

อิทธิพลของการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกในกระบวนการกัดเจาะโลหะด้วยไฟฟ้าที่ส่งผลต่อ ความสามารถสำหรับการเจาะรูขนาดเล็กบนวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 Influence of Dielectric Flushing in Electrical Discharge Machining Process on the Machinability for Small Hole Drilling on AISI P20 Tool Steel

เชษฐา หนูนเหลือง¹, ภูมิภัทร วงษ์ปิตรีตัน², ไพบุลย์ หาญมนต์³, เอกชัย รอดพิสา⁴,
สัญญา คำจริง⁵ และ เจษฎา แก้ววิชิต^{6*}

^{1,2,3,4}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร จังหวัดกรุงเทพฯ 12120

⁵สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์นนทบุรี)

217 ถนนนนทบุรี ตำบลสวนใหญ่ อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000

⁶สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์สุพรรณบุรี)

450 ม. 6 ถนนสุพรรณบุรี-ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชูก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

Chedtha Noonluang¹, Pumpat Wongpitirut², Phaiboon Hanmon³, Ekkachai Rodpisa⁴,

Sanya Kumjing⁵ and Jesada Kaewwichit^{6*}

^{1,2,3,4}Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglin Chi Rd., Thung Mahamek, Sathorn, Bangkok, 10120

⁵Department of Tool and Die Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi (Nonthaburi),

217, Nonthaburi Rd., Suanyai Sub-district, Nonthaburi District, Nonthaburi Province, 11000

⁶Department of Industrial Engineering, Faculty of Technical Education,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi (Suphanburi),

450 M.6, Suphanburi-Chainat Rd., Yanyao Sub-district, Samchuk District, Suphanburi Province, 72130

*Corresponding author Email: Jesada.ka@rmutsb.ac.th

(Received: May 10, 2025 / Revised: June 15, 2025 / Accepted: June 17, 2025)

บทคัดย่อ

การเจาะรูขนาดเล็กเป็นสิ่งที่ทำได้ยากในกระบวนการเจาะด้วยเครื่องมือกลเนื่องจากเครื่องมือคมตัดต้องการความเร็วรอบในการหมุนที่สูงและง่ายต่อการเกิดความเสียหายของเครื่องมือคมตัด การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีทำให้เกิดเครื่องจักรสมัยใหม่ที่อาศัยการควบคุมพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าทำให้เกิดการสปาร์กภายใต้การปกคลุมด้วยของเหลวไดอิเล็กทริก กระบวนการดังกล่าวจะใช้เครื่องมือเป็นเป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่าอิเล็กโทรดทำการสปาร์กกับวัสดุชิ้นงานภายใต้การขวางกันที่เป็นของเหลวไดอิเล็กทริก ทำให้สมบัติทางกลของวัสดุไม่ส่งผลต่อความสามารถในการแปรรูปของวัสดุชิ้นงาน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกที่ส่งผลต่อความสามารถในการเจาะรูขนาดเล็กในกระบวนการกัดเจาะโลหะด้วยไฟฟ้า โดยท่อทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร (รูโน้ต 0.40 มิลลิเมตร) ทำการเจาะทะลุลงบนวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้า AISI P20 มีความหนา 25 มิลลิเมตร โดยควบคุมการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกโดยการฉีดผ่านแกนกลาง และการฉีดผ่านแกนกลางร่วมกับการฉีดด้านข้าง ทั้งในรูปแบบที่มีการปกคลุมและไม่มีการปกคลุมพื้นผิวชิ้นงาน

ด้วยของเหลวไดอิเล็กทริก ทั้งนี้ผลจากการทดลอง พบว่า การฉีดของเหลวไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางร่วมกับการฉีดด้านข้างมีอัตราการขจัดเนื้องานที่สูงกว่าการเจาะแบบทั่วไป และการปกคลุมด้วยของเหลวไดอิเล็กทริกจะส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มสูงขึ้นแต่ขนาดความแตกต่างของรูเจาะฝั่งขาเข้ากับฝั่งทางออกจะลดต่ำลง

คำสำคัญ: การกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า, การเจาะรูขนาดเล็ก, ของเหลวไดอิเล็กทริก

Abstract

Drilling small holes is difficult to produce conventional machining process due to the requirement of high rotational speed of spindle and easily damage of drilled bite cutting tool. Technological developments have led to modern machinery that uses electrical parameter control to induce sparks under cover of dielectric fluid. The machining process uses an electrically conductive tool, called an electrode, to spark with the specimen under the dielectric fluid barrier, so that the mechanical properties of the workpiece do not affect the machinability of the material removed. This research is to study the influence of dielectric fluid discharge flushing pattern on the ability of small-hole drilling in the process of electrical discharge machining. Brass tubes with a diameter of 1 mm (0.40 mm inner diameter) were drilled into AISI P20 tool steel. The work material is a thickness of 25 mm. Controlling of dielectric fluid injection is flowed through the core and combined with side flushing for both with and without covering the workpiece surface with dielectric fluid. The experimental results found that the injection of dielectric fluid through the core combined with side flushing has a higher material removal rate than the conventional electrical discharge machining. However, the covering with dielectric fluid resulted in higher electrode wear ratio but the difference size of inlet and outlet holes was reduced.

Keywords: Electrical discharge machining, Small hole drilling, Dielectric fluid

1. บทนำ

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมการผลิตได้มีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยและหลากหลายเข้ามาใช้โรงงานอุตสาหกรรมเพื่อทำการลดต้นทุน, ลดเวลา, เพิ่มผลผลิต และตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมการผลิต [1] การกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า (Electrical discharge machining, EDM) เป็นหนึ่งในกระบวนการที่นิยมใช้สำหรับการแปรรูปชิ้นงานที่มีความแข็งแรงและยากต่อการแปรรูปด้วยกระบวนการทางกล [2,3] นอกจากนี้ยังมีการเจาะรูขนาดเล็กโดยการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า (Small-hole EDM drilling) [4] เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต เช่น ชิ้นส่วนเครื่องจักร, ชิ้นส่วนยานยนต์, แม่พิมพ์ และอื่นๆ โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นการแปรรูปโลหะด้วยทออิเล็กโทรดที่อาศัยความร้อนจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าจากการอาร์กกระหว่างอิเล็กโทรดกับวัสดุชิ้นงานทำให้การหลอมละลายของเนื้อโลหะออกเป็นอนุภาคขนาดเล็ก [5] กระบวนการนี้เป็นที่นิยมใช้กันในการแปรรูปวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ [6] หรือวัสดุที่มีความแข็งแรงค่อนข้างสูงที่ยากต่อการตัดเฉือนเพื่อลดโอกาสการเกิดรอยแตกร้าวของวัสดุชิ้นงาน [7]

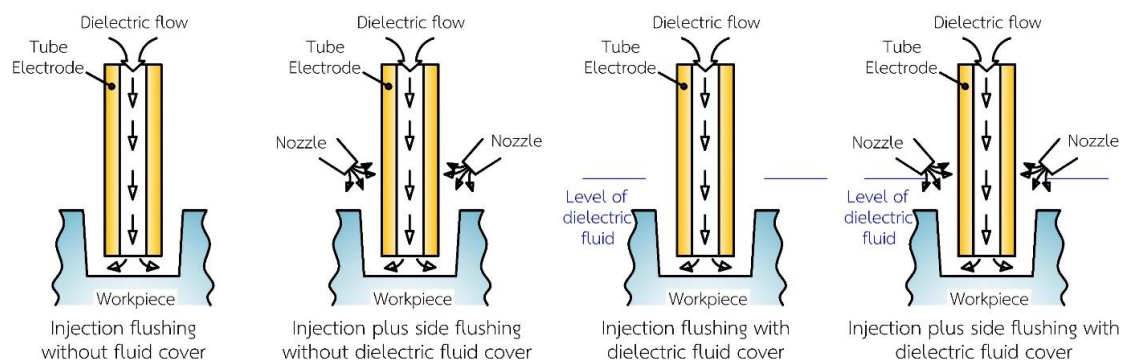
ในช่วงที่ผ่านมาได้มีการศึกษาค้นคว้าและทดลองเพื่อสร้างความเข้าใจและเพิ่มขีดความสามารถในการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าในหลากหลายแนวทาง โดย K. Jamkamon และคณะ [8] ได้ทำการควบคุมพารามิเตอร์ กระแส (Discharge current) เวลาเปิด (Pulse on time) เวลาปิด (Pulse off time) และแรงดันของเหลวไดอิเล็กทริก (Dielectric flushing

pressure) ในการเจาะรูขนาดเล็กด้วยกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้ท่ออิเล็กโทรดขนาด 1 มิลลิเมตร สำหรับการเจาะเหล็กกล้าเครื่องมือหนา 40 มิลลิเมตร โดยผลจากการศึกษา พบว่า ความเร็วที่ใช้ในการเจาะและการสึกหรอของอิเล็กโทรดจะเพิ่มขึ้นตามระดับกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้เวลาในการเจาะและการสึกหรอของอิเล็กโทรดจะลดลงเมื่อเวลาเปิดเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ขนาดความแตกต่างของรูเจาะขาเข้าและขาออกมีการเปลี่ยนแปลงตามการควบคุมพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า Z. Wang และคณะ [9] ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการฉีดของเหลวไดอิเล็กทริกสำหรับการเจาะรูขนาดเล็กโดยการวิเคราะห์การไหลตัวของเศษอนุภาค โดยจากการทดลอง พบว่า การไหลสำหรับของเหลวไดอิเล็กทริกในช่วงก่อนที่จะเกิดการทะลุของชิ้นงานจะทำให้เกิดความต่างของขนาดรูเจาะฝั่งขาเข้าและออก ทั้งนี้การปรับปรุงประสิทธิภาพการไหลสำหรับของเหลวไดอิเล็กทริกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเจาะรูด้วยกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นอย่างมาก W. Liang [10] ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการขับป้อนเซอร์โวมอเตอร์เพื่อควบคุมช่วงว่างในการปล่อยประจุกระแสไฟฟ้าสำหรับการเจาะรูขนาดเล็กอย่างรวดเร็ว โดยจากผลการทดลองแปรรูปแบบของการควบคุมไฟฟ้าเพื่อจ่ายไปยังมอเตอร์ขับป้อนจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มสูงขึ้นถึง 38.1 เปอร์เซ็นต์

โดยทั่วไปกระบวนการเจาะมีจุดมุ่งหมายทำให้วัสดุชิ้นงานต่างๆ เกิดรูที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรง ซึ่งการเจาะรูขนาดเล็กโดยการกัดเซาะโลหะไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการเจาะรูขนาดเล็กของวัสดุชิ้นงาน โดยการตัดเฉือนด้วยการปล่อยกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นการอาศัยความร้อนที่เกิดจากการอาร์กของท่ออิเล็กโทรดกับวัสดุชิ้นงานโดยที่ผิววัสดุชิ้นงานและพื้นผิวของท่ออิเล็กโทรดไม่สัมผัสกันจึงทำให้ไม่เกิดแรงทางกลในการแปรรูปส่งผลให้ความสามารถในการแปรรูปของวัสดุชิ้นงาน แต่อย่างไรก็ตามการหลอมละลายของทั้งวัสดุอิเล็กโทรดและชิ้นงานทำให้ความรุนแรงที่เกิดจากการสปาร์คจะปรากฏเป็นลักษณะพื้นผิวของวัสดุชิ้นงานซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำตลอดจนความเที่ยงตรงทางด้านรูปทรงของชิ้นงาน อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันนี้ [1-10] มีการศึกษาน้อยมากที่สามารถบ่งชี้ถึงอิทธิพลของรูปแบบการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกที่ส่งผลต่อความสามารถในการแปรรูปของเครื่องจักร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกที่ส่งผลต่อความสามารถในการเจาะรูขนาดเล็กในกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า

2. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินรูปแบบการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานสำหรับการเจาะรูขนาดเล็กด้วยกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า โดยการควบคุมการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกจะมี 4 รูปแบบ ประกอบด้วย การปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกโดยการฉีดผ่านแกนอิเล็กโทรดปราศจากการปกคลุมด้วยของเหลวไดอิเล็กทริก (Injection flushing without dielectric fluid cover) การปล่อยของเหลวโดยการฉีดผ่านแกนอิเล็กโทรดรวมกับการฉีดด้านข้างปราศจากการปกคลุมด้วยของเหลวไดอิเล็กทริก (Injection plus side flushing without dielectric fluid cover) การปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกโดยการฉีดผ่านแกนอิเล็กโทรดภายใต้การปกคลุมด้วยของเหลวไดอิเล็กทริก (Injection flushing with dielectric fluid cover) และการปล่อยของเหลวโดยการฉีดผ่านแกนอิเล็กโทรดรวมกับการฉีดด้านข้างภายใต้การปกคลุมด้วยของเหลวไดอิเล็กทริก (Injection plus side flushing with dielectric fluid cover) ดังแสดงรูปที่ 1



รูปที่ 1 การควบคุมการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกและการประเมินผล

ทั้งนี้จะประเมินผลของการควบคุมของเหลวไดอิเล็กทริกที่มีต่อความสามารถในการแปรรูปจากอัตราการกัดเนื้องาน (Material removal rate, MRR) อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโทรด (Electrode wear ratio, EWR) และความสมบูรณ์ของรูเจาะจากการตรวจวัดขนาดรูเจาะขาเข้า (Inlet hole) และรูเจาะขาออก (Outlet)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

การทดลองเพื่อประเมินอิทธิพลของการควบคุมของเหลวไดอิเล็กทริกที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานในการแปรรูปวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ กระทำบนเครื่องกัดเซาะด้วยไฟฟ้ายี่ห้อ JOEMARS รุ่น JM325D โดยวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด AISI P20 [11] จะถูกจับยึดบนโต๊ะงานด้วยปากกา และท่ออิเล็กโทรดขนาด 1 มิลลิเมตร (รูในโต 0.40 มิลลิเมตร) จะถูกติดตั้งบนจับอิเล็กโทรดและขับเคลื่อนสำหรับการเจาะรูทะลุบนวัสดุชิ้นงานที่มีความหนา 25 มิลลิเมตร วัสดุชิ้นงานจะอยู่ในถังโต๊ะงานที่สามารถควบคุมระดับของปริมาณของเหลวไดอิเล็กทริกที่ปกคลุมพื้นผิวชิ้นงาน (Level of dielectric fluid) และการฉีดด้านข้างผ่านท่อ (Nozzle) ใน 4 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 2 ในส่วนของพารามิเตอร์ควบคุมในการทดลองถูกควบคุมระดับตามคู่มือแนะนำการใช้งานของเครื่องจักร ประกอบด้วย ระดับกระแสไฟฟ้า 25 แอมแปร์ เวลาเปิด 32 ไมโครวินาที เวลาปิด 12 ไมโครวินาที และสภาวะแวดล้อมการทำงานอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้ท่ออิเล็กโทรดใหม่และทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้งสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลอง



รูปที่ 2 การทดลองเจาะรูขนาดเล็กบนโต๊ะงานเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า

ตารางที่ 1 เงื่อนไขและสภาวะแวดล้อมในการทดลอง

เงื่อนไขการทดลอง	รายละเอียด
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	25
เวลาเปิด (ไมโครวินาที)	32
เวลาเปิด (ไมโครวินาที)	12
แรงดันของเหลวไดอิเล็กทริกผ่านแกน (kg/cm ³)	70
ขนาดท่ออิเล็กทรอนิกส์โทรดทองเหลือง (มิลลิเมตร)	1
การปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริก	- Injection flushing without dielectric fluid cover - Injection plus side flushing without dielectric fluid cover - Injection flushing with dielectric fluid cover - Injection plus side flushing with dielectric fluid cover

2.2. การประเมินผล

อิทธิพลของการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจาะรูขนาดเล็กโดยการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าประเมินจาก อัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด และขนาดรูเจาะฝังเข้าและออก โดยอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) จะถูกประเมินอยู่ในรูปของปริมาณเนื้องานที่ถูกขจัดออกต่อหน่วยเวลาที่ใช้ ดังแสดงในสมการที่ (1) และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดประเมินอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรอิเล็กโทรดที่สึกหรอต่อปริมาตรวัสดุเนื้องานที่ขจัดออกดังสมการที่ (2) ขนาดความโตรูเจาะทั้งขาเข้าและขาออก รวมทั้งลักษณะพื้นผิวชิ้นงานและอิเล็กโทรดจะถูกวัดและตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical measuring microscope) ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น STM6 ดังแสดงในรูปที่ 3

$$MRR = \frac{W_i - W_f}{(M_t)(\rho_w)} \quad (1)$$

เมื่อ MRR คือ อัตราการขจัดเนื้องาน (ลบ.มม./นาท)

W_i คือ น้ำหนักชิ้นงานก่อนเจาะ (กรัม)

W_f คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังเจาะ (กรัม)

M_t คือ เวลาที่ใช้ในการเจาะวัสดุชิ้นงาน (นาท) และ

ρ_w คือ ความหนาแน่นของวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้า AISI P 20 ($\approx 7.86 \times 10^{-3}$ กรัม/ลบ.มม.) [9]

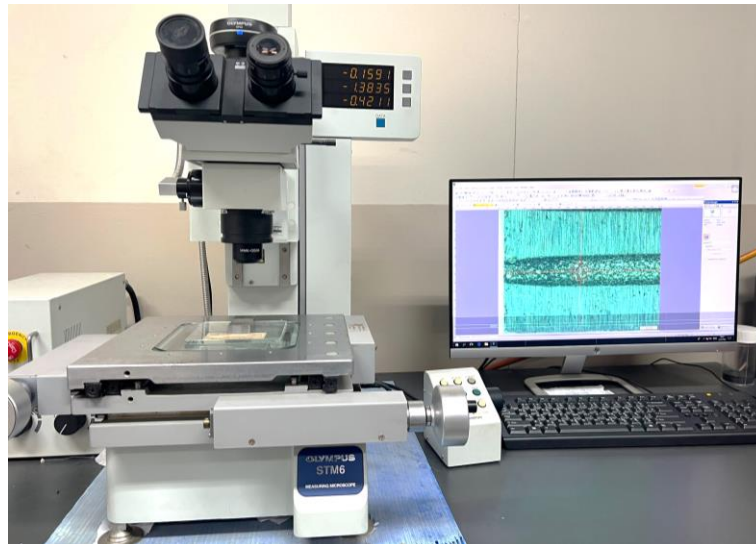
$$EWR = \frac{E_i - E_f / (\rho_E)}{(W_i - W_f) / (\rho_w)} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ EWR คือ อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (เปอร์เซ็นต์)

E_i คือ น้ำหนักอิเล็กโทรดก่อนเจาะ (กรัม)

E_f คือ น้ำหนักอิเล็กโทรดหลังเจาะ (กรัม) และ

ρ_E คือ ความหนาแน่นของวัสดุอิเล็กโทรดทองเหลือง ($\approx 8.60 \times 10^{-3}$ กรัม/ลบ.มม.)

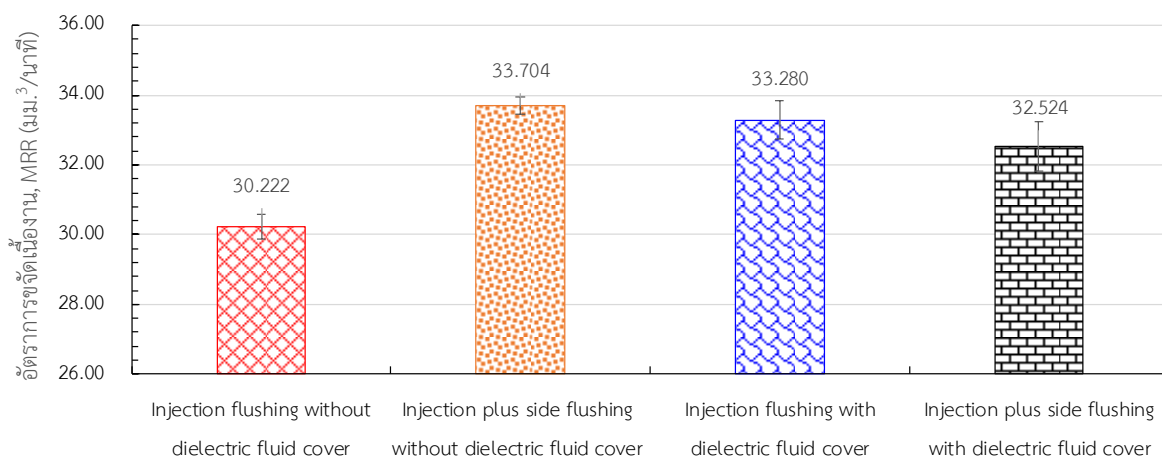


รูปที่ 3 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical measuring microscope) ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น STM6

3. ผลการทดลองและการอภิปราย

3.1 อัตราการขจัดเนื้องาน (Material removal rate, MRR)

การควบคุมการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกเพื่อประเมินอัตราการขจัดเนื้องาน พบว่า การปรับเปลี่ยนรูปแบบการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกทำให้อัตราการขจัดเนื้องานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกแบบทั่วไปที่มีการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลาง (Injection flushing without dielectric fluid cover) ที่มีอัตราการขจัดเนื้องาน อยู่ที่ระดับ 30.222 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที ดังแสดงในรูปที่ 4 ทั้งนี้ประสิทธิภาพการทำงานจะเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 12, 10 และ 8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการใช้งานร่วมจากการฉีดของเหลวไดอิเล็กทริก และการปกคลุมพื้นผิววัสดุชิ้นงานด้วยของเหลวไดอิเล็กทริก ตามลำดับ

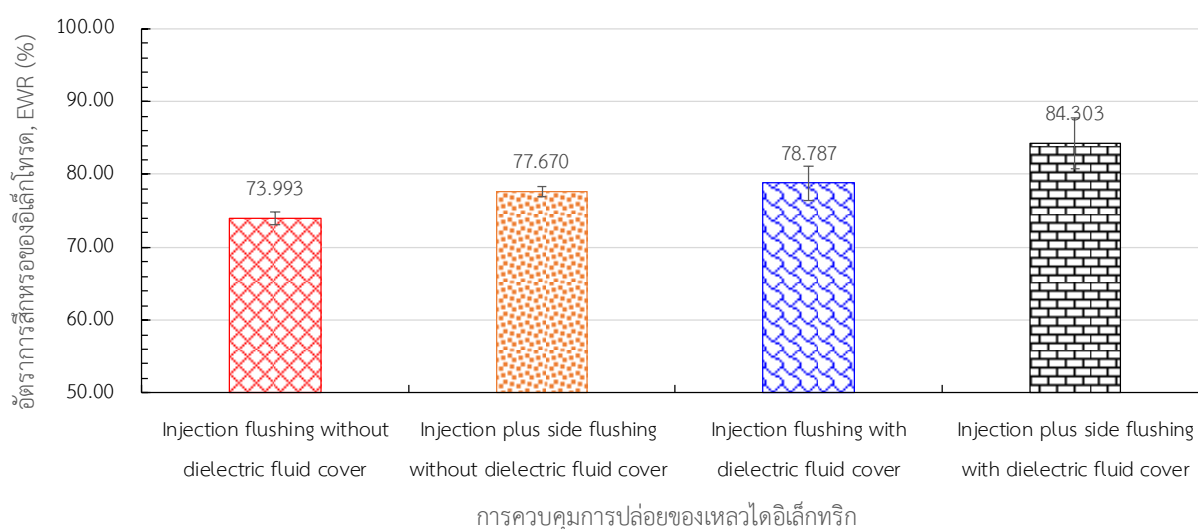


การควบคุมการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริก

รูปที่ 4 อัตราการขจัดเนื้องาน (Material removal rate, MRR)

3.2 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Electrode wear ratio, EWR)

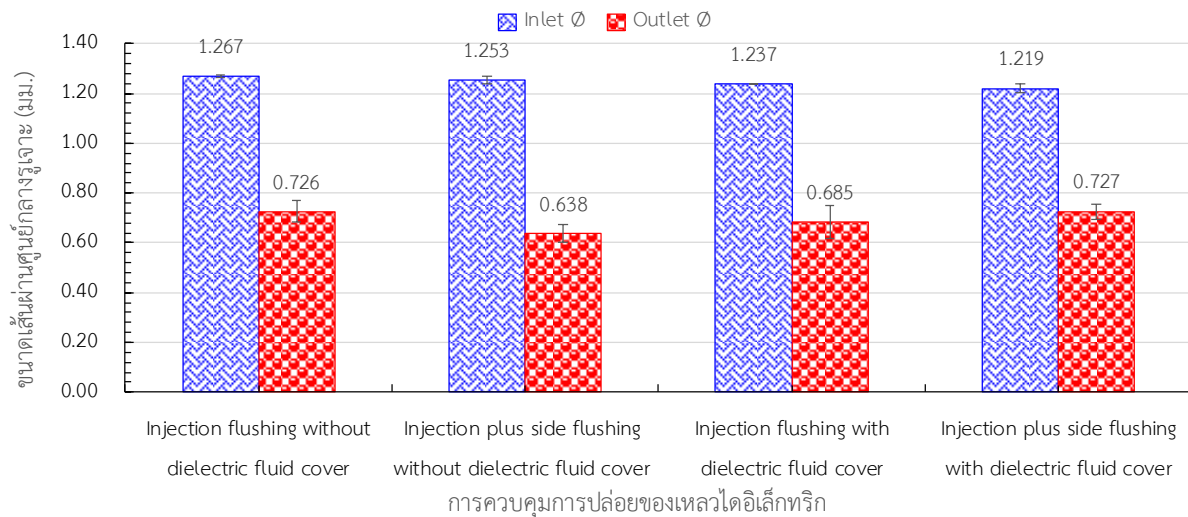
ผลการทดลองควบคุมรูปแบบการไหลสำหรับของเหลวไดอิเล็กทริกเพื่อประเมินอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดแสดงดังรูปที่ 5 จากรูป จะเห็นได้ว่าการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดแบบทั่วไปจะทำให้เกิดอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำสุด ที่ระดับ 73.993 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเพิ่มการฉีดของเหลวไดอิเล็กทริกด้านอิเล็กโทรด และการปกคลุมพื้นผิวชิ้นงานด้วยของเหลวไดอิเล็กทริกจะทำให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มสูงขึ้นเป็น 77.670, 78.787 และ 84.303 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดอาจเป็นผลมาจากปริมาณของเหลวที่ปกคลุมในบริเวณพื้นผิวการสปาร์คจะทำให้เกิดความเสถียรที่ส่งผลให้เกิดความรุนแรงของการกัดเซาะที่ส่งผลให้เกิดความร้อนและการสึกกร่อนที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในส่วนของวัสดุชิ้นงานและวัสดุอิเล็กโทรด อย่างไรก็ตามปริมาณของเหลวไดอิเล็กทริกที่มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการสึกหรอของอิเล็กโทรดที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอนุภาคเศษเนื้อวัสดุในบริเวณพื้นผิวการสปาร์คไหลตัวได้ยากขึ้นเนื่องจากผลกระทบการต้านการเคลื่อนที่จากแรงโน้มถ่วง



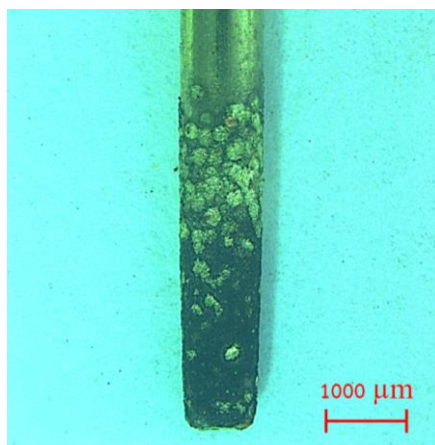
รูปที่ 5 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Electrode wear ratio, EWR)

3.3. ความสมบูรณ์ของรูเจาะ

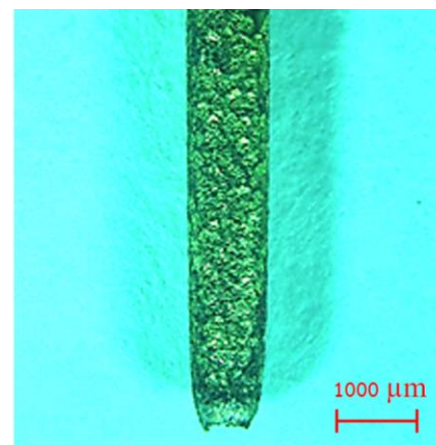
รูปที่ 6 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะขาเข้า จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่ารูเจาะฝั่งขาเข้า (Inlet Ø) จะมีขนาดโตกว่าอิเล็กโทรด และรูเจาะฝั่งขาออก (Outlet Ø) จะมีขนาดเล็กกว่ารูเจาะฝั่งขาเข้า ทั้งนี้เป็นผลมาจากการสปาร์คจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างพื้นผิววัสดุชิ้นงานกับอิเล็กโทรด อย่างไรก็ตามสึกกร่อนในบริเวณส่วนปลายของอิเล็กโทรดในระหว่างการสปาร์คจะทำให้รูปทรงของอิเล็กโทรดเกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เมื่อความลึกของการเจาะเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ขนาดความต่างบริเวณส่วนปลายอิเล็กโทรดมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในรูปที่ 7 ความต่างของขนาดอิเล็กโทรดจะส่งผลโดยตรงต่อขนาดของรูเจาะฝั่งขาเข้าและขาออก ทั้งนี้หากพิจารณาคุณภาพและความสมบูรณ์ของรูเจาะจากค่าความต่างต่ำสุดพบว่า การเจาะโดยปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกร่วมกับการฉีดด้านข้างภายใต้การปกคลุมด้วยของเหลวไดอิเล็กทริกจะมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะขาเข้า และขาออก เป็น 1.219 และ 0.727 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ลักษณะของรูเจาะฝั่งขาเข้าและขาออกจากการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะขาเข้า (Inlet $\varnothing$) และรูเจาะฝั่งขาออก (Outlet $\varnothing$)

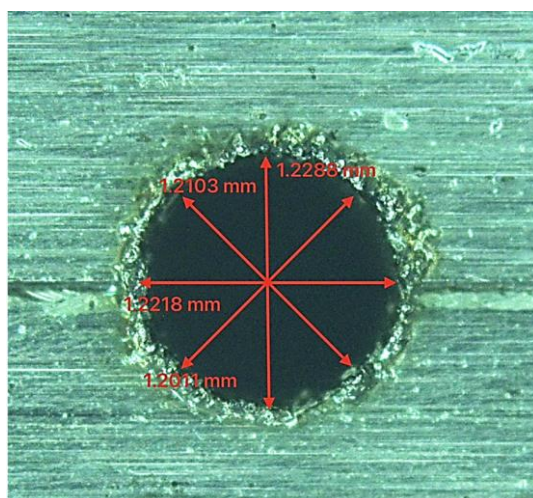


ก) เจาะรูลึก 5 มิลลิเมตร

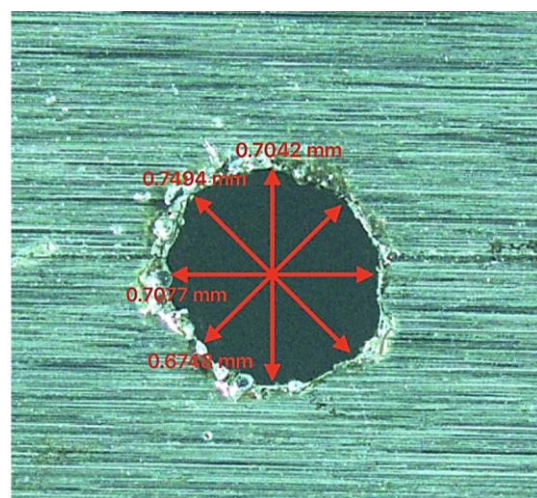


ข) เจาะรูทะลุ 25 มิลลิเมตร

รูปที่ 7 ลักษณะการสึกกร่อนของวัสดุเล็กโพรดท่อทองเหลืองขนาด 1 มิลลิเมตร เจาะรูวัสดุชิ้นงานที่ระดับความลึกต่างกัน



ก) รูเจาะฝั่งขาเข้า (Inlet $\varnothing$)



ข) รูเจาะฝั่งขาออก (Outlet $\varnothing$)

รูปที่ 8 ลักษณะของรูเจาะฝั่งขาเข้าและขาออกจากการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์

4. สรุป

การทดลองควบคุมการปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกโดยเพิ่มการฉีดด้านข้างอิเล็กโทรด และการปกคลุมพื้นผิวชิ้นงานวัสดุชิ้นงานด้วยของเหลวไดอิเล็กทริกเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานโดยเปรียบเทียบกับวิธีการเจาะรูโดยการกัดเจาะโลหะด้วยไฟฟ้าแบบทั่วไปที่มีการฉีดของเหลวไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลาง สามารถสรุปผล ได้ดังนี้

1) อัตราการจัดเนื้องานสำหรับการเจาะรูโดยการกัดเจาะโลหะด้วยไฟฟ้าโดยทั่วไปจะอยู่ที่ระดับ 30.222 ลบ.มม./นาที่ ทั้งนี้เมื่อมีการใช้งานร่วมจากการฉีดของเหลวไดอิเล็กทริก และการปกคลุมพื้นผิววัสดุชิ้นงานด้วยของเหลวไดอิเล็กทริก จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 12, 10 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2) การปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกผ่านแกนกลางอิเล็กโทรดแบบทั่วไปจะทำให้เกิดอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำสุด ที่ระดับ 73.993 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการประยุกต์ใช้การปล่อยของเหลวไดอิเล็กทริกร่วมกับการฉีดด้านข้าง และการปกคลุมพื้นผิววัสดุชิ้นงาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดก็จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็น 77.670, 78.787 และ 84.303 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3) การประยุกต์ใช้การฉีดของเหลวไดอิเล็กทริกร่วมกับการฉีดด้านข้างอิเล็กโทรดและการปกคลุมพื้นผิววัสดุชิ้นงานด้วยของเหลวไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มที่ทำให้เกิดความแตกต่างของรูเจาะฝั่งขาเข้ากับฝั่งขาออกต่ำสุด ที่ระดับ 1.219 และ 0.727 มิลลิเมตร ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์สุพรรณบุรี) ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเครื่องมือและห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Koç Muammer and Tugrul Özel eds, *Modern manufacturing processes*, John Wiley & Sons, 2019.
- [2] H.T. Cao, J.R. Ho, P.C. Tung, Y.T. Lin, and C.K. Lin, "Machined quality prediction and optimization for micro-EDM drilling of semi-conductive SiC wafer," *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol. 169, 2024, pp.107911.
- [3] M. Zishanur Rahman, A. K. Das, and S. Chattopadhyaya, "Microhole drilling through electrochemical processes: A review," *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 33 (13), 2018, pp. 1379-1405.
- [4] L. Ye, X. Xi, M. Bellotti, J. Qian, and D. Reynaerts, "Investigation of advanced control schemes for high-speed small-hole EDM drilling," *Procedia CIRP*, Vol. 95, 2020, pp.539-544.
- [5] S. Chakraborty, "Multi-objective optimization of EDM process on AISI P-20 Tool steel using multi-criteria decision-making technique," In *Machine Learning Applications in Non-Conventional Machining Processes*. (2021) IGI Global, pp. 33-44
- [6] S.S. Kumar, T. Varol, A. Canakci, S.T. Kumaran, and M. Uthayakumar, "A review on the performance of the materials by surface modification through EDM," *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, Vol. 4 (1), 2021, pp.127-144.
- [7] M.M. Hasan, T. Saleh, A. Sophian, M.A. Rahman, T. Huang, and M.S. Mohamed, "Experimental modeling techniques in electrical discharge machining (EDM): A review," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 127 (5), 2023, pp.2125-2150.

- [8] K. Jamkamon, P. Kumkoon, and S. Chuvaree, “Influence of Electrical Parameters on the Machining Performance in the Small Hole Drilling by EDM Process,” *Solid State Phenomena*, Vol. 349, 2023, pp.33-39.
- [9] Z. Wang, H. Tong, Y. Li, and C. Li, “Dielectric flushing optimization of fast hole EDM drilling based on debris status analysis,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 97, 2018, pp.2409-2417.
- [10] W. Liang, H. Tong, Y. Li, B. Li, and Q. Kong, “Sliding-mode controller and algorithm for improving servo control of discharge gap in precise fast hole EDM,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 105, 2019, pp.2689-2698.
- [11] A. Eaysin, S. Kabir, E. Gunister, N. Jahan, A. Hamza, M.A. Zinnah, and A.B. Rashid, “ Process Parameter Optimization of Laser Beam Machining for AISI-P20 Mold Steel Using ANFIS Method,” *Results in Surfaces and Interfaces*, 2024, pp.100357.