

การศึกษาประสิทธิภาพการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการ หมุนอิเล็กโทรดรวมกับการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด

A Study of Electrical Discharge Machining Performance by Applied Rotating Electrode with Dielectric Flushing through the Axis of Electrode

กมลพงศ์ แจ่มกมล และ สุภาวัฒน์ ชูวารี *

Kamonpong Jamkamon and Suppawat Chuvaree *

Received: 20 November 2020, Revised: 11 February 2021, Accepted: 14 May 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรูชิ้นงานเหล็กกล้าแม่พิมพ์ด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการหมุนอิเล็กโทรดรวมกับการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด ในการศึกษาที่อุปกรณ์จับอิเล็กโทรดแบบหมุนพร้อมปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด ถูกออกแบบและติดตั้งบนหัวเครื่องจักรเพื่อใช้ในการเจาะรูชิ้นงานเหล็กกล้า AISI P20 ด้วยอิเล็กโทรดทองแดง จากการควบคุมความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรด 30, 90, 150, 210 และ 270 รอบต่อนาที ร่วมกับการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลาง และฉีดด้านข้างอิเล็กโทรด พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานจากการประเมินเวลาที่ใช้ในการเจาะลดลง 62, 61 และ 28 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการกำจัดเนื้องานเพิ่มสูงขึ้น 154, 144 และ 40 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการปล่อยไดอิเล็กทริกแบบฉีดผ่านแกนกลาง แบบฉีดผ่านแกนกลาง และแบบฉีดด้านข้างอิเล็กโทรด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเจาะรูแบบทั่วไป นอกจากนี้ยังพบว่า เวลาที่ใช้ในการเจาะรูและอัตราการกำจัดเนื้องานสำหรับการปล่อยไดอิเล็กทริกแบบฉีดผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรด อย่างไรก็ตามอัตราการกำจัดเนื้องานที่มากขึ้นส่งผลให้ความหนาผิวเฉลี่ยของผนังรูเจาะเพิ่มสูงขึ้น แต่ระยะห่างของช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับผนังงานชิ้นงานถูกปรับปรุงให้มีขนาดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การเจาะรูแบบทั่วไป

คำสำคัญ: การกัดโลหะด้วยไฟฟ้า, การหมุนอิเล็กโทรด, การปล่อยไดอิเล็กทริก

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep, Sathon, Bangkok 10120, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): suppawat.c@mail.rmutk.ac.th

ABSTRACT

The aim of this research is to investigate the machining performance for drilling hole on the tool steel in the electrical discharge machining. The applied rotating electrode with modified dielectric flushing through the axle of electrode was performed in this study. In this work, a rotary electrode holding device with dielectric flushing through the axis of electrode was designed and mounted on the head of machine for drilling AISI P20 steel with copper electrode. The rotational speed of electrode was controlled at 30, 60, 90, 150, 210 and 270 rev/min for the dielectric flow through the axis and side flushing of electrode. The obtained results found that the machining time was reduced by 62, 61 and 28 % and the material removal rate was increased by 154, 144 and 40 % for the suction flushing, pressure flushing and side flushing respectively, when compared to side flushing with conventional electrode. In addition, the machining time and material removal rate in the suction flushing through the axis of electrode were independent of the rotating speed. Moreover, higher material removal rate resulted in an increase in the surface roughness of drilled wall but the gap clearance was improved by dielectric flushing through the axis of electrode.

Keywords: electrical discharge machining, rotating electrode, dielectric flushing

บทนำ

การกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (Electrical discharge machining, EDM) เป็นการแปรรูปชิ้นงานโดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้า (Discharge current) เพื่อให้เกิดการสปาร์ก (Sparking) ซึ่งเพียงพอต่อการกำจัดวัสดุออกจากเนื้องานภายใต้ของเหลวไดอิเล็กทริก (Dielectric fluid) ที่ปกคลุมและกั้นกลางระหว่างอิเล็กโทรด (Electrode) กับชิ้นงาน (Workpiece) ทำให้สามารถกำจัดเนื้อโลหะโดยไม่ขึ้นอยู่กับการสมบัติทางกลของวัสดุ (Choudhary and Jadoun, 2014) ด้วยเหตุนี้การกัดโลหะด้วยไฟฟ้าจึงเป็นที่นิยมใช้ในการแปรรูปชิ้นงานที่มีความแข็งสูงและยากต่อการแปรรูปด้วยกระบวนการทางกล (Difficult-to-cut material) สำหรับการผลิตชิ้นส่วนอากาศยาน ชิ้นส่วนยานยนต์ และอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ เป็นต้น (Jeevamalar and Ramabalan, 2015)

ประสิทธิภาพการแปรรูปวัสดุชิ้นงานสำหรับการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและปัจจัยในการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น ชนิดของวัสดุอิเล็กโทรด วัสดุชิ้นงานและโดยเฉพาะอย่างยิ่งพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแปรรูป จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกัดโลหะด้วยไฟฟ้า พบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Barenji *et al.*, 2016) ศึกษาประสิทธิภาพการแปรรูปเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI D6 ด้วยวัสดุอิเล็กโทรดทองแดง พบว่าระยะเวลาการปล่อยกระแสไฟฟ้า (Pulse on-time) ที่ยาวนานส่งผลให้อัตราการกำจัดเนื้องาน (Material removal rate, MRR) มีค่าสูงขึ้นและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Electrode wear ratio, EWR) ลดต่ำลง ผลการทดลองของ (Pavani *et al.*, 2017) แสดงให้เห็นว่ากระแสไฟฟ้า (Current) ส่งผลต่ออัตราการกำจัดเนื้องานและคุณภาพผิวงาน

(Surface Quality, Ra) โดยตรง (Tanjilul *et al.*, 2018) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับระยะเวลาการปล่อยกระแสไฟฟ้า ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของช่องว่างในการแปรรูป (Gap clearance, GC) และระยะเวลาในการทำงาน (Machining time, MT) นอกจากนี้งานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสะสมของเศษอนุภาคเนื้องาน (Debris Particles) ที่หลุดออกมาระหว่างการกัดเซาะและความสามารถในการรักษาเสถียรภาพในบริเวณพื้นที่การสปาร์กได้รับการศึกษาและให้ความสนใจสำหรับงานวิจัยในปัจจุบันนี้

การหมุนอิเล็กโทรดเป็นอีกเทคนิคใหม่ที่ช่วยให้เกิดการไหลวนของไดอิเล็กทริกซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการกำจัดเศษเนื้องานออกจากช่องว่างการแปรรูป (Sapkhal and Jagtap, 2018) พบว่า การหมุนของอิเล็กโทรดขณะทำการแปรรูปสามารถเพิ่มอัตราการกำจัดเนื้องานและลดอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดได้ มากไปกว่านั้น การปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแท่งอิเล็กโทรดยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการแปรรูปได้ (Risto *et al.*, 2016) รวมไปถึงการปรับแต่งรูปทรงของวัสดุอิเล็กโทรดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแปรรูปยังคงได้รับความสนใจในช่วงเวลาที่ผ่าน มา (Kumar and Singh, 2019) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยเหล่านั้นไม่ได้บ่งชี้ถึงรูปแบบการปล่อยไดอิเล็กทริกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปรรูปโดยการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าและความสามารถในการแปรรูปด้านอื่นๆ ที่สำคัญ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการหมุนอิเล็กโทรดขณะการแปรรูปร่วมกับการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลาง

อิเล็กโทรด ทั้งแบบฉีดไดอิเล็กทริกผ่านอิเล็กโทรดไปยังพื้นที่สปาร์ก (Pressure flushing, PF) การดูดไดอิเล็กทริกออกจากพื้นที่การสปาร์กผ่านอิเล็กโทรด (Suction flushing, SUC) และการฉีดไดอิเล็กทริกด้านข้างอิเล็กโทรด (Side flushing, SF) เปรียบเทียบกับการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าแบบทั่วไปที่อิเล็กโทรดไม่หมุนและฉีดไดอิเล็กทริกด้านข้าง (Conventional side flushing, SF 0 rev) ทั้งนี้ประสิทธิภาพการทำงานประเมินจาก เวลาที่ใช้ในการแปรรูป อัตราการกำจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ในส่วนคุณภาพของชิ้นงานประเมินจาก ความหยาบผิวของผนังรูเจาะ และความแม่นยำในการแปรรูปประเมินจากช่องว่างที่เกิดจากการสปาร์กระหว่างผนังรูเจาะกับอิเล็กโทรด

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยฉบับนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการหมุนอิเล็กโทรดร่วมกับการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางสำหรับการเจาะรูเหล็กกล้าแม่พิมพ์พลาสติกเกรด AISI P20 เนื่องจากเหล็กกล้าแม่พิมพ์เกรดดังกล่าวมีคุณสมบัติด้านความเหนียว ด้านทานความร้อนและการกัดกร่อนทางเคมีที่ดี รวมไปถึงคุณสมบัติด้านการต้านทานการเกิดความล้าตัวขณะใช้งาน นอกจากนี้เหล็กกล้าแม่พิมพ์เกรด AISI P20 ยังสามารถแปรรูปได้ง่ายทั้งกรรมวิธีทางกลและทางความร้อน ทำให้นิยมถูกนำมาแปรรูปเป็นแม่พิมพ์พลาสติก ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าแม่พิมพ์พลาสติก เกรด AISI P20 (Dewangan *et al.*, 2015)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าแม่พิมพ์พลาสติก เกรด AISI P20

| ส่วนประกอบทางเคมี | C | Mn | Cr | Mo | Si | Cu | S | Fe |
|------------------------------|-----|----|-----|------|-----|------|-------|------|
| เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Wt) % | 0.4 | 1 | 1.2 | 0.35 | 0.4 | 0.25 | <0.03 | Bal. |

วัสดุอิเล็กทรอนิกส์โทรดทองแดงถูกนำมาใช้ในการแปรรูปชิ้นงานในงานวิจัยฉบับนี้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถแปรรูปได้ง่าย (Jaharah *et al.*, 2008) อีกทั้งมีอัตราการขจัดเนื้องานที่สูงสำหรับการแปรรูปวัสดุชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้า (Muthuramalingam and Mohan, 2013) ทั้งนี้ส่วนประกอบและเงื่อนไขต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองมีดังนี้

1. เครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์จับอิเล็กทรอนิกส์แบบหมุนพร้อมปล่อยสารไดอิเล็กทริกให้ไหลผ่านแกนกลางของอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งถูกติดตั้งเข้ากับเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้ายี่ห้อ Aristech รุ่น CNC EDM 430 (Taiwan) โดยแผนภาพและหลักการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 1

สำหรับหัวจับอิเล็กทรอนิกส์โทรดถูกสร้างขึ้นมาสำหรับจับอิเล็กทรอนิกส์ได้โตสุด 9.5 มิลลิเมตร และสามารถปรับความเร็วรอบโดยการปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าเพื่อควบคุมมอเตอร์สำหรับจับแกนเพลอิเล็กทรอนิกส์โทรด ซึ่งส่งถ่ายกำลังผ่านชุดสายพานฟันเฟือง ความเร็วการหมุนของอิเล็กทรอนิกส์โทรดสามารถปรับได้ในช่วง 10 ถึง 330 รอบต่อนาที ในส่วนของไดอิเล็กทริกสามารถไหลผ่านแกนกลางของอิเล็กทรอนิกส์โทรดโดยใช้ข้อต่อแบบหมุน (Rotary joint) และมีอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) เพื่อใช้ควบคุมปริมาณการไหลของไดอิเล็กทริกให้คงที่สำหรับทุกรูปแบบการทดลอง

ในการทดลองค่าความลึกในการกัดเซาะ (Machining depth) และเวลาที่ใช้ (Machining time)

ถูกบันทึกโดยตรงจากหน้าจอแสดงผลการทำงานของเครื่องจักรเพื่อใช้ในการคำนวณค่าอัตราการกำจัดเนื้องาน ในส่วนของปริมาตรเนื้องานที่ถูกกำจัดออกจะทำการประเมินโดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล ยี่ห้อ Jadever รุ่น SKY-150 (Taiwan) ซึ่งมีค่าความละเอียด 0.005 กรัม ระยะการสึกของอิเล็กทรอนิกส์โทรดจะทำการประเมินจากความต่างของอิเล็กทรอนิกส์โทรดก่อนและหลังการสปาร์คโดยใช้ไมโครมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัด ความหยาบผิวเฉลี่ยของผนังร่องจะทำการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว ยี่ห้อ Mahr รุ่น MarSurf PS1 (Germany) ขนาดของช่องว่างระหว่างอิเล็กทรอนิกส์โทรดกับผนังชิ้นงานที่เกิดจากการสปาร์คทำการตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ยี่ห้อ Olympus รุ่น STM6 (Japan)

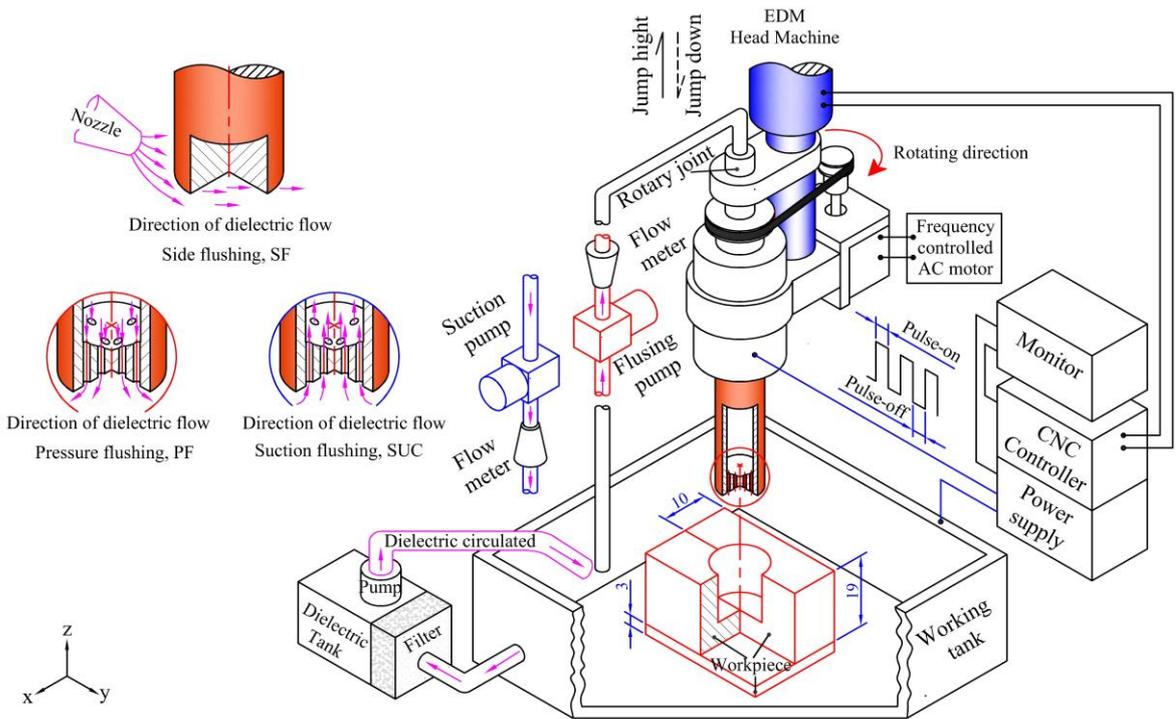
2. วัสดุชิ้นงานและอิเล็กทรอนิกส์โทรดที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าสำหรับสร้างแม่พิมพ์พลาสติกเกรด AISI P20 ขนาด $10 \times 25 \times 65$ มิลลิเมตร ผ่านการเจียรระไนปรับผิวเรียบ ในการทดลองชิ้นงาน 2 แผ่น (Plate 1, Plate 2) จะถูกนำมาประกบกันโดยมีแผ่นรอง (Plate 3) ที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร ประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดดังแสดงในภาพที่ 2 เพื่อใช้เป็นชิ้นงานสำหรับการเจาะรูลึก 27 มิลลิเมตร วัสดุอิเล็กทรอนิกส์โทรดที่ใช้เป็นทองแดงแท่งตัน (Copper electrode) ขนาด 9 มิลลิเมตร ประกอบด้วยอิเล็กทรอนิกส์โทรดแท่งตันแบบทั่วไปที่ใช้สำหรับการปล่อยไดอิเล็กทริกแบบฉีดด้านข้างอิเล็กทรอนิกส์โทรด (SF) และอิเล็กทรอนิกส์โทรดที่มีการเจาะรู (Modified electrode) เพื่อฉีดไดอิเล็กทริกไปยังบริเวณพื้นผิวที่สปาร์ค (PF) และเพื่อดูไดอิเล็กทริก

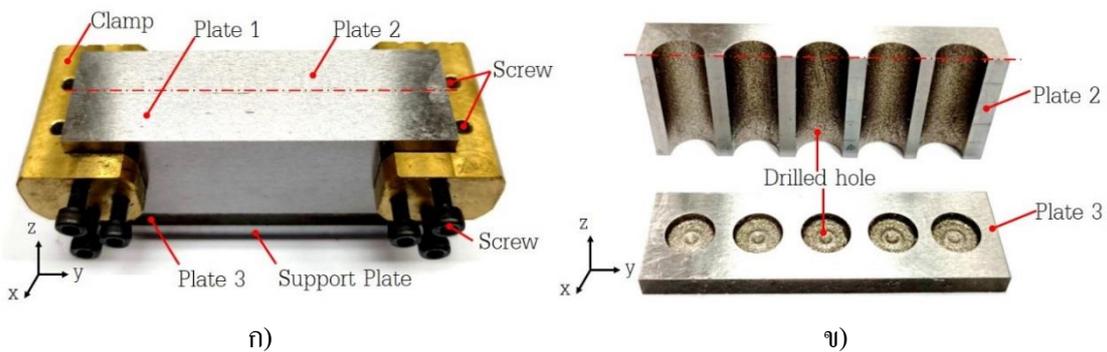
จากบริเวณพื้นผิวที่สปาร์กผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด (SUC) ดังแสดงในภาพที่ 1

การฉีดหรือดูด ไดอิเล็กทริกผ่านอิเล็กโทรด กระทำโดยการสลับทางการต่อท่อไดอิเล็กทริกเข้ากับ

ชุดปั๊ม ทั้งนี้ระบบไหลวน ไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลาง อิเล็กโทรดถูกออกแบบให้ทำงานแยกจากระบบการ ไหลวนและกรองไดอิเล็กทริกของถังโต๊ะงาน



ภาพที่ 1 การติดตั้งชิ้นงานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองบนเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า



ภาพที่ 2 ชิ้นงานเหล็กกล้า AISI P20 ที่ใช้ในการทดลอง
ก) การประกอบชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง ข) ชิ้นงานที่ถูกแยกชิ้นหลังจากการทดลอง

ตารางที่ 2 สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขการทดลอง

| สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขการทดลอง | รายละเอียด |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| ขั้วไฟฟ้าของอิเล็กโทรด (Polarity) | Anode (+) |
| แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Voltage) | 150 (โวลต์) |
| เวลาเปิด (Pulse on-time) | 150 (ไมโครวินาที) |
| เวลาปิด (Pulse off-time) | 2 (ไมโครวินาที) |
| กระแสไฟฟ้า (Discharge current) | 16 (แอมแปร์) |
| เวลาในการสปาร์ก (Working time) | 2 (วินาที) |
| ระยะในการยกอิเล็กโทรด (Jump height) or (Jump time) | 2 (มิลลิเมตร) or (0.75 วินาที) |
| ของเหลวไดอิเล็กทริก (Dielectric fluid) | DIEL MS 7000, TOTAL |
| อัตราการไหลของไดอิเล็กทริก | 0.75 (ลิตรต่อนาที) |
| ความเร็วรอบของอิเล็กโทรด (Rotational speed) | 30, 90, 150, 210, 270 (รอบต่อนาที) |
| รูปแบบการปล่อยไดอิเล็กทริก (Dielectric flushing) | Side flushing, Pressure flushing, Suction flushing |

3. สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขการทดลอง

การประยุกต์ใช้เทคนิคการหมุนอิเล็กโทรด ร่วมกับการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านอิเล็กโทรดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรด้วยการกัด โลหะด้วยไฟฟ้า โดยคงที่ระดับกระแสไฟฟ้า (Discharge current) ที่ 16 แอมแปร์ ทำการปรับตั้งค่า เวลาเปิด (Pulse on-time) ที่ระดับ 150 ไมโครวินาที และค่าเวลาปิด (Pulse off-time) ที่ระดับ 2 ไมโครวินาที ค่าตัวแปรเหล่านี้ได้มาจากการทดลองปรับตัวแปรซึ่งส่งผลให้เกิดอัตราการกำจัดเนื้องานสูงสุดจากการฉีด ไดอิเล็กทริกด้านข้างอิเล็กโทรดแบบทั่วไป (Jamkamon and Janmanee, 2014) สำหรับการปล่อยไดอิเล็กทริก ทุกรูปแบบในการทดลองกำหนดอัตราการไหลคงที่ 0.75 ลิตรต่อนาที และการหมุนของอิเล็กโทรดจะทำการปรับเปลี่ยนความเร็ว 5 ระดับ ประกอบด้วย 30, 90, 150, 210 และ 270 รอบต่อนาทีโดยสภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขการทดลองสรุปได้ดังแสดง ตารางที่ 2 ความเร็วรอบการหมุนของอิเล็กโทรดทำการกำหนดโดยคำนึงถึงระยะเวลาในการทำงาน (Working time, WT) กล่าวคือ อิเล็กโทรดที่สร้างขึ้น

สำหรับการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางมีรูเจาะ บนพื้นผิวอิเล็กโทรดที่ใช้ในการกัด โลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งตำแหน่งของรูเจาะจะหมุนครบ 360 องศาสำหรับ ทุกระดับความเร็วรอบก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะการยก อิเล็กโทรด (Jump time, JT) เป็นวัฏจักรจนถึงระดับ ความลึกของการกัดเซาะที่กำหนด (27 มิลลิเมตร)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

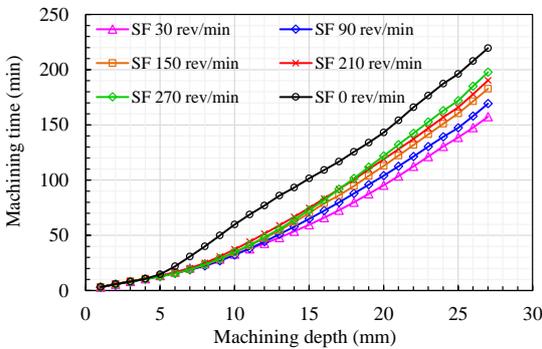
1. เวลาที่ใช้ในการเจาะรูและอัตราการกำจัดเนื้องาน

ในการทดลองปรับความเร็วรอบอิเล็กโทรด และการปล่อยไดอิเล็กทริกแบบฉีดด้านข้าง อิเล็กโทรด (SF) แบบฉีดผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด (PF) และดูดผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด (SUC) แสดงผลความสัมพันธ์ของระดับความลึกในการเจาะ กับเวลาที่ใช้ในการแปรรูปดังภาพที่ 3

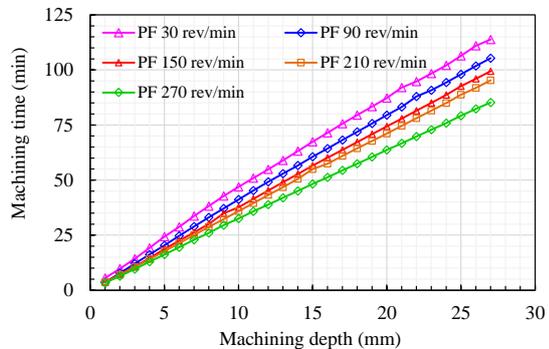
ภาพที่ 3 ก) แสดงผลการทดลองจากการ เจียรชิ้นงานแบบทั่วไป (อิเล็กโทรดไม่หมุน, SF 0 rev/min) และการเจาะรูโดยหมุนอิเล็กโทรดร่วมกับ ปล่อยไดอิเล็กทริกแบบฉีดด้านข้าง พบว่า เวลาที่ใช้ ในการเจาะรูชิ้นงานแบบทั่วไปเพิ่มขึ้นตามระดับ

ความลึกของรูเจาะเนื่องจากระดับความลึกของรูเจาะเพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการไหลของไดอิเล็กทริกผ่านพื้นที่การกัดเซาะลดลง ส่งผลให้เกิดเศษอนุภาคที่ต้องกำจัดออกในระหว่างการกัดเซาะตกค้างในบริเวณพื้นผิวการสปาร์คเป็นเหตุให้ไดอิเล็กทริกขาดความเสถียรทำการสปาร์คในวัฏจักรถัดไปมีความรุนแรงลดลงเนื่องจากเกิดการกระจายตัวของพลังงาน ทำให้การเจาะรูชิ้นงานลึก 27 มิลลิเมตร ต้องใช้เวลามากถึง 219.47 นาที ทั้งนี้เมื่อทำการฉีดไดอิเล็กทริกด้านข้างร่วมกับการปรับความเร็วในการ

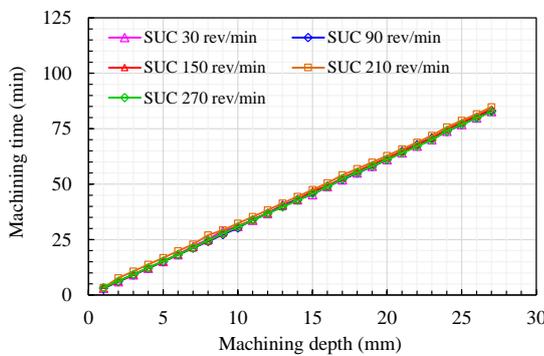
หมุนของอิเล็กโทรด 30, 90, 150, 210 และ 270 รอบต่อนาที พบว่า เวลาที่ใช้ในการเจาะรูเป็น 157.42, 169.15, 182.67, 190.17 และ 197.70 นาที ตามลำดับ ผลจากการทดลองนี้ทำให้สรุปได้ว่าเทคนิคการหมุนอิเล็กโทรดร่วมกับการฉีดไดอิเล็กทริกด้านข้างส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเจาะรูลดลง และมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ระดับความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรด 30 รอบต่อนาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเจาะรูลดลงสูงสุด 28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกัดเซาะแบบทั่วไป (คำนวณจาก $(100) \times ((219.47 - 157.42) / 219.47)$)



ก) การปล่อยไดอิเล็กทริกแบบฉีดด้านข้างอิเล็กโทรด



ข) แบบฉีดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด



ค) แบบดูดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของความลึกการกัดเซาะ เวลาที่ใช้ในการแปรรูป ความเร็วรอบของอิเล็กโทรดและรูปแบบการปล่อยไดอิเล็กทริก

ภาพที่ 3 ข) แสดงผลการทดลองจากการปรับความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรดโดยปล่อยไดอิเล็กทริกแบบฉีดผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด พบว่า เวลาที่ใช้ในการเจาะรูมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของรูเจาะ และการเพิ่มความเร็วในการหมุน

ของอิเล็กโทรดที่ 30, 90, 150, 210 และ 270 รอบต่อ นาที ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเจาะรูลึก 27 มิลลิเมตร ลดลงเป็น 113.75, 105.32, 99.40, 95.22 และ 85.20 นาที ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเจาะรูแบบทั่วไป พบว่า เวลาที่ใช้ในการเจาะรูลดลงสูงสุด 61

เปอร์เซ็นต์ (คำนวณจาก $(100)((219.47 - 85.20)/219.47)$) ที่ระดับความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรด 270 รอบต่อนาที

ภาพที่ 3 ค) แสดงผลการประยุกต์ใช้การหมุนอิเล็กโทรดร่วมกับการดูดสารไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลาง พบว่า เวลาที่ใช้ในการกัดเซาะเพิ่มขึ้นตามความระดับความถี่รูเจาะ และความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรดแทบจะไม่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการเจาะรู จากการปรับความเร็วรอบ 30, 90, 150, 210 และ 270 รอบต่อนาที พบว่า เวลาที่ใช้ในการเจาะรูลึก 27 มิลลิเมตร อยู่ที่ 82.73, 83.17, 83.77, 84.80 และ 82.60 นาที ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเจาะรูแบบทั่วไป พบว่า เวลาที่ใช้ในการเจาะรูลดลงสูงสุด 62 เปอร์เซ็นต์ (คำนวณจาก $(100)((219.47 - 82.60)/219.47)$) จากผลการทดลองเหล่านี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการดูดสารไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดทำให้สามารถกำจัดเศษอนุภาคโลหะออกพื้นที่การกัดเซาะและรักษาความเสถียรในการสปาร์คได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การกัดผ่านแกนกลางและฉีดสารไดอิเล็กทริกด้านข้างอิเล็กโทรด

อัตราการกำจัดเนื้องานในงานวิจัยฉบับนี้ คำนวณจากปริมาตรเนื้องานที่ถูกกำจัดออกต่อหน่วย

เวลาที่ใช้ในการแปรรูปดังสมการที่ 1 (Sapkal and Jagtap, 2018) จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการหมุนของอิเล็กโทรดร่วมกับการปล่อยสารไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4 พบว่า อัตราการกำจัดเนื้องานสำหรับการปล่อยไดอิเล็กทริกแบบฉีดด้านข้างอิเล็กโทรดมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้น โดยอัตราการกำจัดเนื้องานเพิ่มขึ้นสูงสุด 40 เปอร์เซ็นต์ (คำนวณจาก $(100)((12.21 - 8.70)/8.70)$) ที่ระดับความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรด 30 รอบต่อนาทีเมื่อเทียบกับการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าแบบทั่วไป ในส่วนของการฉีดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด พบว่าความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรด 30, 90, 150, 210 และ 270 รอบต่อนาที ส่งผลให้อัตราการกำจัดเนื้องานเพิ่มมากขึ้นตามลำดับเป็น 84, 99, 111, 120 และ 144 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าแบบทั่วไป ทั้งนี้อัตราการกำจัดเนื้องานจากการใช้เทคนิคการหมุนของอิเล็กโทรดร่วมกับการดูดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้นสูงสุด 154 ± 3 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรด

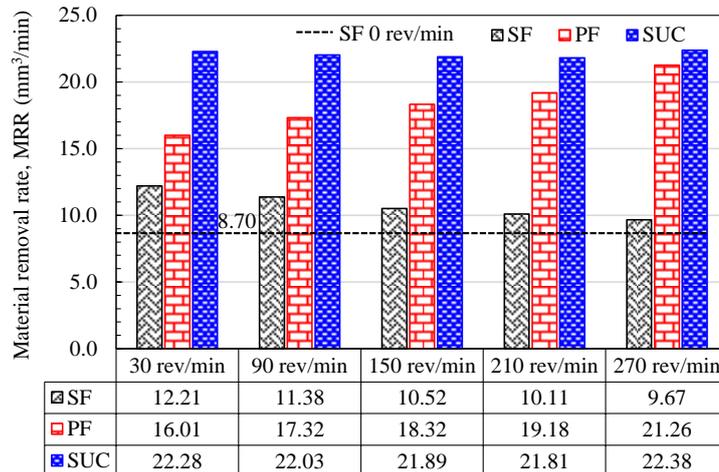
$$\text{Material removal rate} = ((M_1 - M_2) / (\rho \times t)) \times 10^3 \quad (1)$$

เมื่อ Material removal rate (MRR) คือ อัตราการกำจัดเนื้องาน (ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที), M_1 คือน้ำหนักของชิ้นงานก่อนการแปรรูป (กรัม), M_2 คือน้ำหนักของชิ้นงานหลังการแปรรูป (กรัม), ρ คือความหนาแน่นของเหล็กกล้า AISI P20 ($\rho = 7.775$ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และ t คือ เวลาที่ใช้ในการเจาะ (นาที)

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้เทคนิคการหมุนอิเล็กโทรดช่วยลดเวลาที่ใช้ในการแปรรูปรูเจาะ โดยความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการปล่อยไดอิเล็กทริกแบบฉีดด้านข้างอิเล็กโทรดอยู่ที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที ส่วนการฉีดสารไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดร่วมกับการหมุนอิเล็กโทรดทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของสารไดอิเล็กทริกและส่งผลให้อนุภาคเศษโลหะ

เคลื่อนตัวจากบริเวณแกนกลางของอิเล็กโทรดไปยังแนวรัศมีของรูเจาะทำให้การเพิ่มขึ้นของระดับความเร็วรอบของอิเล็กโทรดส่งเสริมให้เกิดการกำจัดอนุภาคของเศษโลหะออกจากบริเวณพื้นผิวที่สปาร์ก มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจากผลที่ได้พบว่ามีความ

สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Makenzi and Ikua, 2012) ทั้งนี้ในส่วนของการดูดโคอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดสามารถกำจัดเศษอนุภาคเนื้องานและรักษาความเสถียรในการกัดเจาะ โดยเป็นอิสระจากความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรด



ภาพที่ 4 อัตราการกำจัดเนื้องานจากการหมุนร่วมกับการปล่อยโคอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด

2. อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

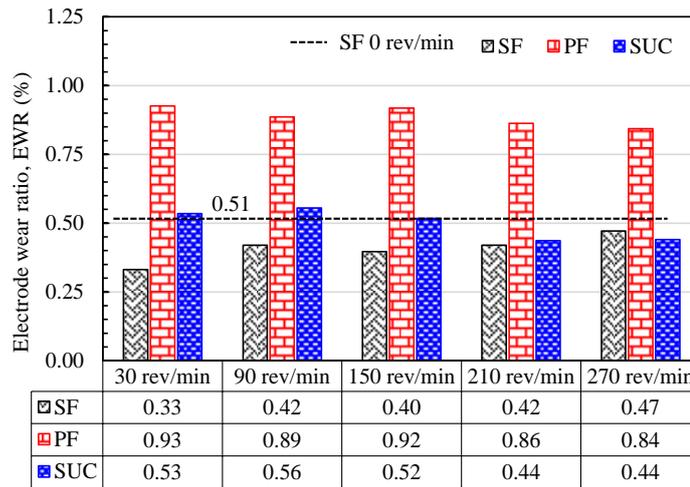
อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดในการทดลองนี้คำนวณจากระยะความยาวของอิเล็กโทรดที่สึกหรอต่อความระยะความลึกของรูเจาะแสดงดังสมการที่ 2 (Yilmaz and Okka, 2010) ผลจากการทดลองแสดงดังภาพที่ 5 พบว่า มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสูงสุดสำหรับการปล่อยโคอิเล็กทริกทุกรูปแบบมีค่าต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ การฉีดโคอิเล็กทริกด้านข้างอิเล็กโทรดมีแนวโน้มการสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้นตามระดับความเร็วรอบในการ

หมุนของอิเล็กโทรด ในขณะที่การสึกหรอของอิเล็กโทรดที่มีการดูดโคอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยโดยที่อัตราการสึกหรอของทั้งสองรูปแบบนี้แตกต่างกันน้อยมาก และมีอัตราการสึกหรอต่ำกว่าการกัดเจาะด้วยอิเล็กโทรดแบบธรรมดาที่ไม่มีการหมุนของอิเล็กโทรด แต่การฉีดโคอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดมีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดที่สูงกว่าการเจาะรูโดยปล่อยโคอิเล็กทริกแบบอื่นๆ

$$\text{Electrode wear ratio} = (\text{Consumed electrode in length} / \text{Depth of drilled hole}) \times (100) \quad (2)$$

เมื่อ Electrode wear ratio (EWR) คือ อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (เปอร์เซ็นต์), Consumed electrode in length คือ ระยะความยาวของอิเล็กโทรด

ที่สึกหรอ (มิลลิเมตร) และ Depth of drilled hole คือ ความลึกจริงบนชิ้นงาน (มิลลิเมตร)



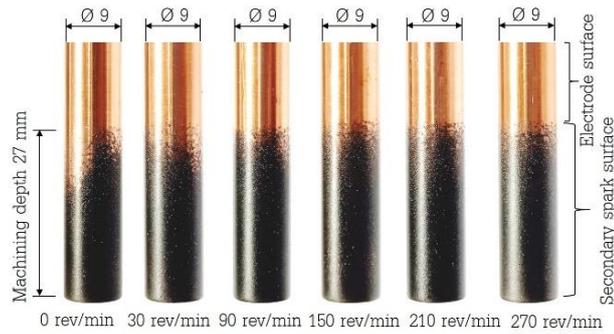
ภาพที่ 5 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดจากการหมุนร่วมกับการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด

อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดแบบฉีด ไดอิเล็กทริกด้านข้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรด เนื่องจากการหมุนของอิเล็กโทรดส่งผลให้เกิดการแรงเคลื่อนของไดอิเล็กทริกทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคเศษโลหะที่กำจัดออกกระจายตัวในช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดส่งผลให้เกิดการสปาร์คซ้ำด้านข้างอิเล็กโทรดตลอดความลึกของรูเจาะดังแสดงหลักฐานการเกิดการสปาร์คซ้ำในทดลองดังภาพที่ 6 ก) การเกิดการสปาร์คซ้ำที่ผนังด้านข้างเป็นเหตุให้ความรุนแรงในการสปาร์คบริเวณพื้นผิวส่วนปลายอิเล็กโทรดลดลงทำให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการสปาร์ค ทั้งนี้เมื่อทำการเจาะรูบนอิเล็กโทรดเพื่อปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางทำให้เกิดการสปาร์คซ้ำบนพื้นผิวด้านข้างอิเล็กโทรดลดลงเนื่องจากการกำจัดเศษเนื่องงานออกจากพื้นที่การสปาร์คมีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งผลแสดงดังภาพที่ 6 ข) และ ค)

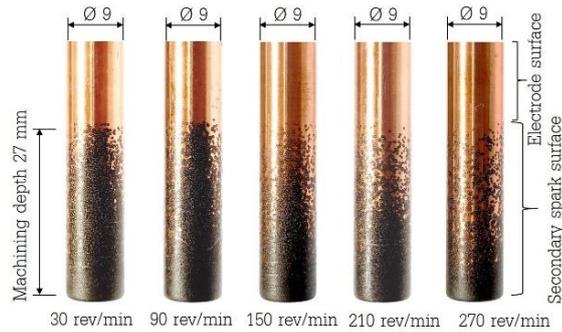
อย่างไรก็ตามการลดลงของการสปาร์คซ้ำบนผนังด้านข้างอิเล็กโทรดที่ปล่อยไดอิเล็กทริกผ่าน

แกนกลางทำให้ความรุนแรงของการสปาร์คในพื้นที่หลัก (การสปาร์คที่ผนังด้านข้างของปลายอิเล็กโทรด) เพิ่มขึ้นและส่งผลให้การสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการเจาะรูบนอิเล็กโทรดทำให้พื้นที่ของอิเล็กโทรดที่ใช้ในการสปาร์คลดลง

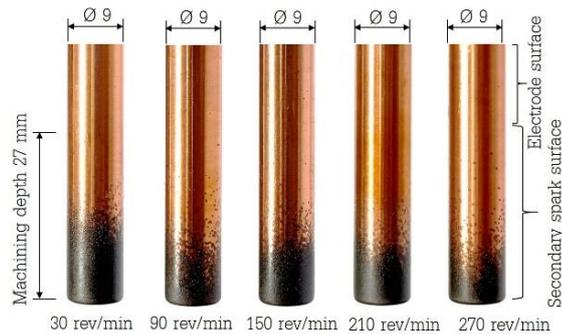
ในส่วนของการดูดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดมีอัตราการสึกหรอที่ต่ำกว่าการฉีดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดอาจมีสาเหตุมาจากการดูดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางทำให้เศษอนุภาคที่กระจายอยู่ด้านข้างอิเล็กโทรดถูกดูดกลับเข้ามายังแกนกลางของอิเล็กโทรดทำให้เศษโลหะเกิดการเคลื่อนตัวผ่านในบริเวณพื้นผิวการสปาร์คหลักของอิเล็กโทรด ส่งผลให้ความรุนแรงในการสปาร์คในบริเวณส่วนปลายของอิเล็กโทรดลดลง ในขณะเดียวกัน การกำจัดเศษโลหะจากพื้นผิวด้านข้างอิเล็กโทรดมีความสมบูรณ์มากขึ้นทำให้มีความเป็นไปได้ที่การสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง สามารถสังเกตได้จากการสปาร์คซ้ำที่พื้นผิวด้านข้างที่ลดลงในภาพที่ 6 ก)



ก) พื้นผิวอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองสำหรับการกัดไดอิเล็กทริกด้านข้างอิเล็กโทรด



ข) พื้นผิวอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองสำหรับการกัดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด



ค) พื้นผิวอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองสำหรับการกัดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด

ภาพที่ 6 ลักษณะพื้นผิวอิเล็กโทรดที่ผ่านการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับเจาะรูลึก 27 มิลลิเมตร

3. คุณภาพของรูเจาะ

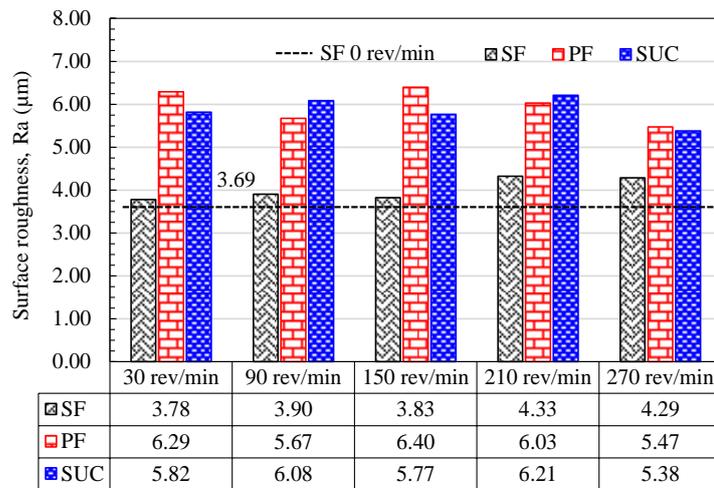
คุณภาพผิวงานของผนังรูเจาะจากการวัดความหยาบผิวเฉลี่ยแสดงผลดังภาพที่ 7 จากผลการประเมิน พบว่า การสปาร์กโดยการฉีดสารไดอิเล็กทริกด้านข้างอิเล็กโทรด ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำกว่าการปล่อยไดอิเล็กทริกแบบอื่นๆ และเทคนิคการหมุนอิเล็กโทรดมีแนวโน้มส่งผลให้เกิดความหยาบผิวเฉลี่ยสูงกว่าการเจาะรูด้วยอิเล็กโทรดแบบธรรมดา เนื่องจากอิทธิพลของการหมุนอิเล็กโทรดและการปล่อยสารไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด

เป็นการเร่งให้เศษอนุภาคของโลหะเคลื่อนตัวออกจากพื้นผิวการสปาร์ก ส่งผลให้การสปาร์กซ้าบนผนังรูเจาะลดลงและหลงเหลือพื้นผิวที่มีความเสียหายจากการสปาร์กอย่างรุนแรง

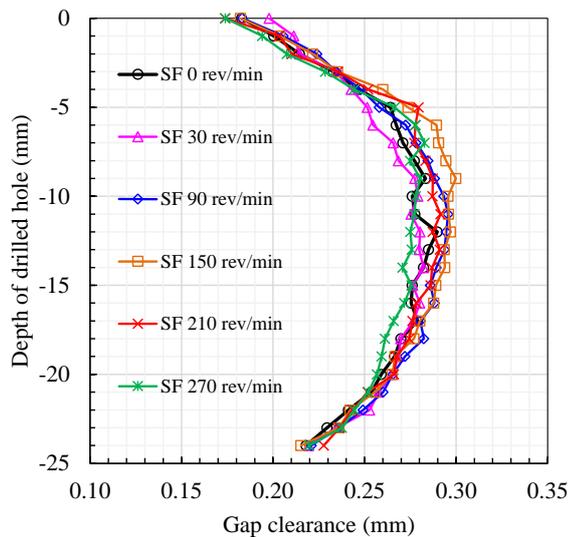
คุณภาพของรูเจาะ ประเมินจากการวัดระยะห่างของช่องว่างระหว่างผิวอิเล็กโทรดกับผนังรูเจาะแสดงดังภาพที่ 8 ผลจากการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่า ระยะห่างของผนังอิเล็กโทรดกับรูเจาะไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของอิเล็กโทรด แต่รูปแบบการปล่อยไดอิเล็กทริกส่งผลกระทบโดยตรงต่อ

ลักษณะของผนังรูเจาะและระยะห่างของช่องว่างที่เกิดจากการสปาร์ค การปล่อยไดอิเล็กทริกแบบชนิดด้านข้างอิเล็กโทรดทำให้เกิดพื้นผิวรูเจาะที่มีลักษณะโค้งเว้าเข้าไปในเนื้อชิ้นงานดังแสดงในรูป 8 ก) ซึ่งระยะห่างสูงสุดโดยอ้างอิงจากขอบอิเล็กโทรดถึงผนังชิ้นงานสำหรับทุกระดับความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรดมีค่าอยู่ในช่วง 0.282 ถึง 0.300 มิลลิเมตร

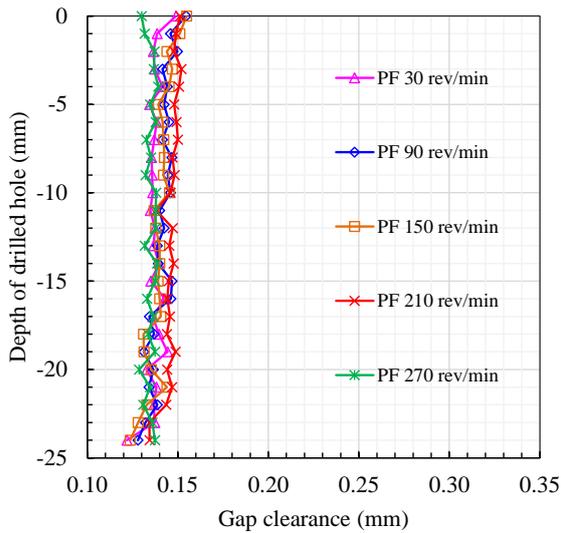
แกนกลางอิเล็กโทรด พบว่า ลักษณะของผนังมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและมีระยะห่างระหว่างพื้นผิวอิเล็กโทรดกับผิวชิ้นงานมีค่าอยู่ในช่วง 0.139 ถึง 0.155 มิลลิเมตร สำหรับการฉีดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดดังแสดงผลในรูป 8 ข) และมีค่าอยู่ในช่วง 0.156 ถึง 0.171 มิลลิเมตร สำหรับการฉีดไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดดังแสดงผลในรูป 8 ค)



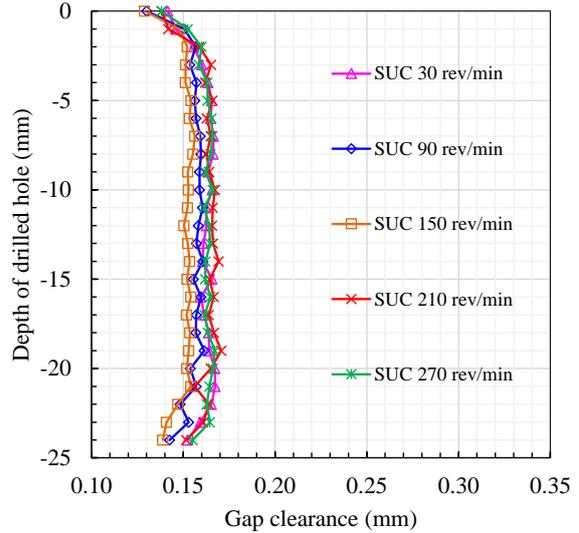
ภาพที่ 7 ความหยาบผิวเฉลี่ยของผนังรูเจาะ



ก) การปล่อยไดอิเล็กทริกแบบชนิดด้านข้างอิเล็กโทรด



ข) แบบชนิดไดอิลี่ทริกผ่านแกนกลางอิลี่ทริด



ค) แบบดูดไดอิลี่ทริกผ่านแกนกลางอิลี่ทริด

ภาพที่ 8 ระยะห่างของช่องว่างที่เกิดจากการกัดโลหะด้วยไฟฟ้า

จากผลการวิจัยนี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการกัดไดอิลี่ทริกด้านข้างส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาผิวต่ำเนื่องจากการเกิดการสปาร์คข้างบนผนังของรูเจาะ อย่างไรก็ตามการสปาร์คข้างดังกล่าวส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการแปรรูปทางด้านขนาดและรูปทรงซึ่งผลจากการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Murray et al., 2012) ทั้งนี้ความแม่นยำในการแปรรูปเพิ่มขึ้นเมื่อใช้การปล่อยไดอิลี่ทริกผ่านแกนกลางอิลี่ทริดแต่ความหนาผิวชิ้นงานจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการกำจัดอนุภาคเศษโลหะที่มีประสิทธิภาพทำให้การสปาร์คข้างบริเวณด้านข้างหรือผนังของรูเจาะลดลง

การประยุกต์ใช้เทคนิคการหมุนอิลี่ทริดร่วมกับการปล่อยไดอิลี่ทริกผ่านแกนกลางอิลี่ทริดช่วยลดเวลาในการเจาะรูชิ้นงานเนื่องจากการอนุภาคโลหะที่เกิดจากการกัดเซาะสามารถเคลื่อนตัวออกจากพื้นผิวการสปาร์คได้ง่ายขึ้น ดังสังเกตได้จากพื้นผิวอิลี่ทริดที่เกิดจากการสปาร์คข้างและการโค้งเว้าของผนังรูเจาะลดลงเมื่อเทียบกับการปล่อยไดอิลี่ทริกแบบชนิดด้านข้างอิลี่ทริด การลดลงของการสปาร์คข้างบนผนังด้านข้างรูเจาะส่งผล

ให้อัตราการกำจัดเนื้องานเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสปาร์คโดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพื้นที่การสปาร์คหลักในส่วนปลายของอิลี่ทริด และความหนาผิวของผนังรูเจาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการกำจัดเนื้องาน การเจาะรูอิลี่ทริดเพื่อกัดไดอิลี่ทริกผ่านแกนกลางทำให้อัตราการสึกหรอของอิลี่ทริดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของอิลี่ทริดลดลง อย่างไรก็ตามอัตราการสึกหรอของอิลี่ทริดที่ปล่อยไดอิลี่ทริกแบบดูดผ่านแกนกลางอิลี่ทริดมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากพลังงานของเศษโลหะบริเวณโดยรอบถูกดูดเข้าหาแกนกลางของอิลี่ทริดตลอดเวลาทำให้เกิดการสปาร์คผ่านอนุภาคเศษโลหะซึ่งช่วยลดความรุนแรงของการกัดเซาะบนพื้นผิวอิลี่ทริดเป็นเหตุให้การสึกกร่อนลดลง

สรุป

การทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการหมุนอิลี่ทริดร่วมกับการปล่อยไดอิลี่ทริกผ่านแกนกลางอิลี่ทริดสรุปได้ดังนี้

1. การใช้เทคนิคการหมุนอิเล็กโทรดร่วมกับการฉีดไดอิเล็กทริกด้านข้างส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการแปรรูปลดลงเมื่อเทียบกับการเจาะรูแบบทั่วไป อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการเจาะจะเพิ่มสูงขึ้นตามความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรด

2. การปล่อยไดอิเล็กทริกแบบดูดผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยการลดเวลาที่ใช้ในการเจาะรูได้สูงสุด 62 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการกำจัดเนื้องานเพิ่มขึ้นสูงถึง 154 ± 3 เปอร์เซ็นต์โดยไม่ขึ้นอยู่ด้วยความเร็วการหมุนของอิเล็กโทรด ในส่วนของการปล่อยไดอิเล็กทริกแบบฉีดผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดสามารถลดเวลาในการเจาะรูได้สูงสุด 61 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการกำจัดเนื้องานเพิ่มขึ้นสูงถึง 144 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเร็วการหมุนของอิเล็กโทรด 270 รอบต่อนาที เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าแบบทั่วไป

3. การสึกหรอของอิเล็กโทรดสำหรับทุกการทดลองมีค่าต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการสึกหรอของการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วในการหมุนของอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้น

4. การปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดเป็นการเร่งกำจัดอนุภาคเศษโลหะออกจากพื้นที่การสปาร์คส่งผลให้เกิดความรุนแรงของการกัดเซาะที่ส่วนปลายอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้นโดยที่การสปาร์คซ้ำบนพื้นผนังรูเจาะลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานในรูปแบบของความหยาบผิวเฉลี่ยไม่ถูกปรับปรุงโดยการปล่อยไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรด อย่างไรก็ตามการลดลงของการสปาร์คซ้ำส่งผลให้การโก่งของผนังรูเจาะลดลงและช่องว่างระหว่างผิวอิเล็กโทรดโดยเฉลี่ยลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.)

เอกสารอ้างอิง

- Barenji, R.V., Pourasl, H.H. and Khojastehzhad, V.M. 2016. Electrical discharge machining of the AISI D6 tool steel: Prediction and modeling of the material removal rate and tool wear ratio. **Precision Engineering** 45: 435-444.
- Choudhary, S.K. and Jadoun, R.S. 2014. Current advanced research development of electric discharge machining (EDM): a review. **International Journal of Research in Advent Technology** 2(3): 273-297.
- Dewangan, S., Gangopadhyay, S. and Biswas, C.K. 2015. Multi-response optimization of surface integrity characteristics of EDM process using grey-fuzzy logic-based hybrid approach. **Engineering Science and Technology, an International Journal** 18: 361-368.
- Jamkamon, K. and Janmanee, P. 2014. Deep hole of AISI P20 mold steel material by electrical discharge machining. **Applied Mechanics and Materials** 590: 244-248.
- Jaharah, A.G., Liang, C.G., Wahid, S.Z., Rahman, A. and Hassan, C.H. 2008. Performance of copper electrode in electrical discharge machining (EDM) of AISI H13 harden

- steel. **International Journal of Mechanical and Materials Engineering** 3(1): 25-29.
- Jeevamalar, J. and Ramabalan, S. 2015. Die sinking EDM process parameters: a review. **International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research** 4(1): 315-326.
- Kumar, R. and Singh, I. 2019. A modified electrode design for improving process performance of electric discharge drilling. **Journal of Materials Processing Technology** 264: 211-219.
- Makenzi, M.M. and Ikua, B.W. 2012. A review of flushing techniques used in electrical discharge machining, pp. 162-165. *In Proceedings of the 2012 Mechanical Engineering Conference on Sustainable Research and Innovation Conference*. Africa Institute for Capacity Development (AICAD), Juja, Kenya.
- Murray, J., Zdebski, D. and Clare, A.T. 2012. Workpiece debris deposition on tool electrodes and secondary discharge phenomena in micro-EDM. **Journal of Materials Processing Technology** 212(7): 1537-1547.
- Muthuramalingam, T. and Mohan, B. 2013. Influence of tool electrode properties on machinability in spark erosion machining. **Materials and manufacturing processes** 28(8): 939-943.
- Pavani, P.N.L., Rao, R.P. and Santa Rao, K. 2017. Performance assessment and mathematical modeling of process parameters in electrical discharge machining of EN-31 tool steel material using taguchi DOE. **Engineering Journal** 21(2): 227-236.
- Risto, M., Haas, R. and Munz, M. 2016. Optimization of the EDM drilling process to increase the productivity and geometrical accuracy. **Procedia CIRP** 42(1): 537-542.
- Sapkal, S.U. and Jagtap, P.S. 2018. Optimization of micro EDM drilling process parameters for titanium alloy by rotating electrode. **Procedia Manufacturing** 20: 119-126.
- Tanjilul, M., Ahmed, A., Kumar, A.S. and Rahman, M. 2018. A study on EDM debris particle size and flushing mechanism for efficient debris removal in EDM-drilling of Inconel 718. **Journal of Materials Processing Technology** 255: 263-274.
- Yilmaz, O. and Okka, M.A. 2010. Effect of single and multi-channel electrodes application on EDM fast hole drilling performance. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** 51: 185-194.