



# ผลกระทบของกระแสไฟฟ้าและความสูงของเส้นลวดที่มีต่อการกัดอาร์คไทเทเนียมด้วยลวดไฟฟ้า

ปัทิตตา นาควงษ์ และ อีรพล ทรัพย์บุญ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์, สาขาวิศวกรรมการจัดการ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,  
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: patittar.n@gmail.com

วันที่รับบทความ: 15 ตุลาคม 2562; วันที่ทบทวนบทความ: 2 มกราคม 2563; วันที่ตอบรับบทความ: 5 กุมภาพันธ์ 2563

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 มีนาคม 2563

**บทคัดย่อ:** การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระแสไฟฟ้าและความสูงของเส้นลวดที่มีต่อการกัดอาร์คด้วยลวดไฟฟ้า (WEDM) บนชิ้นงานไทเทเนียม โดยใช้ค่าปัจจัยการทดลอง 3 ระดับคือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 6, 7 และ 8 แอมแปร์ และระดับความสูงของเส้นลวด (NOD) คือ 150, 175 และ 200 มิลลิเมตร โดยวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยจากอัตราการขจัดเนื้องานมากที่สุด (MRR), ความหยาบผิว (Surface Roughness) และความกว้างของรอยตัด (Kerf Width) ที่ต่ำที่สุด ผลการทดลองพบว่าที่กระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ ระดับความสูงของเส้นลวดที่ 200 มิลลิเมตร มีค่าอัตราการขจัดเนื้องานมากที่สุดเท่ากับ 0.57 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที และที่กระแสไฟฟ้า 6 แอมแปร์ ระดับความสูงของเส้นลวดที่ 150 มิลลิเมตร ความเรียบผิวต่ำที่สุด เท่ากับ 2.02 ไมโครเมตร และมีค่าความกว้างรอยตัดต่ำที่สุด เท่ากับ 0.33 มิลลิเมตร จากการวิเคราะห์พื้นผิวของไทเทเนียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าที่กระแสไฟฟ้าและความสูงของเส้นลวดส่งผลต่อความเรียบผิว อัตราการขจัดเนื้องานและรอบแตกกร้าวภายในเนื้อวัสดุน้อยกว่า ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงพื้นผิวของชิ้นงานไทเทเนียมได้

**คำสำคัญ:** เครื่องกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้า; ไทเทเนียม; อัตราการขจัดเนื้องาน; ความเรียบผิว; ความกว้างรอยตัด

# Effects of Peak Current and Nozzle Offset Distance on Wire Electrical Discharge Machining of Titanium

Patittar Nakwong<sup>\*</sup> and Theeraphol Subboon

Department of Applied Science, Major of Industrial management, Faculty of Science and Technology,  
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

<sup>\*</sup> Corresponding author, E-mail: patittar.n@gmail.com

Received: 15 October 2019; Revised: 2 January 2020; Accepted: 5 February 2020

Online Published: 22 March 2020

**Abstract:** The objective of this research was to study the effects of peak current and nozzle offset distance (NOD) as the arc gap on wire electrical discharge machining (WEDM) of titanium. Peak current was tested at three levels of 6, 7 and 8 A, while NOD was varied at 150, 175 and 200 mm. These three variables were assessed to achieve the highest material removal rate (MRR) that generated minimal surface roughness and kerf width. Results showed that a peak current of 8 A with NOD at 200 mm recorded the highest MRR of  $0.57 \text{ mm}^3/\text{min}$ , while peak current at 6 A and NOD at 150 mm gave the lowest surface roughness at  $2.02 \text{ }\mu\text{m}$  and kerf width of 0.33 mm. A scanning electron microscope (SEM) was used to analyze the surface of the titanium. Findings determined that the lowest peak current (6A) and lowest NOD (150 mm) gave optimal surface roughness, MRR and surface cracks. Thus, these parameters can be used to improve the surface of titanium workpieces.

**Keywords:** Wire electrical discharge machine; Titanium; Material removal rate; Surface roughness; Kerf width



## 1. บทนำ

การกัดอาร์คชิ้นงานด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Electrical Discharge Machine: WEDM) เป็นกระบวนการที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ การบิน การผ่าตัด ยานยนต์ และ อุตสาหกรรมนิวเคลียร์ การกัดอาร์คด้วยเส้นลวดนั้นคล้ายกับกระบวนการกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยอิเล็กโตรดแบบแท่ง (Electrode Discharge Machine: EDM) ซึ่งในกระบวนการกัดอาร์คจะไม่มีสัมผัสกันระหว่างอิเล็กโตรดกับชิ้นงาน กระบวนการกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวด จึงได้พัฒนาเป็นกระบวนการตัดเฉือนที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตชิ้นส่วนที่ซับซ้อนและมีความแม่นยำในการตัดสูง [1]

ไทเทเนียมจัดเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตเครื่องบิน ยานอวกาศ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ การขนส่ง การแพทย์ วิศวกรรมมหาสมุทร และ อุตสาหกรรมอื่นๆ ด้วยสมบัติเฉพาะ ได้แก่ ความหนาแน่นต่ำ ทนต่อแรงสูง ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ ในปัจจุบันมีการนำไทเทเนียมมาใช้ในงานอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย และนิยมนำไทเทเนียมมาทำการผลิตงานต่าง ๆ [2-4] ในงานอุตสาหกรรม ไทเทเนียมถือว่าเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจและปัญหาของกระบวนการผลิตที่มีความสนใจ Kumar *et al.*, [5] กล่าวว่าในระหว่างกระบวนการตัดเฉือนภายใต้ความร้อน ไทเทเนียมจะเกิดลักษณะของการเปลี่ยนรูปเป็นพลาสติกและแตกตัวออกเป็นเศษ ทำให้ชิ้นงานภายหลังกระบวนการตัดเฉือนมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบซึ่งเป็นผลมาจากความเร็วลวด แรงในการสั่นของเส้นลวด แรงดันน้ำ กระแสไฟฟ้า เป็นต้น Arikatta *et al.*,

[6] และ Kumar *et al.*, [7-8] ได้ทำการศึกษาปัจจัยการทดลองที่ส่งผลต่อกระบวนการตัดเฉือนไทเทเนียมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพื้นผิวด้วยปัจจัยคือ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ ระยะเวลาเปิด-ปิด ความตึงลวด อัตราการป้อนเส้นลวด โดยพิจารณาผลการทดลองจากอัตราเร็วในการตัดชิ้นงาน ความต่างศักย์และความหยาบผิว พบว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นความเรียบผิวของชิ้นงานจะหยาบมากขึ้น จากนั้นได้ทำการศึกษากระบวนการตัดเฉือนไทเทเนียมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพื้นผิวโดยทำการตัดแบบตัดหยาบและการตัดละเอียดด้วยปัจจัยคือ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ ระยะเวลาเปิด-ปิด พิจารณาผลการทดลองจากความกว้างรอยตัด ความหยาบผิว และอัตราขจัดเนื้องานพบว่า เมื่อทำการตัดด้วยวิธีการตัดละเอียด พื้นผิวของไทเทเนียมดีขึ้นและ เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นอัตราขจัดเนื้องานและความกว้างรอยตัดเพิ่มขึ้นด้วยนอกจากปัจจัยที่ผู้วิจัยได้ศึกษาแล้วนั้นพบว่าระดับความสูงของเส้นลวดถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อกระบวนการตัดเฉือน ดังที่ Ishfaq *et al.*, [9] ได้ทำการศึกษากระบวนการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 โดยการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคทากูชิ ศึกษาปัจจัยการทดลอง ได้แก่ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ ความเร็วลวด และความสูงของเส้นลวด โดยออกแบบการทดลองของปัจจัย 4 ระดับ จากการทดลองดังกล่าวพบว่า กระแสไฟฟ้าที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดความหยาบผิวมากที่สุดและระดับความสูงของเส้นลวดที่สูงที่สุดส่งผลต่อความหยาบผิวน้อยที่สุด De *et al.*, [10] ได้ค้นคว้าแปรที่สำคัญในการตั้งค่าเครื่องกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้าสำหรับการผลิตชิ้นส่วนไทเทเนียมโดยการ



วิเคราะห์พารามิเตอร์การตัดเฉือนด้วยประจุไฟฟ้าด้วยเส้นลวดทองเหลืองบนชิ้นงานไทเทเนียมบริสุทธิ์ ผลของที่ส่งผลต่อความกว้างรอยตัดและค่าความคลาดเคลื่อนรอยตัด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามหลักสถิติด้วยการตอบสนองพื้นผิว พบว่า ค่าเวลาเปิดและปิดไฟฟ้าส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ไทเทเนียม ทั้งในด้านของอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด ลักษณะความสมบูรณ์ของพื้นผิวอันได้แก่ ความหยาบผิว รอยแตกร้าวขนาดเล็ก และลักษณะอื่นๆ

ผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจในการนำเครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของวัสดุไทเทเนียม ประกอบกับปัจจัยการทดลองในเรื่องความสูงของเส้นลวดและกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อศึกษาอัตราการขจัดเนื้องาน ความเรียบผิวของชิ้นงานและความกว้างรอยตัด โดยมุ่งเน้นให้ผลของการวิจัยสามารถนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมและการเรียนการสอน อีกทั้งเป็นการพัฒนาต่อยอดในการวิจัยต่อไป

## 2. วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

### 2.1 เครื่องกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวด

เครื่องกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวด (Wire Electrical Discharge Machine) ยี่ห้อ JSEDM รุ่น W-B430 เป็นเครื่องจักรที่ถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมด้วยตัวเลข (CNC) สามารถปรับค่ากระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0.5 ถึง 25 แอมแปร์ ปรับค่าระดับความต่างศักย์ได้ 96 โวลต์ ปรับค่าเวลาเปิด-ปิดได้ 8 ถึง 50 ไมโครวินาที ระดับความสูงของเส้นลวดปรับได้สูงสุด 300 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวด

### 2.2 ชิ้นงานในการทดลอง

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง คือ ไทเทเนียม เกรด 2 ขนาดกว้าง 139.7 มิลลิเมตร ยาว 139.7 มิลลิเมตร และมีความหนา 63.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 โดยมีองค์ประกอบธาตุของวัสดุไทเทเนียม ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 ชิ้นงานไทเทเนียมที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 องค์ประกอบธาตุของไทเทเนียม

| Element  | Ti    | Si   | Fe   | Sn   |
|----------|-------|------|------|------|
| Weight % | 99.84 | 0.10 | 0.03 | 0.02 |

### 2.3 วัสดุอิเล็กโทรด

เส้นลวดอิเล็กโทรดที่ใช้ในกระบวนการกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวดเป็นเส้นลวดอิเล็กโทรดทองเหลือง



ยี่ห้อโอกิ (Oki) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร มีองค์ประกอบธาตุหลักที่เกี่ยวข้องแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบธาตุของเส้นลวดทองเหลือง

| Element  | Cu | Zn |
|----------|----|----|
| Weight % | 63 | 35 |

### 3. วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 ตัวแปรในการทดลอง

ในกระบวนการทดลองผู้วิจัยได้ประเมินผลของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการกัดด้วยเส้นลวดไฟฟ้า โดยได้มีการทำการทดลองเบื้องต้นด้วยวิธีการลองผิดลองถูกจากการศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์ เพื่อหาค่าปัจจัยการทดลองที่เหมาะสมในระหว่างการกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวด จึงได้ออกแบบปัจจัยการทดลองอันได้แก่ ระดับความสูงของเส้นลวด (NOD) กระแสไฟฟ้า (IP) ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) เวลาเปิด-เวลาปิด (On-Time, Off-Time) ดังตารางที่ 3 ผลการทดลองวิเคราะห์จากอัตราการขจัดเนื้องาน (Material Removal Rate: MRR) ค่าความกว้างรอยตัด (Kerf Width) และค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน (Surface roughness: Ra)

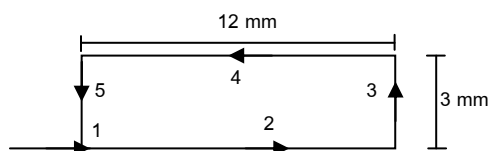
#### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการกัดอาร์คไทเทเนียมด้วยเส้นลวด โดยทำการตั้งค่าความสูงของเส้นลวดที่แตกต่างกัน 3 ระดับคือ 150, 175 และ 200 มิลลิเมตร กระแสไฟฟ้าในการกัดอาร์ค 3 ระดับที่ 6, 7 และ 8 แอมแปร์ ทำการตัดชิ้นงานเป็น

รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยกำหนดให้มีความหนาชิ้นงานที่ 1 มิลลิเมตร และความกว้าง 3 มิลลิเมตร ความยาว 12 มิลลิเมตร โดยมีเส้นทางเดินลวดไฟฟ้า 30 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3 และชิ้นงานที่ตัดได้ดังรูปที่ 4

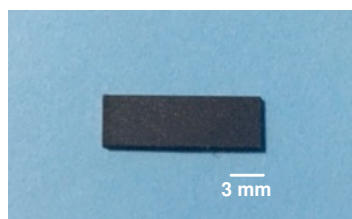
ตารางที่ 3 ปัจจัยในการทดลอง

| ปัจจัยการทดลอง              | หน่วย       | ค่าที่ใช้ในการทดลอง |
|-----------------------------|-------------|---------------------|
| ความสูงของเส้นลวด (NOD)     | มิลลิเมตร   | 150, 175, 200       |
| กระแสไฟฟ้า (IP)             | แอมแปร์     | 6, 7, 8             |
| ความเร็วในการตัด (WS)       | เมตร/นาที   | 8                   |
| ระยะเวลาเปิด (On time)      | ไมโครวินาที | 8                   |
| ระยะเวลาปิด (Off time)      | ไมโครวินาที | 15                  |
| ชนิดของเส้นลวด              | -           | ทองเหลือง           |
| เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด | มิลลิเมตร   | 0.25                |
| วัสดุที่ใช้ในการทดลอง       | -           | ไทเทเนียม           |



ลำดับเส้นทางการเดินลวดไฟฟ้า 1-2-3-4-5

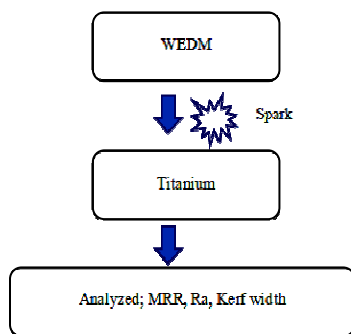
รูปที่ 3 เส้นทางการเดินลวดไฟฟ้า



รูปที่ 4 ชิ้นงานไทเทเนียมภายหลังการตัดด้วยลวดไฟฟ้า



จากนั้นสามารถหาประสิทธิภาพของปัจจัยการทดลองภายหลังกระบวนการกัดอาร์คไทเทเนียม โดยพิจารณาจาก อัตราการขจัดเนื้องาน (Material Removal Rate: MRR) ความกว้างรอยตัด และความเรียบผิว (Surface roughness:  $R_a$ ) โดยสามารถเขียนผังการทดลองดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังการทดลอง

### 3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ผลการทดลอง ภายหลังกระบวนการกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวดบนชิ้นงานไทเทเนียม เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากกระบวนการทดลองในแต่ละปัจจัย สามารถหาอัตราการขจัดเนื้องานได้จากสมการที่ 1 ดัดแปลงจาก Tondy *et al.*, [11]

$$MRR = \frac{L \times T \times Kw}{\text{Time}} \quad (1)$$

โดยให้กำหนดให้

L (Length) = ความยาวรอบรูป (มม.)

T (Thickness) = ความหนาของชิ้นงาน (มม.)

Kw (Kerf Width) = ความกว้างรอยตัด (มม.)

Time (Time Taken) = เวลาในการตัดชิ้นงาน (นาที)

จากนั้นทำการวิเคราะห์ความเรียบผิวของชิ้นงานไทเทเนียม โดยวัดความเรียบผิวด้วยเครื่องวัดความเรียบผิว (Surface Roughness Test) ดังรูปที่ 6 จากนั้นนำไปวัดความกว้างรอยตัดของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อริช (Rich) รุ่นดีซีเอ็ม 800 (DCM-800) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 เครื่องวัดความเรียบผิว



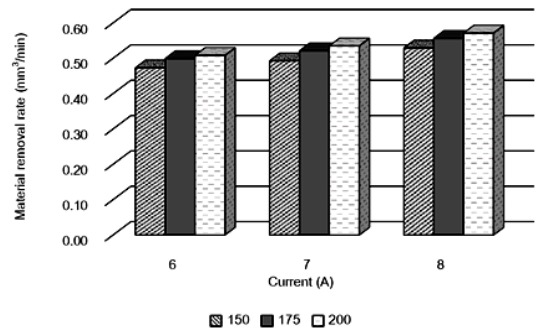
รูปที่ 7 กล้องจุลทรรศน์



#### 4. ผลการทดลองและอภิปราย

##### 4.1 ปัจจัยการทดลองที่ส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน

จากปัจจัยในการทดลองที่ส่งผลของอัตราการขจัดเนื้องานของไทเทเนียมภายหลังกระบวนการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้า โดยปัจจัยที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความสูงของเส้นลวดและค่ากระแสไฟฟ้า สามารถบันทึกผลการทดลองดังตารางที่ 4 และสามารถหาอัตราการขจัดเนื้องานได้จากสมการที่ (1)



รูปที่ 8 ผลการทดลองอัตราการขจัดเนื้องาน

ตารางที่ 4 ผลการทดลอง

| NOD (mm) | IP (A) | Thickness (mm) | Time taken (min) | Kerf width (mm) | MRR (mm <sup>3</sup> /min) | Ra (μm) |
|----------|--------|----------------|------------------|-----------------|----------------------------|---------|
| 150      | 6      | 0.84           | 17.58            | 0.33            | 0.47                       | 2.02    |
|          | 7      | 0.85           | 17.59            | 0.34            | 0.49                       | 2.15    |
|          | 8      | 0.86           | 17.55            | 0.36            | 0.53                       | 2.25    |
| 175      | 6      | 0.86           | 17.57            | 0.34            | 0.50                       | 2.06    |
|          | 7      | 0.87           | 17.53            | 0.35            | 0.52                       | 2.22    |
|          | 8      | 0.88           | 17.56            | 0.37            | 0.56                       | 2.30    |
| 200      | 6      | 0.85           | 17.56            | 0.35            | 0.51                       | 2.62    |
|          | 7      | 0.87           | 17.56            | 0.36            | 0.54                       | 2.75    |
|          | 8      | 0.88           | 17.56            | 0.38            | 0.57                       | 2.94    |

จากผลการทดลองแสดงอัตราการขจัดเนื้องานที่คำนวณได้ภายหลังกระบวนการกัดอาร์ค สามารถนำผลการทดลองดังกล่าวไปสร้างกราฟเปรียบเทียบผลของความสูงของเส้นลวดและค่าของกระแสไฟฟ้าที่ระดับต่างๆ ดังรูปที่ 8 พบว่าที่ระดับความสูงเส้นลวดที่ระดับ 200 มิลลิเมตร กระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ มีอัตราการขจัดเนื้องานมากที่สุด เท่ากับ 0.57 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที และ ระดับความสูงต่ำที่สุดที่ระดับ

150 มิลลิเมตร กระแสไฟฟ้า 6 แอมแปร์ มีอัตราการขจัดเนื้องานต่ำที่สุดเท่ากับ 0.47 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที จากผลการทดลองทำให้ทราบได้ว่าระดับความสูงของเส้นลวดที่ระดับต่ำส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างชิ้นงานและเส้นลวดน้อย เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจะก่อให้เกิดความร้อนสู่ชิ้นงาน ความร้อนจากกระบวนการกัดอาร์คจะไปทำให้ชิ้นงานเกิดการหลอมเหลวได้น้อยกว่าระดับความสูงของเส้นลวด



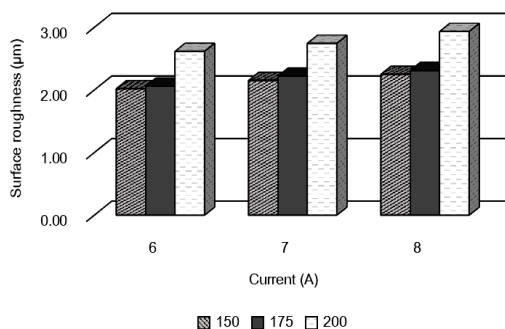


อื่นๆ ส่งผลให้เกิดการจัดเนื้องานขึ้น นอกจากนี้เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการจัดเนื้องานเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยมีผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Prasad *et al.*, [3] และ Tondy *et al.*, [11] ซึ่งได้ใช้หลักการทางสถิติของทากูชิเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับอัตราการจัดเนื้อ ผลการทดลองพบว่ากระแสไฟฟ้าที่มากขึ้นมีผลต่ออัตราการจัดเนื้องานที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และจากการศึกษาของ Khatri *et al.*, [12] ที่กล่าวว่า การตัดชิ้นงานไทเทเนียมแบบแห้ง พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการจัดเนื้องาน คือ กระแสไฟและความกว้างรอยตัด คือ เวลาเปิดของวงจรไฟฟ้า

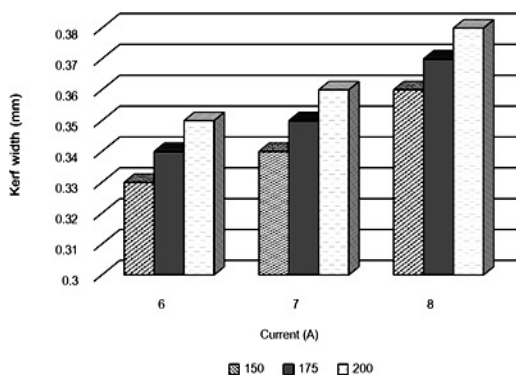
#### 4.2 ปัจจัยการทดลองที่ส่งผลต่อความเรียบผิวและความกว้างรอยตัด

ผลการทดลองค่าความสูงของเส้นลวดและกระแสไฟฟ้าในกระบวนการกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวดภายใต้กระแสไฟฟ้าแตกต่างกันส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนของชิ้นงานขณะที่เส้นลวดเข้าใกล้ชิ้นงานเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น จะมีเศษของชิ้นงานที่ถูกขจัดออกมาหรือแตกออกมากขึ้น ทำให้เกิดความเรียบผิวที่ต่างกัน ดังรูปที่ 9 ผลของค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.02 ไมโครเมตร ที่ความสูงเส้นลวด 150 มิลลิเมตร กระแสไฟฟ้าที่ 6 แอมแปร์ และค่าความเรียบผิวสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.94 ไมโครเมตร ที่ระดับความสูงเส้นลวด 200 มิลลิเมตร กระแสไฟฟ้าที่ 8 แอมแปร์ จากรูปที่ 10 ผลความสูงของเส้นลวดแสดงให้เห็นค่าความกว้างรอยตัดที่ลดลงเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าในการกัดอาร์คต่ำ ค่าความกว้างรอยตัดจะน้อยลงด้วย ซึ่งมีแนวทางในการศึกษาที่คล้ายกับ

การทดลองของ Ishfaq *et al.*, [9] Shah, *et al.*, Takuro *et al.*, และ Okada *et al.*, [13-16] ผลของความร้อนจากกระแสไฟฟ้าและระดับความสูงของเส้นลวดที่ระดับต่างๆ ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11



รูปที่ 9 ผลการทดลองความเรียบผิว



รูปที่ 10 ผลการทดลองความกว้างรอยตัด

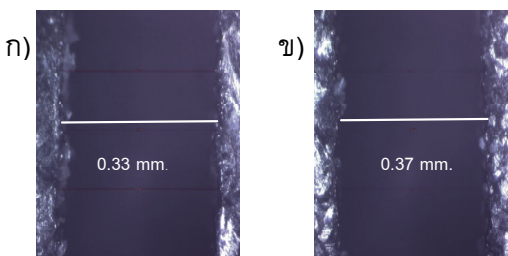
เมื่อความสูงของเส้นลวดเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างชิ้นงานและการขัดชิ้นงานมากขึ้น ผลของระดับความสูงนี้เมื่อเกิดการขัดชิ้นงานออกด้วยแรงดันน้ำ ส่งผลให้เส้นลวดเกิดการแกว่งทำให้ช่องว่างรอยตัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวเห็นได้ว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทำให้





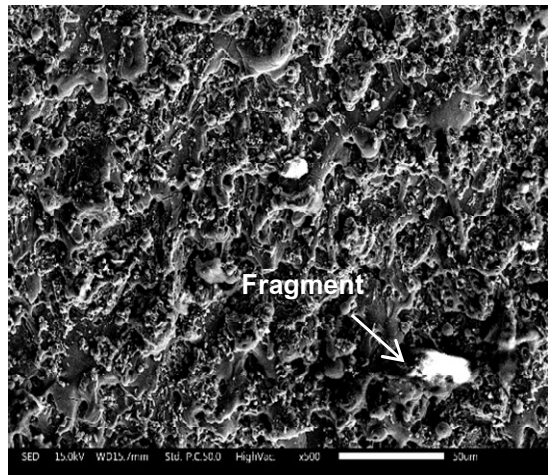
เกิดเศษของชิ้นงานที่หลุดออกมาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานภายหลังการกัดอาร์คมีค่าความเรียบผิวเพิ่มขึ้น

เมื่อความสูงของเส้นลวดเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างชิ้นงานและการขัดชิ้นงานมากขึ้น ผลของระดับความสูงนี้เมื่อเกิดการขัดชิ้นงานออกด้วยแรงดันน้ำ ส่งผลให้เส้นลวดเกิดการแกว่งทำให้ช่องว่างรอยตัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวเห็นได้ว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดเศษของชิ้นงานที่หลุดออกมาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานภายหลังการกัดอาร์คมีค่าความเรียบผิวเพิ่มขึ้น

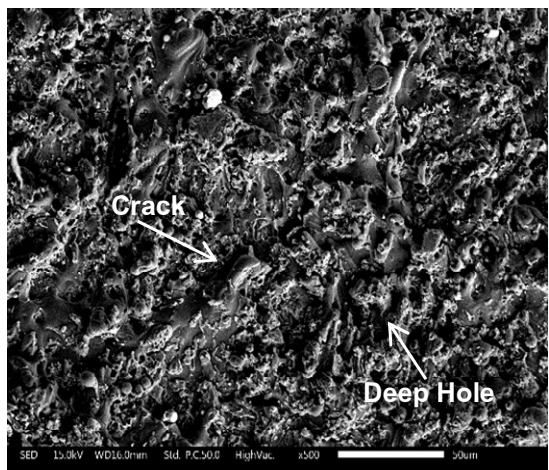


รูปที่ 11 ความกว้างรอยตัดที่ความสูงเส้นลวด 150 มิลลิเมตร กำลังขยาย 10 เท่า ก) กระแสไฟฟ้าที่ 6 แอมแปร์ และ ข) กระแสไฟฟ้าที่ 8 แอมแปร์

ผลการถ่ายภาพพื้นผิวของชิ้นงานไทเทเนียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังรูปที่ 12 และรูปที่ 13 พบว่า ผลการทดลองค่าความสูงของเส้นลวดกับกระแสไฟฟ้า ส่งผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน เห็นได้ว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการกัดกร่อนของชิ้นงานมากขึ้น



รูปที่ 12 ภาพถ่ายความเรียบผิวชิ้นงานไทเทเนียมที่กระแสไฟฟ้า 6 แอมแปร์ ระดับความสูง 150 มิลลิเมตร



รูปที่ 13 ภาพถ่ายความเรียบผิวชิ้นงานไทเทเนียมที่กระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ ระดับความสูง 200 มิลลิเมตร



## 5. สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาผลของกระแสไฟฟ้าและระดับความสูงของเส้นลวดที่ระดับต่างกัน ในกระบวนการกัดอาร์ควัสดุไทเทเนียมด้วยเส้นลวดทองเหลืองนั้นผลของการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

1. การกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวดบนชิ้นงานไทเทเนียมมีอัตราการขจัดเนื้องานมากที่สุดที่กระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ ระดับความสูงของเส้นลวดที่ 200 มิลลิเมตร มีอัตราการขจัดเนื้องานมากที่สุดเท่ากับ 0.57 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที

2. ความเรียบผิวของไทเทเนียมที่ดีที่สุดเท่ากับ 2.02 ไมโครเมตร และมีความกว้างรอยตัดต่ำที่สุดเท่ากับ 0.33 มิลลิเมตร ที่กระแสไฟฟ้า 6 แอมแปร์ ระดับความสูงของเส้นลวดที่ 150 มิลลิเมตร

3. เมื่อความสูงของเส้นลวดเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องาน ความกว้างรอยตัดและความเรียบผิวเพิ่มมากขึ้น

4. กระแสไฟฟ้าและความสูงของเส้นลวด ส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน ความเรียบผิวและความกว้างรอยตัด

5. การทดสอบชิ้นงานภายหลังกระบวนการกัดอาร์ค ทำให้ทราบว่ากระแสไฟฟ้าและความสูงของเส้นลวดส่งผลต่อชิ้นงานไทเทเนียม ซึ่งเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าและความสูงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเรียบผิวและเกิดรอยแตกร้าวในเนื้องานซึ่งจะส่งผลต่อการทำชิ้นงานเสียหายได้เมื่อนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S.S. Nair and N. Joshi, Trends in Wire Electrical Discharge Machining (WEDM): A Review, International Journal of Engineering Research and Applications, 2014, 4, 71 – 76.
- [2] T. Liu, J. Lin, Y. Guan, Z. Xie, L. Zhu and J. Zhai, Effects of Ultrasonic Vibration on the Compression of Pure Titanium, Ultrasonics, 2018, 89, 26 – 33.
- [3] A.V.S. Prasad Ram, R. Koonan and G.L. Datta, An Experimental Study of Wire EDM on Ti-6Al-4V Alloy”, Procedia Materials Science, 2014, 5, 2567 – 2576.
- [4] S.P. Arikatla, K.T. Mannan and A. Krishnaiah, Parametric Optimization in Wire Electrical Discharge Machining of Titanium Alloy Using Response Surface Methodology, Materials Today: Proceedings, 2017, 4, 1434 – 1441.
- [5] J. Kumar and J. S. Khamba, An Experimental Study on Ultrasonic Machining of Pure Titanium Using Designed Experiments, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2008, 30(3), 231 – 238.
- [6] S.P. Arikatla, K.T.I Mannan and A. Krishnaiah, Surface Integrity Characteristics in Wire Electrical Discharge Machining of Titanium Alloy during Main cut



- and Trim cuts, Proceedings Materials Today: Proceedings, 2007, 4(2), 1500 – 1509.
- [7] A. Kumar, V. Kumar and J. Kumar, An Investigation into Machining Characteristics of Commercially Pure Titanium (Grade-2) Using CNC WEDM, Applied Mechanics and Materials, 2012, 159. 56 – 68.
- [8] A. Kumar, V. Kumar, J. Kumar, Surface Integrity and Material Transfer Investigation of Pure Titanium for Rough Cut Surface after Wire Electro Discharge Machining, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2013, 228, 880 – 901.
- [9] K. Ishfaq, N Ahmad, M. Jawad, M.A. Ali and A.M. Al-Ahmari, Evaluating Material's Interaction in Wire Electrical Discharge Machining of Stainless Steel (304) for Simultaneous Optimization of Conflicting Responses. Materials, 2019, 12(12), Article No. 1940, 1 – 15.
- [10] D. De, T. Nandi and A. Bandyopadhyay, Analysis of Machining Parameters for Wire Cut Electrical Discharge Machining of Pure Titanium using Response Surface Methodology, Materials Today: Proceedings, 2018, 5, 2(1), 5374 – 5383.
- [11] H.R. Tondy and A.M. Tigga, Analysis of Effects of Cutting Parameters of Wire Electrical Discharge Machining on Material Removal Rate and Surface Integrity, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, 115, 1 – 7.
- [12] B.C. Khatri and P.P. Rathod, Investigations on The Performance of Concentric Flow Dry Wire Electric Discharge Machining (WEDM) for Thin Sheets of Titanium Alloy, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 92, 1945 – 1954.
- [13] A. Shah, N. A. Mufti, D. Rakwal and E. Bamberg, Material Removal Rate, Kerf, and Surface Roughness of Tungsten Carbide Machined with Wire Electrical Discharge Machining, Journal of Materials Engineering and Performance, 2010, 20, 71 – 76.
- [14] T. Konishi, S. Habib, A. Okada, Y. Okamoto, and H. Kurihara, Influence of Nozzle Jet Flushing on Wire Deflection and Breakage, International Conference on Machining Materials and Mechanical Technology (IC3MT), 2014, 1 – 6.
- [15] K. Takuro, A. Okada, Y. Okamoto and H. Kurihara, Effect of Tilting Jet Flushing Nozzle on Wire EDM Performance, International Journal of Electrical Machining, 2015, 20, 3 – 8.



- [16] A. Okada, Y. Uno, S. Onoda, S. Habib,  
Computational Fluid Dynamics Analysis of  
Working Fluid flow and Debris Movement in  
Wire EDMed Kerf, CIRP Annals -  
Manufacturing Technology, 2009, 58 (1),  
209 – 212.