ จำเป็นต้องผ่านกระบวนการแปรรูปวัสดุขึ้นงานให้ได้ขนาดรูปร่างขึ้นงานตามแบบที่กำหนด ทั้งในการแปรรูปขึ้นส่วนแม่พิมพ์ที่มีสมบัติค่าความแข็งแรงสูง ไม่สามารถแปรรูปได้ด้วยกรรมวิธีทางกล ดังนั้นจึงต้องอาศัยกรรมวิธีพิเศษที่เรียกว่า EDM : Electrical discharge machine [1-2] ถูกนำมาใช้ช่วยในกระบวนการแปรรูปวัสดุขึ้นงานที่มีความแข็งแรงสูง สามารถแก้ไขหรือผลิตรูปทรงที่ยุ้งยากซับซ้อนต่อการขึ้นรูปด้วยกระบวนการแปรรูปโดยอาศัยหลักการทำงานของกระบวนการทางความร้อนที่เกิดจากการใช้ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าส่งผ่านวัสดุตัวนำที่เรียกว่า “Tool Electrode” ทำให้เกิดการหลอมละลายของเนื้อโลหะออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กภายใต้ของเหลวที่เรียกว่าสาร “Dielectric Fluid” ลักษณะการหลอมละลายของเนื้อโลหะจะเกิดขึ้นในบริเวณที่เล็กมากๆ ทำให้สามารถควบคุมลักษณะผิวขึ้นงานและรูปทรงของขึ้นงานที่ถูกขจัดออกมีลักษณะเหมือนกับรูปทรงอิเล็กโทรด (Electrode) [3-4] ซึ่งผลการแปรรูปด้วยกรรมวิธีดังกล่าวสามารถประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการ Electrical discharge machining ได้โดยรูปแบบของการประเมินจากอัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด และความหยาบผิวงานของขึ้นงานที่ได้ ทั้งนี้ผลลัพธ์ของประสิทธิภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับการปรับค่าพารามิเตอร์การแปรรูปที่เหมาะสมและสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง คือ คุณภาพของวัสดุอิเล็กโทรดมีความสำคัญมากเพราะจัดเป็น

เครื่องมือตัดพิเศษที่จะช่วยการแปรรูปให้เกิดประสิทธิภาพ โดยทั่วไปวัสดุอิเล็กโทรดจะต้องนำไฟฟ้า โดยการยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ดี ส่วนมากจะผลิตจากวัสดุทองแดงหรือกราไฟต์ อย่างไรก็ตามในการแปรรูปวัสดุผสมทั้งสแตนคาร์ไบด์ส่วนใหญ่มีความแข็งแรงและมีจุดหลอมละลายสูง นิยมนำมาผลิตแม่พิมพ์ขึ้นรูปร้อน ซึ่งด้วยสมบัติพิเศษส่งผลทำให้ขึ้นรูปได้ยาก จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า นักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาวิจัยเปรียบเทียบการเลือกใช้วัสดุอิเล็กโทรดเพื่อหาประสิทธิภาพการแปรรูป/ขึ้นรูป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยวัสดุอิเล็กโทรดที่มีสมบัติใกล้เคียงกันและสามารถนำไฟฟ้าได้ดีอีกด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแปรรูปของวัสดุดังกล่าว ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญถึงปัจจัยการศึกษาประสิทธิภาพอิเล็กโทรดต่างชนิดเพื่อนำมาเปรียบเทียบให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีต่อกระบวนการแปรรูปเพื่อนำไปผลิตแม่พิมพ์ที่ดีและมีคุณภาพ โดยในการศึกษาวิจัยบทความฉบับนี้ได้พิจารณาวัสดุอิเล็กโทรด 3 ชนิด เช่น วัสดุอิเล็กโทรดทองแดง (Cu) วัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) และวัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมคาร์ไบด์ไนไตรด์ (Cu-TiCN) ที่ผ่านกระบวนการอัดผงทางโลหะวิทยาและเผาอบจนเกิดมาดำเนินการใช้ในทดลองครั้งนี้เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุอิเล็กโทรดที่เหมาะสมต่อไป

2. วัสดุขึ้นงานและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุขึ้นงาน

วัสดุขึ้นงานทดลองเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์เกรด WC-Co (90/10) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร โดยวัสดุขึ้นงานดังกล่าวนิยมใช้ผลิตแม่พิมพ์งานร้อน ดังแสดงสมบัติตารางที่ 1 ทั้งนี้วัสดุขึ้นงานทดลองจะถูกจัดเตรียมด้วยเครื่อง

ตัดด้วยลวดไฟฟ้า (WEDM : wire electrical discharge machining) ยี่ห้อ Aristech Model 3D CNC430 ของประเทศไต้หวัน และวัสดุอิเล็กโทรดที่นำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการแปรรูปคือ วัสดุอิเล็กโทรดทองแดงอัดผง (Cu (100%) วัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมอัดผง (Cu –TiN) ที่อัดผงขึ้นรูปที่สัดส่วนผสม (Cu 80%, Ni 3%, TiN 17%) และวัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ (Cu –TiCN) ที่อัดผงขึ้นรูปที่สัดส่วนผสม (Cu 90%, Ni 3%, TiN 7%) ให้มีขนาดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ขนาด 20x20x50 มิลลิเมตร และผ่านกระบวนการกรรมวิธีการอัดผงโลหะวิทยาภายใต้แรงอัดขึ้นรูปแบบกรีนค

อมแพค (Green compact) ที่แรงกดอัด 200 MPa และทำการอบเผาผนึก (Sintering process) ด้วยอุณหภูมิ 1,050°C และปล่อยให้เย็นตัวภายในเตาตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการ sintering นำมาผ่านกระบวนการ Machining เพื่อกลึงชิ้นงานให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ความยาว 48 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องกลึง CNC Lathe ยี่ห้อ EMCO model PC TURN50 จากประเทศ Austria โดยใช้อากาศเป็นสารหล่อลื่น เพื่อให้ได้ขนาดวัสดุอิเล็กโทรดเป็นไปตามแบบเงื่อนไขการทดลองที่กำหนดดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วัสดุชิ้นงานและวัสดุอิเล็กโทรด

2.2 การดำเนินการทดลอง

สำหรับตัวแปรพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าด้วยวัสดุอิเล็กโทรดต่างชนิดกันจะประกอบไปด้วย ค่าพารามิเตอร์ของเวลาเปิด (On time) เวลาปิด (Off time) กระแสไฟฟ้า (Current) และขั้วอิเล็กโทรด (Polarity) โดยสามารถประเมินจากการแปรรูปการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าได้ประกอบด้วยอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR: Material Removal Rate) อัตราการสึกหรออิเล็กโทรด (EWR: Electrode Wear Ratio) และลักษณะผิวชิ้นงาน (Quality Surface) ในรูปแบบของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra: Roughness Average) ตามลำดับ แต่สำหรับการทดลองการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าบนวัสดุชิ้นงานเป็นหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ในแต่ละ

เงื่อนไขการทดลอง ภายใต้สารฟลูอิดไดอิเล็กตริก (Dielectric fluid Shell Fluid 2 A) เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรในขณะที่ทำการตัดเฉือนของชิ้นงาน ทำโดยใช้อัตราการของกระแสไหลวนภายในอ่างที่แรงดัน 1 kg/cm² และอัตราการไหล (flow rate) 15 l/min โดยในการทดลองนี้จะกำหนดพารามิเตอร์ของการทดลองค่าระดับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ใน 3 ระดับ คือ กระแสไฟฟ้าที่ 9, 15 and 25 Amp และการกำหนดปัจจัยประสิทธิภาพ Duty factor 50 % (On-Time 12 μ s Off-time 12 μ s) เป็นค่าคงที่ ซึ่งการทดลองปรับค่ากระแสไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเรียบผิวเฉลี่ยในแต่ละระดับกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ จากการนำผลที่ได้จากการทดลองพารามิเตอร์การปรับค่ากระแสไฟฟ้าขั้นต้นที่

เหมาะสมของการทดลองจะถูกนำไปใช้การทดสอบ
ขั้นตอนต่อไป ซึ่งรายละเอียดการทดลองขั้นต้นใน
ระดับที่เหมาะสม คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 9 Amp โดย
นำไปศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดลองของ
วัสดุอิเล็กโทรดทองแดงที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิด
กันไป ดังแสดงรายละเอียดเงื่อนไขการทดลองใน
ตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สมบัติกายภาพของวัสดุชิ้นงานทั้งสแตน
คาร์ไบด์ (WC90-10)

Properties	Tungsten carbide (WC90-10)
Melting point(°C)	2,800
Density (g.cm ⁻³)	15.7
Hardness (HRA)	874
Thermal expansion (°C)	5x10 ⁻⁶
Elastic modulus (GPa)	648

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดลอง

Parameters	Description
Polarity electrode (+, -)	Negative
Voltage(V)	250
Current(A)	9, 15, 25
Gap(mm)	10
Dielectric fluid	Oil (Shell Fluid 2 A)
Work piece	WC90-10
Flushing pressure	1 kg/cm ² , Flow rate 15 L/min

ภายหลังการทดลองผลการแปรรูปการกัดเซาะด้วย
ไฟฟ้า (EDM) เพื่อหาอัตราการการขจัดเนื้องาน
(Material Removal Rate) ซึ่งได้จากการประเมินผล
จากปริมาตรที่สึกหรอต่อหน่วยเวลาที่ใช้ในการแปรรูป
จะทำการเก็บค่าของข้อมูลได้จากขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลางอิเล็กโทรดและค่าความยาวอิเล็กโทรด
(Diameter and length electrode) และค่าความ
ลึกที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานด้วยเครื่องมือวัด
ไมโครมิเตอร์ที่ระดับค่าความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร
(ค่าความลึกที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเท่ากับความหนา
ของชิ้นงานก่อนสปาร์กไปด้วยความหนาชิ้นงาน
ภายหลังการสปาร์ก) พร้อมทั้งบันทึกเวลาในการตัด
เฉือน (Machining time) จากหน้าจอแสดงผลของ
เครื่องดังแสดงในภาพที่ 2

- ในการประเมินค่าของอัตราการสึกหรออิเล็กโทรด
(Electrode wear ratio) เป็นการวัดค่าการสึกหรอ
ของอิเล็กโทรดต่อความลึกของเนื้อชิ้นงานที่ถูกขจัด
ออกในกระบวนการแปรรูปกัดเซาะด้วยไฟฟ้าของแต่ละ
ชนิดวัสดุอิเล็กโทรด และการประเมินลักษณะ
คุณภาพผิวชิ้นงาน (Quality surface) ในรูปของค่า
ความเรียบของผิวเฉลี่ย (Ra: Roughness average)
ภายหลังการสปาร์คแล้วจะนำชิ้นงานมาวัดค่าความ
เรียบผิวเฉลี่ยของงาน โดยทำให้ชิ้นงานสะอาดด้วย
สารอะซิโตนแล้วจึงทำการวัดค่าความเรียบของผิว
เฉลี่ย โดยทำการวัดจำนวน 3 ครั้ง ด้วยเครื่องวัด
ความหยาบผิวแบบเลเซอร์ 3D ยี่ห้อ Olympus รุ่น
OLS5000 จากประเทศญี่ปุ่น ที่กำลังขยายที่ 5 เท่า
ในการวัดด้วยลำแสงเลเซอร์สแกนที่ช่วงความยาว
2500 μm จากสมการที่ 1

$$MRR = \frac{\pi (\text{รัศมีลวด})^2 \times \text{ค่าความลึกชิ้นงาน (mm}^3/\text{min)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน (min)}} \quad (1)$$



ภาพที่ 2 การทดลองด้วยเครื่อง Aristech Model 3D-CNC

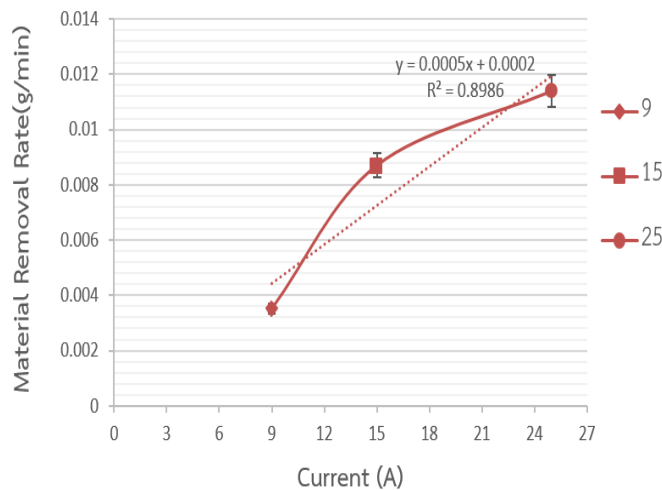
3. ผลการวิจัย

ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอิเล็กโทรดต่างชนิดซึ่งจะประกอบด้วยวัสดุอิเล็กโทรดทองแดง (Cu) ทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) และทองแดงไทเทเนียมคาร์ไบด์ไนไตรด์ (Cu-TiCN) ที่ผ่านกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีโลหะผง สำหรับกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า โดยมีค่าพารามิเตอร์ของการปรับค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อศึกษาผลกระทบต่อ การแปรรูปวัสดุทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ (Wc) จากผลกระทบของกระแสที่ใช้จะเป็นต้นกำเนิดของพลังงานความร้อนส่งผลกระทบท่อประสิทธิภาพการแปรรูปและคุณภาพผิวงานชิ้นงานโดยตรง ซึ่งแสดงผลอยู่ในรูปของอัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ตลอดจนค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยได้ดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยการปรับกระแสไฟฟ้า

1) อัตราการขจัดเนื้องาน (Material removal rate) ผลจากการทดลองปรับค่าระดับกระแสไฟฟ้าสำหรับ

การทดลองจากการพิจารณาเลือกใช้วัสดุอิเล็กโทรดทองแดง ผลทดลองเพื่อหาค่ากระแสที่เหมาะสมโดยปรับระดับกระแสที่ระดับ 9, 15 และ 25 Amp แรงดันไฟฟ้า 250 โวลต์ ปัจจัยประสิทธิภาพ 50 เปอร์เซนต์ เวลาเปิด 12 μ s, เวลาปิด 12 μ s โดยผลการทดลองปรับค่ากระแสไฟฟ้า พบว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความร้อนที่เกิดเพิ่มสูงขึ้นและเกิดกลไกการระเหิดอนุภาคผิวชิ้นงานให้หลุดออกมาอยู่ในรูปของเศษ debris เป็นเหตุผลทำให้เกิดการขจัดเนื้องานเกิดเป็นหลุมลึกที่มีความกว้างเพิ่มมากขึ้นตามขนาดของอิเล็กโทรด [5-7] โดยการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าต่ออัตราการขจัดเนื้องานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแปรผันตรงกับค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงผลการทดลองดังในภาพที่ 3

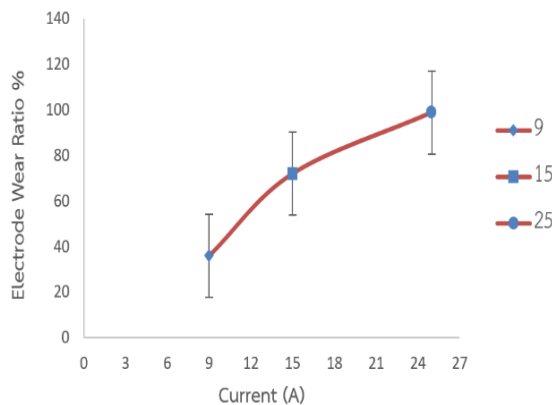


ภาพที่ 3 การทดลองเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่มีผลต่ออัตราการกัดเนื้องานของอิเล็กโทรดทองแดง

2) ผลอัตราการสึกหรอแท่งอิเล็กโทรด

ผลการทดลองปรับระดับกระแสไฟฟ้าพบว่า อัตราการสึกหรออิเล็กโทรด (Electrode wear ratio) จะมีเพิ่มขึ้นตามค่ากระแสไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากอัตรากระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นส่งผลทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนที่ก่อกวนทั้งชิ้นงานและวัสดุอิเล็กโทรดเป็นเหตุให้อิเล็กโทรดเกิดการสึกหรอที่รุนแรงตามค่ากระแสไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอ

อิเล็กโทรดสูงมากขึ้นตามลำดับโดยส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสูงสุด คือ 97.83 เปอร์เซ็นต์ของกระแสไฟฟ้า 25 Amp และกระแสไฟฟ้าที่ 15 Amp ให้อัตราการสึกหรอ 72.03 เปอร์เซ็นต์ โดยวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดง ให้ค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลดีที่สุดคือ กระแส 9 Amp ซึ่งให้ผลที่เหมาะสมที่อัตราการสึกหรอที่เหมาะสมที่ระดับการสึกหรอค่าต่ำสุดที่ 35.72 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4

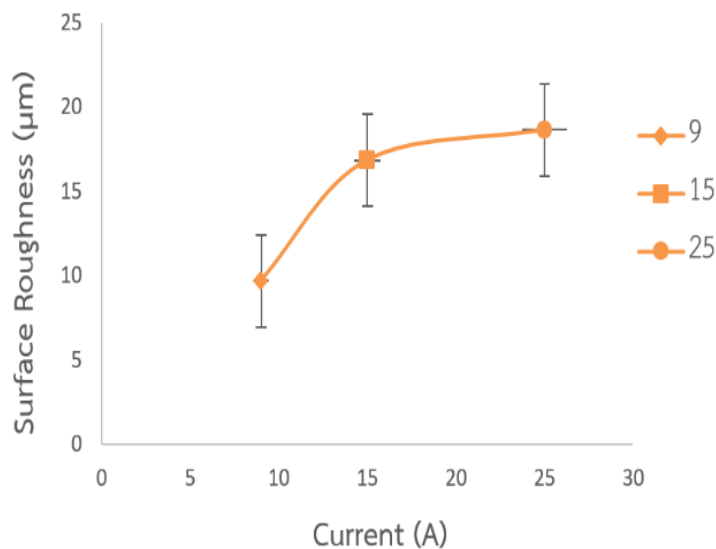


ภาพที่ 4 ผลการปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าต่ออัตราการสึกหรออิเล็กโทรดทองแดง

3) ผลค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยขึ้นงาน

ผลการทดลองปรับค่ากระแสไฟฟ้า พบว่าค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อกระแสที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปริมาณกระแสที่เพิ่มขึ้นนั้นหมายถึงค่าพลังงานที่เป็นต้นกำเนิดของความร้อนมีมากขึ้นส่งผลทำให้การขจัดเนื้องานเกิดเป็นหลุมที่มีความลึกมากขึ้นตามลำดับ โดยที่อิเล็กโทรดทองแดงให้ค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยต่ำสุดที่ $9.68 \mu\text{m}$ ที่ระดับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 9 Amp ต่อมาค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยรองลงมาที่ระดับค่ากระแส 15 Amp และค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยสูงสุดที่ $18.64 \mu\text{m}$ ของระดับกระแสไฟฟ้าที่ 25 Amp

ตามลำดับ โดยค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเกิดจากการสภาวะการสะสมความร้อนที่สูงขึ้นตามค่าระดับความรุนแรงของกระแสไฟฟ้าที่กระทำการสปาร์กที่สูงขึ้นตาม [8-10] โดยค่ากระแสเป็นต้นกำเนิดของความร้อนในการสปาร์ก ส่งผลให้เกิดร่องรอยของการสปาร์กที่มีความรุนแรงจนเป็นเหตุให้เกิดค่าสูงต่ำของพื้นผิวชิ้นงานไม่สม่ำเสมอที่เรียกว่าความหยาบผิวเฉลี่ยซึ่งจะให้ค่าสูงขึ้นตามลำดับของกระแสที่เพิ่มมากขึ้นดังแสดงผลการทดลองดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลลักษณะคุณภาพผิวชิ้นงานในการปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า

3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพวัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) และอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ (Cu-TiCN)

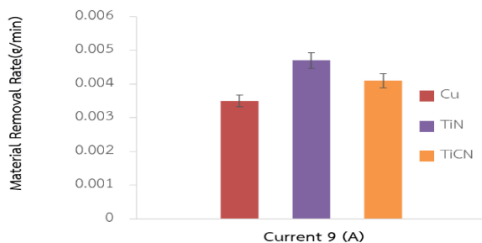
วัสดุอิเล็กโทรดไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) และอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ (Cu-TiCN) จะส่งผลกระทบที่เกิดจากการแปรรูปด้วยการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าโดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาประกอบด้วยปัจจัยประสิทธิภาพ Duty factor) 50 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยเวลาเปิด (On time) $12 \mu\text{s}$, เวลาปิด (Off time) $12 \mu\text{s}$ และค่า

ระดับกระแสไฟฟ้าที่ 9 Amp แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) 250 โวลต์ ประสิทธิภาพการแปรรูปสามารถประเมินผลอยู่ในรูปของอัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยผิวงาน ตลอดจนการวิเคราะห์ลักษณะรอยแตกร้าวขนาดเล็กบนผิวงาน ซึ่งไม่สามารถมองได้ด้วยตาเปล่าจึงต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดช่วยวิเคราะห์ทางกายภาพชิ้นงานภายหลังการแปรรูปด้วยกรรมวิธีกัดเซาะด้วย

ไฟฟ้า มาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิเล็กโทรด ดังนี้

1) การเปรียบเทียบผลอัตราการกัดเนื้องาน

ในการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านอัตราการกัดเนื้องานของวัสดุอิเล็กโทรดต่างชนิด จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการกัดเนื้องานสูงสุดที่วัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดงผสมไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) ให้ผลอัตราการกัดเนื้องานสูงสุดที่ 0.0047 (g/min) รองลงมาเป็นวัสดุอิเล็กโทรด (Cu-TiCN) ให้ผลอัตราการกัดเนื้องาน 0.0041 (g/min) และวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดง (Cu) ให้ผลอัตราการกัดเนื้องานต่ำสุดที่ 0.0035 (g/min) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นมาจากการกัดเนื้องานที่ให้การกัดเนื้องานที่สูงกว่าเป็นผลมาจากส่วนผสมไทเทเนียมกับทองแดงที่เหมาะสมกว่าส่งผลให้เกิดการสปาร์กกัดเนื้องานได้ดีกว่าดังแสดงในภาพที่ 6

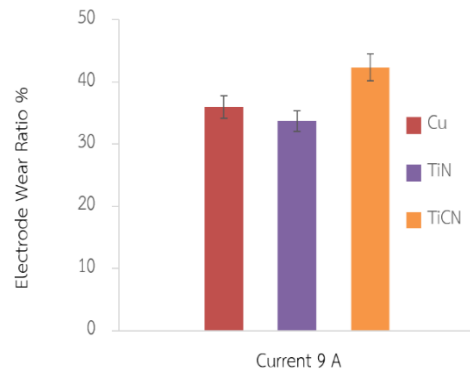


ภาพที่ 6 ผลการเปรียบเทียบการกัดชิ้นงานในการใช้วัสดุอิเล็กโทรดต่างชนิด

2) การเปรียบเทียบผลอัตราการสึกหรออิเล็กโทรด

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการทำงานของวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) และ วัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดงไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ (Cu-TiCN) เป็นการทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดกับวัสดุอิเล็กโทรดทองแดง (Cu) พบว่าให้ผลค่าการสึกหรออิเล็กโทรด 35.97 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ ให้ผลค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำสุด โดยมีค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดอยู่ที่ 33.72 เปอร์เซ็นต์ และวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดง

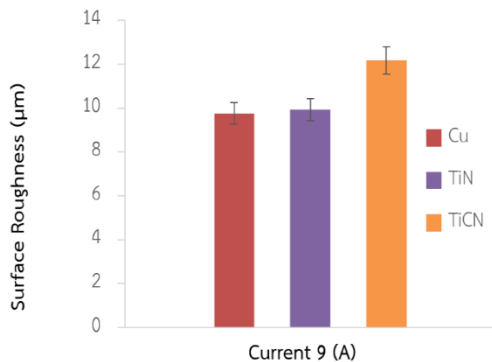
ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ (Cu-TiCN) ให้ผลอัตราการสึกหรออิเล็กโทรดสูงสุดที่อยู่ระดับ 42.35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการเปรียบเทียบผลการสึกหรอต่างชนิด

3) การเปรียบเทียบผลค่าความเรียบของผิว

ผลการทดลองเปรียบเทียบผลด้านค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยจากการใช้วัสดุอิเล็กโทรดทองแดง (Cu) อิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) และ อิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ (Cu-TiCN) ผลจากการทดลองพบว่ามีค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยของอิเล็กโทรดแต่ละชนิดให้ผลไม่แตกต่างกันมาก โดยผลวัสดุอิเล็กโทรดทองแดง (Cu) 9.76 μm ให้ค่าความเรียบของผิวดีที่สุดซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุด คือ 9.76 μm ส่วนวัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) มีค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 9.93 μm รองลงมา และนอกจากนี้วัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์ (Cu-TiCN) ให้ผลค่ามีความหยาบผิวเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 12.18 μm ทั้งนี้โดยสรุปโดยรวมแล้ววัสดุอิเล็กโทรดทั้ง 3 ชนิดให้ผลค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยแตกต่างกันน้อยมากดังแสดงผลในภาพที่ 8 ตามลำดับ



ภาพที่ 8 ผลความหยาบผิวในการใช้วัสดุอิเล็กโทรดทองแดงต่างชนิด Cu, Cu-TiN และ TiCN

4. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพด้วยการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าด้วยวัสดุอิเล็กโทรดต่างชนิด คือ อิเล็กโทรดทองแดง (Cu) อิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) และ อิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมคาร์ไบด์ไนไตรด์ (Cu-TiCN) การผลทดลองจากพารามิเตอร์การทดลอง การสปาร์กที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปรรูปด้าน อัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) รวมทั้งผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผิวเฉลี่ย (Ra) สามารถสรุปของการวิจัยได้ดังนี้

4.1 การทดลองปรับพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าพบว่าเมื่อค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด โดยจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ส่วนค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยมีค่าแปรผกผันสำหรับความหยาบผิวเฉลี่ยเรียบสุดที่ระดับค่ากระแสต่ำสุด คือ 9 Amp และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่ากระแสที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมความเสถียรของการทดลอง คือ ปัจจัยกระแสไฟฟ้าที่ 9 Amp

4.2 จากการทดลองประเมินผลค่าอัตราการขจัดเนื้องานของอิเล็กโทรดทั้ง 3 ชนิดพบว่าวัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) จะ

ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุดอยู่ที่ 0.0047 g/min รองลงมาเป็นวัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมคาร์ไบด์ไนไตรด์ (Cu-TiCN) และวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดง ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานต่ำสุดที่ 0.0035 g/min ตามลำดับ

4.3 ผลจากการทดลองค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่าอัตราการสึกหรอที่ค่อนข้างแตกต่างกัน โดยวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) ให้ค่าอัตราการสึกหรอที่ต่ำสุดอยู่ที่ 33.72% ถัดลงมาเป็นวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดง (Cu) ส่วนวัสดุอิเล็กโทรดทองแดงไทเทเนียมคาร์ไบด์ไนไตรด์ (Cu-TiCN) ให้ค่าอัตราการสึกหรอสูงสุดที่ 227.36% ตามลำดับ

4.4 การเปรียบเทียบค่าความเรียบของผิวเฉลี่ยต่ำสุดของอิเล็กโทรดแต่ละชนิดพบว่าวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดงไทเทเนียมไนไตรด์ (Cu-TiN) ให้ค่าความเรียบผิวเฉลี่ยที่ต่ำสุดอยู่ที่ 9.76 μm ถัดลงมาเป็นวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดง (Cu) ส่วนวัสดุอิเล็กโทรดชนิดทองแดงไทเทเนียมคาร์ไบด์ไนไตรด์ (Cu-TiCN) ให้ค่าความเรียบของผิวสูงที่สุด คือ 12.18 μm

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ นอกจากนี้ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรมที่อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อใช้ในการวิจัยนี้จนสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Manjaiah M, Narendranath S, and Basavarajappa S. Wire electro discharge machining performance of TiNiCu shape memory alloy. Silicon Journal. 2016;467-475.
- [2] Kao JY, Tsao CC, Wang SS, and Hsui CY. Optimization of the EDM

- parameters on machining Ti-6Al-4V with multiple quality characteristics. Inter. J. Adv. Manufact. Technol. 2010;47: 395-412.
- [3] Amorim FL, and Weingaertner WL. The influence of generator actuation mode and process parameters on the performance of finish EDM of tool steel, Journal of Material Processing Technology. 2005;66:411-416.
- [4] Muthuramalingam T, and Mohan B. A review on influence of electrical process parameters in EDM process, Achieves of civil and mechanical engineering. 2015;15: 87-94.
- [5] Chitaranjan DasV. Response surface methodology and desirability approach to optimize EDM parameters. Inter. J hybrid informat. Technol. 2016;8(4): 393-406.
- [6] Shabgad MR, Seyedzavva M, and Nadimi Babil OS. Influence of input parameters on characteristics of EDM process. Journal of mechanical engineering. 2018;12:1-8.
- [7] Kaldeep O, Garg RK, and Singh KK. MRR implement in sinking electrical discharge machining: A review, Journal of mineral and material characterization and engineering. 2010;9(8):709-739.
- [8] Janmanee P, and Muttamara A. Performance of different electrode electrical discharge machining of tungsten carbide, Energy research journal. 2010;1(2):87-90.
- [9] Janmanee P, Jamkamom K, Kanchanasaengtong T, and Muttamara A. A study of surface hardness affecting in electrical discharge machining on AISI P20 plastic mold steel, Advanced Material Research. 2012;557- 559: 1791-1796.
- [10] Murray J, Zdebski D, and Clare AT. Workpiece debris deposition on tool electrodes and secondary discharge phenomena in micro-EDM. Journal of Material Processing Technology. 2012;212:1537-1547.