

การศึกษาอิเล็กโทรดไทเทเนียมอัลลอยด์ในการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าบนวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์

A study of titanium alloy Ti-6Al-4V electrode during

Electrical discharge machining on tungsten carbide material

พิชัย จันทรมณี ดลธรรม เอฬกานนท์ สมชาย วนไทยสงค์ และ ไพบุลย์ หาญมนต์

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 นางลั่นจี หุ่นหาเมฆ สาทรร กรุงเทพมหานคร 10120

โทร. 02-2879600 E-mail: pichai.j@rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอิเล็กโทรดไทเทเนียมอัลลอยด์ (Ti-6Al-4V) ด้วยกรรมวิธีการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าบนวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ โดยการทดสอบค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไขหลักที่สำคัญ ได้แก่ กระแสไฟฟ้า 7 ระดับ คือ 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35A ความต่างศักย์วงจรเปิดเท่ากับ 150V ปัจจัยประสิทธิภาพ 76% และปรับค่าเวลาเปิด-ปิด (ชั่วบวก/ชั่วลบ) ผลการทดลองพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองในระดับที่แตกต่างกัน ส่งผลกระทบต่อการสปาร์ควัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ คือ กระแสไฟฟ้า 30A ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงสุดเท่ากับ $3.900 \text{ mm}^2/\text{min}$ และเกิดอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดค่อนข้างสูง ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ 5A ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานต่ำสุดเท่ากับ $0.693 \text{ mm}^2/\text{min}$ และเกิดอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดค่อนข้างต่ำ จากการตรวจสอบพื้นผิวของวัสดุทดสอบและอิเล็กโทรดหลังทำการสปาร์ค พบว่าพื้นผิวชิ้นงานและผิวอิเล็กโทรดที่มีความหยาบผิวต่ำสุดในกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพของอิเล็กโทรดไทเทเนียมอัลลอยด์ มีลักษณะผิวงานค่อนข้างเรียบ ไม่เกิดรอยร้าวและรูพรุนบนผิวงาน

คำสำคัญ : ไทเทเนียมอัลลอยด์ ทังสเตนคาร์ไบด์ อัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

ABSTRACT

This research aimed to study the effectiveness of using titanium alloy Ti-6Al-4V electrodes for electrical discharge machining of tungsten carbide by testing variable currents (at 7 levels, such as 5, 10, 15, 20, 25, 30, and 35A, a voltage of 150V, and a duty factor of 76%) and on-time and off-time adjustments (positive polarity and negative polarity). The results showed that at 30A, the maximum material removal rate was $3.900 \text{ mm}^2/\text{min}$ with a rather high electrode wear ratio. At 5A, the minimum material removal rate was $0.693 \text{ mm}^2/\text{min}$ and

had a rather low electrode wear ratio; moreover, inspection of the workpiece surface and the electrode after spark found that they had the lowest surface roughness, pore and micro-crack rate at this low power.

Keywords: Titanium alloy, Tungsten carbide, Material removal rate, Electrode wear ratio

1. บทนำ

วัสดุผสมทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide : WC-Co) มีความสำคัญมากสำหรับการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ เนื่องจากวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์มีคุณสมบัติความแข็ง ความแข็งแรง และมีความสามารถต้านทานการสึกหรอสูง ทั้งนี้วัสดุทังสเตนคาร์ไบด์มีจุดหลอมละลายสูงถึง 2,800°C ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวส่งผลให้เกิดความยากเกินกว่าที่จะทำการแปรรูปด้วยกระบวนการทางกลได้ [1] ดังนั้นการนำกระบวนการแปรรูปทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้าหรือ อีดีเอ็ม (Electrical Discharge Machine : EDM) มาใช้จึงเป็นวิธีที่ใช้นิยมมากที่สุด [2] ซึ่งเป็นโอกาสและทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถแปรรูปวัสดุชิ้นงานที่มีความแข็งมากอย่างวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้วัสดุทังสเตนคาร์ไบด์เป็นวัสดุที่ทำการแปรรูปด้วยการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าเป็นผลทำให้เกิดปัญหารอยแตกร้าวขนาดเล็กบริเวณพื้นผิวที่ทำการสปาร์ค เนื่องมาจากทังสเตนคาร์ไบด์นั้นผลิตขึ้นมาจากกรรมวิธีโลหะผงวิทยาโดยการนำทังสเตนและคาร์บอนมาอัดขึ้นรูปโดยใช้โคบอลต์ (Co) เป็นตัวประสาน (Binder) ดังนั้น ในขณะที่ทำการแปรรูปชิ้นงานโคบอลต์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า (1,495°C) จะหลอมละลายออกไปก่อน เป็นผลให้เกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กที่พื้นผิวชิ้นงานทังสเตนคาร์ไบด์เมื่อมีการนำชิ้นงานที่มีรอยแตกดังที่กล่าวมาไปใช้เป็น

ชุดแม่พิมพ์หรือนำไปประยุกต์ใช้กับงานลักษณะอื่นๆ อาจส่งผลจะทำให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ชุดนั้นสั้นลง ปัญหารอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรดหรือเงื่อนไขความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรขณะทำการแปรรูป [3]

ดังนั้น คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการนำวัสดุอิเล็กโทรดมาประยุกต์ใช้เพื่อก่อให้เกิดความเหมาะสมในการแปรรูปวัสดุผสมทังสเตนคาร์ไบด์ (WC-Co) โดยการประยุกต์ใช้วัสดุอิเล็กโทรดไทเทเนียมอัลลอยด์ (Ti-6Al-4V) สำหรับเป็นวัสดุอิเล็กโทรดแปรรูปทังสเตนคาร์ไบด์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุอิเล็กโทรดไทเทเนียมผสมในกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า เพื่อลดรอยแตกร้าวขนาดเล็กบนพื้นผิวงาน โดยพิจารณาความเหมาะสมจากตัวแปรที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผล อัตราการกัดเซาะ อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ความหยาบผิวชิ้นงาน และรอยแตกร้าวบนพื้นผิวชิ้นงาน ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นได้และเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้กับภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

2. อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

1. วัสดุชิ้นงานทดสอบเป็นวัสดุผสมทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide : WC-Co) เกรด 90WC-10Co ซึ่งมีส่วนผสมหลัก ได้แก่ WC90%, Co10% และธาตุอื่นๆ ดังแสดงตัวอย่างชิ้นงานทดสอบภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

2. วัสดุอิเล็กโทรดที่ใช้ คือ ไทเทเนียมอัลลอยด์ (Ti-6Al-4V) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. ความยาว 55 มม. (ภาพที่ 2) กัดชิ้นงานลึก 0.5 มม. ภายใต้สารไดอิเล็กทริก Shell EDM Fluid 2A



ภาพที่ 2 แท่งวัสดุอิเล็กโทรดไทเทเนียมอัลลอยด์

3. เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง เป็นเครื่องจักรแบบควบคุมด้วยตัวเลข (Computer Numerical Control) รุ่น ARISTECH EDM CNC 430 สามารถปรับค่ากระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0.5 ถึง 63A ปรับค่าความต่างศักย์วงจรเปิดได้ 150V และปรับค่าเวลาเปิด-ปิด ได้ตั้งแต่ 2 ถึง 510 μ s ดังแสดงภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า
(Electrical Discharge Machining)

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ตัวแปรการทดลอง

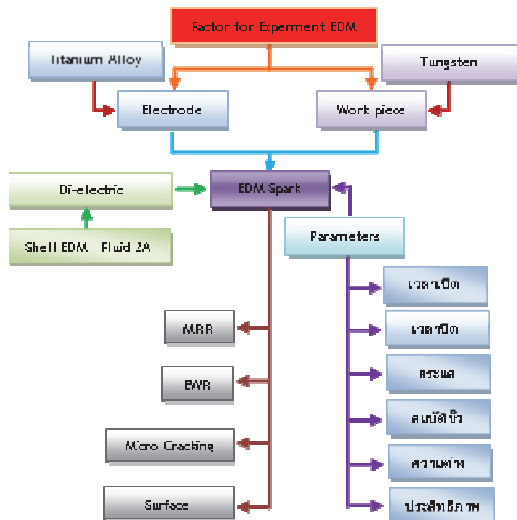
การทดลองหาค่าปัจจัยประสิทธิภาพที่ส่งผลกระทบต่อการใช้สเป็คทั้งสแตนด์บายด์ เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยกำหนดรายละเอียดการทดลองตามเงื่อนไขที่ได้จากการออกแบบการทดลอง ได้แก่ ศึกษาค่ากระแสไฟฟ้า 7 ระดับ คือ 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35A ความต่างศักย์วงจรเปิด 150V ปัจจัยประสิทธิภาพที่ 76% กำหนดค่าเวลาเปิด-ปิดที่ 32 μ s และปรับค่าเวลาเปิด-ปิด ให้เหมาะสมกับกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ไฟฟ้าแสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองดังแสดงตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ โดยปรับค่าเวลาเปิด (On-time) ขั้วบวก/ขั้วลบ ดังแสดงเงื่อนไขและขั้นตอนการทดลองดังแผนภาพที่ 4

ตารางที่ 1 ค่าเวลาเปิด (On-time) ขั้วบวก/ขั้วลบ

ปัจจัย ประสิทธิภาพ (%)	เวลาเปิด (μs)	เวลาปิด (μs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)
6	2	32	9	150
24	10	32	9	150
50	32	32	9	150
76	100	32	9	150
94	510	32	9	150

ตารางที่ 2 ค่าเวลาปิด (Off-time) ขั้วบวก/ขั้วลบ

ปัจจัย ประสิทธิภาพ (%)	เวลาเปิด (μs)	เวลาปิด (μs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)
94	32	2	9	150
76	32	10	9	150
50	32	32	9	150
24	32	100	9	150
6	32	510	9	150



ภาพที่ 4 เงื่อนไขและขั้นตอนการทดลอง

3.2 การวิเคราะห์และประเมินผล

การวิเคราะห์และประเมินผลการทดลองสามารถเปรียบเทียบในแต่ละปัจจัยและเงื่อนไขที่กำหนด จากการศึกษาหาอัตราการกัดเนื้องาน (Material Removal Rate: MRR), อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Electrode Wear Ratio: EWR), ความหยาบผิวเฉลี่ย (Surface Roughness: Ra) และรอยแตกร้าวขนาดเล็กที่ปรากฏในพื้นที่ผิวงาน [4] ดังแสดงในสมการที่ 1-3 ตามลำดับ

1) อัตราการกัดเนื้องาน (MRR)

$$MRR = \frac{\text{ปริมาณเนื้องานที่ถูกกัดออกไป}}{\text{เวลาที่ใช้}} \quad (1)$$

2) อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR)

$$MRR = \frac{\text{ระดับความลึกของชิ้นงานที่แท้จริง}}{\text{ระยะที่อิเล็กโทรดสึกหรอออกไป}} \times 100 \quad (2)$$

3) ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra)

$$Ra = \frac{(A_1+A_2+...A_n) + (B_1+B_2+...B_n)}{\text{ความยาวที่ตรวจสอบ}} \quad (3)$$

การวัดคุณภาพผิวชิ้นงานเพื่อหาค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวเฉลี่ยยี่ห้อ Mahr Pocket Surf PS1

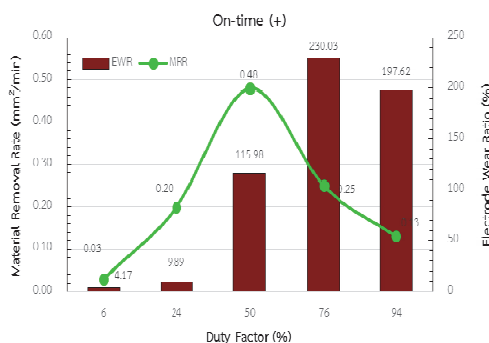
4) รอยแตกร้าวขนาดเล็กที่ปรากฏในพื้นที่ผิวตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อศึกษาคุณภาพผิวงานและผิวอิเล็กโทรดและวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิคการกระจายตัวของอิเล็กตรอน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy : EDS) หลังทำการสปาร์คชิ้นงาน

4. ผลการทดลอง

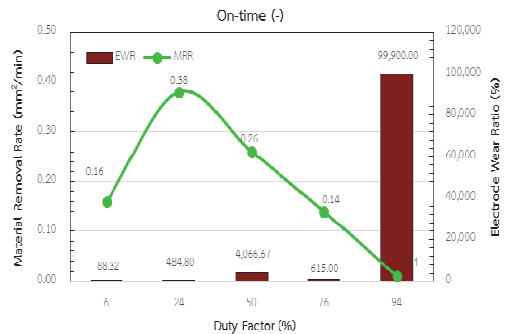
4.1 อัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR)

ผลการทดลองปรับค่าเวลาเปิด (On-time) ขั้วบวกของอิเล็กโทรด พบว่าผลการปรับค่าเวลาเปิด ขั้วบวกของอิเล็กโทรดมีอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) สูงสุดเท่ากับ $0.48 \text{ mm}^2/\text{min}$ ที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ต่ำสุดเท่ากับ 4.17% ที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 6% แสดงผลดังกราฟภาพที่ 5 เมื่อปรับขั้วของอิเล็กโทรดเป็นขั้วลบ พบว่าอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) สูงสุดเท่ากับ $0.38 \text{ mm}^2/\text{min}$ ที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 24% และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ต่ำสุดเท่ากับ 88.32% ที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 6% แสดงผลดังกราฟภาพที่ 6

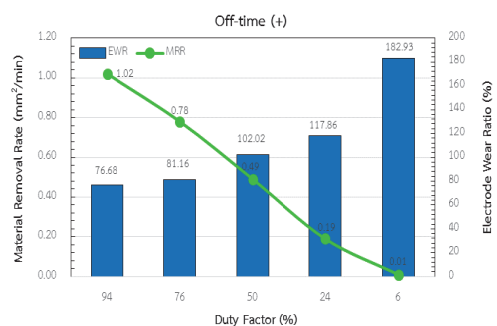
การปรับค่าเวลาปิด (Off-time) ขั้วบวกของอิเล็กโทรด พบว่าอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) สูงสุดเท่ากับ $1.02 \text{ mm}^2/\text{min}$ อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ต่ำสุดเท่ากับ 76.68% ที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 94% แสดงผลดังกราฟภาพที่ 7



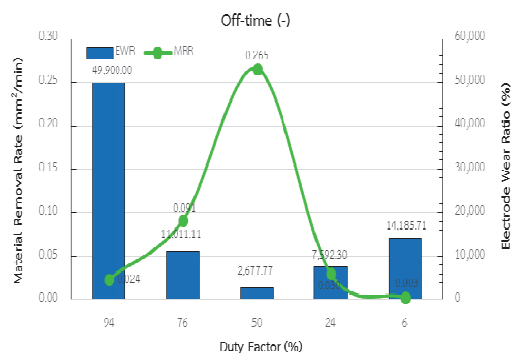
ภาพที่ 5 ผลการทดลองปรับค่าเวลาเปิด (ขั้วบวก)



ภาพที่ 6 ผลการทดลองปรับค่าเวลาเปิด (ขั้วลบ)



ภาพที่ 7 ผลการทดลองปรับค่าเวลาปิด (ขั้วบวก)



ภาพที่ 8 ผลการทดลองปรับค่าเวลาปิด (ขั้วลบ)

เมื่อปรับขั้วของอิเล็กโทรดเป็นขั้วลบ พบว่าอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) สูงสุดเท่ากับ $0.265 \text{ mm}^2/\text{min}$ และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ต่ำสุด ที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50% แสดงผลดังกราฟภาพที่ 8

จากผลการปรับค่าเวลาเปิด-ปิด ขั้วบวก และขั้วลบอิเล็กโทรดที่ได้จากการทดลอง พบว่าอัตราการกัดเนื้องานและอัตราการสึกหรออิเล็กโทรดเพิ่มขึ้นและลดลงตามตัวแปรการทดลองที่แตกต่างกัน เนื่องจากการปรับระยะเวลาเปิด-ปิดนั้น เป็นการทำให้ช่วงระยะเวลาการไหลของกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นและลดลง จึงเป็นผลให้เกิดความร้อนส่งผลต่อการกัดเซาะบริเวณผิวงานและเกิดการสึกหรอของอิเล็กโทรดที่มากหรือน้อยตามค่าตัวแปรที่กำหนด [5, 6]

4.2 การตรวจสอบค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra)

ผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวเฉลี่ยจากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าเวลาเปิด-ปิด พบว่าเวลาเปิดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่สูงขึ้น เมื่อปรับค่าเวลาปิดจะส่งผลต่อค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าที่ยาวนานจะทำให้เกิดการสะสมพลังงานในการสปาร์คทำให้รอบวัฏจักรในการสปาร์คแต่ละครั้งเกิดความรุนแรงและมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น จึงส่งผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงานทดสอบและมีค่าความหยาบผิวแตกต่างกัน [7] หลังทำการสปาร์คด้วยการปรับค่าเวลาเปิด-ปิด และปัจจัยตัวแปรอื่นๆ ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยหลังการสปาร์คด้วยการปรับค่าเวลาเปิด-ปิด

เวลาเปิด (On-time)		เวลาปิด (Off-time)	
ขั้วบวก (μm)	ขั้วลบ (μm)	ขั้วบวก (μm)	ขั้วลบ (μm)
1.581	1.950	2.912	2.888
2.390	2.252	2.997	2.723
3.298	2.944	2.835	2.810
5.369	2.720	2.686	2.948
6.442	2.485	2.472	2.871

4.3 การหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

การศึกษาหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการกัดเนื้องานสปาร์คทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ ด้วยการปรับค่ากระแสไฟฟ้า 7 ระดับ คือ 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35A โดยกำหนดให้ความต่างศักย์วงจรเปิดเท่ากับ 150V ค่าปัจจัยประสิทธิภาพที่ 76% สามารถแสดงผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

ค่ากระแสไฟฟ้า (A)	อัตราการกัดเนื้องาน (mm ² /min)	อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (%)
5	0.693	20
10	0.956	33
15	2.196	47
20	2.890	56
25	3.878	96
30	3.900	122
35	0.100	250

ผลการทดลองค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมพบว่าเมื่อปรับกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการกัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามลำดับ แสดงผลการทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมเนื่องจากระดับของกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เกิดความรุนแรงของการกัดเซาะชิ้นงานและเกิดความสึกของการสปาร์ค มากจึงส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานทดสอบและพื้นผิวของอิเล็กโทรดในลักษณะที่ต่างกัน [8]

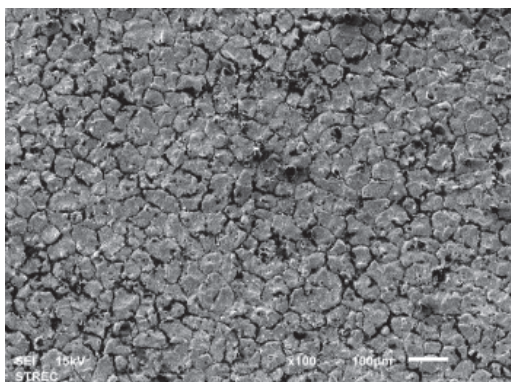
4.4 การตรวจสอบคุณภาพผิวงาน

ผลจากการทดลองของการสปาร์ควัสดุชิ้นงานด้วยปัจจัยที่กำหนด เพื่อศึกษาตัวแปรที่

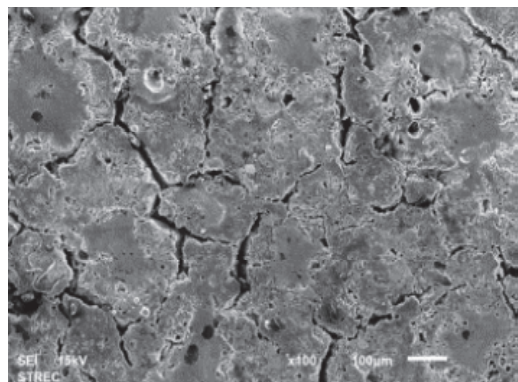
เหมาะสมต่อค่าความหนาผิวที่เกิดขึ้น พบว่าค่าความหนาผิวต่ำสุดที่มีระดับค่าความหนาผิวเท่ากับ $1.856\mu\text{m}$ ที่กระแสไฟฟ้า 20A, เวลาเปิด $10\mu\text{s}$, เวลาปิด $2\mu\text{s}$ และผิวงานที่มีค่าความหนาผิวสูงสุดมีค่าที่ระดับเท่ากับ $3.915\mu\text{m}$ โดยมีตัวแปรกระแสไฟฟ้า 30A, เวลาเปิด $32\mu\text{s}$, เวลาปิด $2\mu\text{s}$ แสดงลักษณะคุณภาพผิวชิ้นงานและผิวของอิเล็กโทรดที่มีความหนาผิวต่ำสุดและสูงสุดดังภาพที่ 9 และภาพที่ 10 ตามลำดับ

นอกจากนี้พบว่าเมื่อตรวจสอบคุณภาพผิวงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) พบว่าผิวชิ้นงานทดสอบ (WC-Co) และผิวของอิเล็กโทรด (Ti-6Al-4V) ที่มีความหนาผิวต่ำสุด จากกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพของอิเล็กโทรดไทเทเนียมอัลลอยด์เกิดการแตกร้าวที่ผิวเล็กน้อย เมื่อ

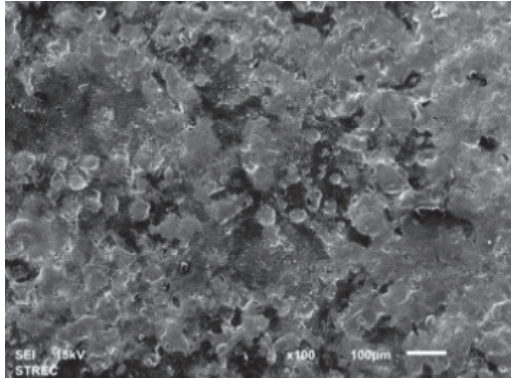
เทียบกับลักษณะผิวของอิเล็กโทรดซึ่งมีลักษณะที่เกิดการสึกหรอเป็นหลุมตื้นขนาดเล็กไม่สม่ำเสมอ [8] ส่วนลักษณะผิวชิ้นงานทดสอบ (WC-Co) และผิวอิเล็กโทรด (Ti-6Al-4V) ที่มีความหนาผิวสูงสุดพบว่าผิวชิ้นงานทดสอบมีลักษณะรูขนาดใหญ่และมีเศษอนุภาคที่เกิดการหลอมละลายติดกระจายอยู่ทั่วผิวงาน ซึ่งมีความแตกต่างจากลักษณะผิวของอิเล็กโทรดที่มีรอยแตกร้าวทั่วพื้นผิวงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสปาร์ค เนื่องจากกระแสไฟฟ้าในการสปาร์คที่สูงจะทำให้เกิดการจ่ายประจุกระแสไฟฟ้าที่สูงเช่นกัน และส่งผลต่ออัตราการแข็งตัวของงานเพิ่มขึ้น ส่วนอิเล็กโทรดเกิดรอยแตกร้าวทั่วพื้นผิวและมีความลึก จึงทำให้ลักษณะผิวงานมีความเรียบไม่สม่ำเสมอเป็นเหตุทำให้เกิดค่าความหนาผิวมีระดับค่ามากและน้อยแตกต่างกัน [9]



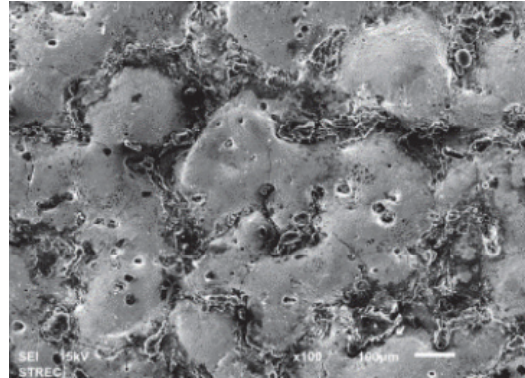
(ก) ผิวชิ้นงานทดสอบ (WC-Co)



(ก) พื้นผิวชิ้นงานทดสอบ (WC-Co)



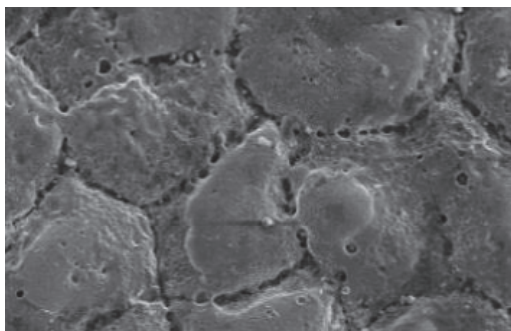
(ข) ผิวอิเล็กโทรด (Ti-6Al-4v)



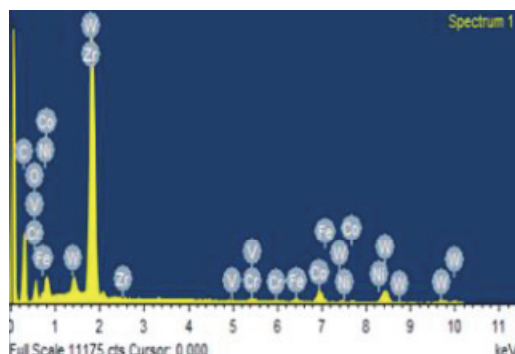
(ข) พื้นผิวอิเล็กโทรด (Ti-6A-4V)

ภาพที่ 9 ภาพถ่ายกำลังขยายสูง (SEM)
พื้นผิวชิ้นงานทดสอบและผิวอิเล็กโทรด
ที่มีความหยาบผิว

ภาพที่ 10 ภาพถ่ายกำลังขยายสูง (SEM)
พื้นผิวชิ้นงานทดสอบและผิวอิเล็กโทรด
ที่มีความหยาบผิวสูงสุด



(ก) ตำแหน่งการตรวจสอบ



(ข) แสดงส่วนผสมทางเคมี

ภาพที่ 11 วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิคการ
กระจายตัวของอิเล็กตรอน (EDS)

4.5 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

จากการศึกษาส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิคการกระจายตัวของอิเล็กตรอน (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy : EDS) บนผิววัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่มีค่าความหยาบผิวต่ำสุด บริเวณรอยแตกร้าวของผิวงานทดสอบหลังทำการสปาร์ค ดังแสดงภาพที่ 11

ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีบนผิวชิ้นงานทดสอบวัสดุผสมทั้งสแตนคาร์ไบด์พบคาร์บอนที่ผิวงานในปริมาณมาก เนื่องจากการเกิดขึ้นผิวงานที่เกิดการหลอมเหลวและเย็นตัวใหม่กลายเป็นผิวงานภายหลังการแปรรูปชิ้นงาน และเกิดการรวมตัวกันกับคาร์บอนที่ได้มาจากสารไฮโดรคาร์บอนในสารของเหลวตัวกลางไดอิเล็กตริก ซึ่งธาตุต่างๆ กระจายตัวฝังอยู่บนพื้นผิวชิ้นงาน [10] และนอกจากนี้ยังพบธาตุอื่นที่เกิดการหลุดร่อนจากพื้นผิวอิเล็กโทรดติดลงบนผิวงานทดสอบในปริมาณที่น้อยกว่าอัตราส่วนผสมเดิม เป็นผลเนื่องมาจากเศษผง

จากการสปาร์ค (Debris) เข้ามาทำการช่วยในสปาร์คซ้ำที่สองที่เรียกว่า “Secondary spark” ร่วมกับการสปาร์คด้วยอิเล็กโทรด [2]

5. สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาผลจากการประยุกต์ใช้วัสดุอิเล็กโทรดไทเทเนียมอัลลอยด์เกรด Ti-6Al-4V ในการกัดกัดเซาะด้วยไฟฟ้าบนวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยระดับค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) อัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุดเท่ากับ $3.900 \text{ mm}^2/\text{min}$ และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด 122% ที่กระแสไฟฟ้า 30A

2) การทดลองมีค่าความหยาบผิวต่ำสุดเท่ากับ $1.856 \mu\text{m}$ ที่กระแสไฟฟ้า 20A, เวลาเปิด $10 \mu\text{s}$, เวลาปิด $2 \mu\text{s}$

3) พื้นผิวชิ้นงานทดสอบและพื้นผิวอิเล็กโทรดที่มีความหยาบผิวต่ำสุดหลังกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้ามีลักษณะผิวงานค่อนข้างเรียบ ไม่เกิดรอยร้าว และไม่เกิดรูพรุนบนพื้นผิวชิ้นงานทดสอบและพื้นผิวอิเล็กโทรด

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กมลพงศ์ แจ่มกมล และคณะ. ผลกระทบของกระบวนการอีดีเอ็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งผิวงานเหล็กกล้า AISI P20. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 20-21 ตุลาคม. โรงแรมแอมบาสเดอร์ซีตี่จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี.2554.
- [2] ทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 8. 22-23 เมษายน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา.
- [3] พิชัย จันทรมณี อภิวัฒน์ มุตตาระ. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอีดีเอ็มทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยทางุชิเทคนิค. การประชุมวิชาการThomas, B. 1991. Technology of Electrical Discharge Machining, Druckerei Helene, 6102, Pfunstste: 2553; 11-53.
- [4] Bulent Ekmekci. Residual stresses and white layer in electric discharge machining (EDM), Applied Surface Science 2007; Vol.253 (23): 9234-9240.
- [5] H.K. Kansal, S. Singh, P. Kumar. Parametric Optimization of Powder Mixed Electrical Discharge Machining by Response Surface Methodology, Journal of Materials Processing and Technology. 2005; Vol.169: 427-436.
- [6] I.Puertas, C.J.Luis and L.Alvarez, Analysis of the influence of EDM parameters on surface quality, MRR and EWR of WC-Co, Journal of Materials Processing Technology 2004; Vol.153-154:. 1026-1032.

- [7] Kuang Yuan Kung and Jenn Tsong Horng. Material removal rate and electrode wear ratio study on the powder mixed electrical discharge machining of cobalt-bonded tungsten carbide. International Journal Advanced Manufacturing Technology. 2007; Vol. 40: 95-104.
- [8] Pichai Janmanee and et al. A Study of Surface Hardness Affecting in Electrical Discharge Machining on AISI P20 Plastic Mould Steel. Advanced Materials Research 2012; Vol.557-559: 1791-1796.
- [9] Salonites, K. and et al. “Thermal modeling of the material removal rate and surface roughness for die sinking EDM”, Springer-Verlag London Limited (Electronic). 2008; Available: Springer (3 August 2008)
- [10] Yusaf, K. and et al. An experimental study for determination of the effects of machining parameters on surfaces roughness in electrical discharge machining (EDM). Springer-Verlag London Limited (Electronic) 2005; Vol.28: 1118-1121.