

การศึกษาพารามิเตอร์การกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าบนผิววัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20

Electrical Discharge Machining Parameters Study of Mould Steel AISI P20

กมลพงศ์ แจ่มกมล, พิชัย จันทรมณี

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

E-mail: kamonpong26@gmail.com, E-mail: pichai.j@rmutk.ac.th

บทคัดย่อ - งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของระดับพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อการแปรรูปวัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 ด้วยเครื่องกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าโดยพารามิเตอร์ที่ทำการ ศึกษาประกอบด้วยเวลาเปิด (Impulse Duration) และเวลาปิด (Pause Duration) อยู่ในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ (Pulse Duty Factor) โดยวัดผลกระทบที่มีต่อการแปรรูปจาก ค่าอัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรออิเล็กโทรด ตลอดจนคุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ย โดยในการทดลองใช้วัสดุอิเล็กโทรดทองแดงเป็นขั้วบวก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ทำการสปาร์ค ลงบนชิ้นงานเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 เป็นหลุมลึก 5 มิลลิเมตรภายใต้การปกคลุมด้วยสารไดอิเล็กทริกไฮโดรคาร์บอน Shell EDM Fluid 2A ตลอดจนขจัดเศษและระบายความร้อนแบบฉีดด้านข้างด้วยแรงดัน 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที ทั้งนี้ในการทดลองนี้คงที่กระแสที่ 8 แอมแปร์ จากการทดลองพบว่า ระดับเวลาเปิดที่เพิ่มมากขึ้นมีอิทธิพลทำให้อัตราการขจัดเนื้องาน และค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของผิวงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับเวลาเปิด 100 ไมโครวินาที และจะลดลงโดยมีลักษณะรูปแบบเป็นกราฟเส้นโค้งพหุนาม และจะผกผันกับอัตราการสึกหรออิเล็กโทรด สำหรับระดับเวลาปิดพบว่า เมื่อเวลาปิดลดลงจะทำให้อัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มมากขึ้น โดยมีลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นมีความชันคงที่ และมีผลต่ออัตราการสึกหรออิเล็กโทรดตลอดจนคุณภาพผิวงานน้อยมาก

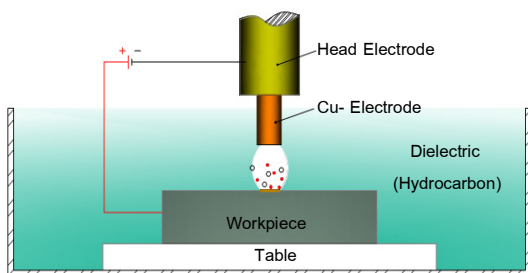
Abstract – This paper aims to study the effect of parameter levels on machining process in Electrical Discharge Machining (EDM) of mould steel AISI P20 by using experiment base on pulse duty factor from variable impulse duration and pause duration. In this experiment, the measurement of the effect from the material removal rate (MRR), the electrode wear ratio (EWR) and the surface quality from arithmetical mean roughness (Ra) were investigated. For all the experimental tests, the copper electrode was used as a positive polarity with a diameter of 10 mm, spark the hole with a depth 5 mm on the AISI P20 surface and submerged in dielectric hydrocarbon Shell EDM Fluid 2A. To remove machining debris and heat, the flushing fluid to the machining zone was used at a pressure of 1 kg/cm² with a flow rate 15 l/min and fixed a discharge current at 8 A. It was found that increment of the impulse duration significantly enhances the MRR and Ra in a polynomial form. However, further increasing the impulse duration over 100 μ s the MRR and Ra are decreases. Meanwhile, it has a reverse effect on the electrode wear ratio. In addition, decreasing the pause duration increases the MRR in a linear form. On the other hand, it has a little effect on the EWR and Ra.

คำสำคัญ : เครื่องกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า / ปัจจัยประสิทธิภาพ / เวลาเปิด / เวลาปิด / AISI P20

Keyword : Electrical Discharge Machine / Pulse Duty Factor / Impulse Duration / Pause Duration / AISI P20

1. บทนำ

เหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก [1] เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความแข็งได้ด้วยกระบวนการทางความร้อน ดังนั้นจึงทำให้ยากต่อการแปรรูปด้วยกระบวนการทางกล กระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM : Electrical Discharge Machining) จึงเป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่ถูกนำมาใช้แปรรูปวัสดุดังกล่าว ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวเป็นการควบคุมระยะเวลาการไหลของกระแสไฟฟ้า สลับกับการหยุดในระดับไมโครวินาที เพื่อให้เกิดเป็นวัฏจักรการสปาร์กอันเป็นต้นกำเนิดของพลังงานความร้อน [2] จนเกิดการส่งถ่ายความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 8,000-12,000 องศาเซลเซียส ในบริเวณที่เล็กมาก ซึ่งทำให้เกิดการหลอมละลายของผิววัสดุชิ้นงาน และถูกขจัดออกไปในรูปของของแข็ง ของเหลว และแก๊ส [3] การสปาร์กดังกล่าวนี้จะกระทำผ่านวัสดุตัวนำที่เรียกว่าอิเล็กโทรดกับวัสดุชิ้นงานภายใต้การปกคลุมด้วยสารไดอิเล็กตริกดังแสดงในรูปที่ 1 โดยในการสปาร์กนั้นส่งผลให้เกิดการกัดเซาะของผิวชิ้นงานที่เรียกว่า อัตราการขจัดเนื้องาน และการกัดเซาะของอิเล็กโทรดที่เรียกว่า อัตราการสึกหรออิเล็กโทรด [3,4,5] และพื้นผิววัสดุชิ้นงานที่เกิดการสปาร์กนั้นสามารถวัดคุณภาพผิวงานได้จากค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ทั้งนี้ในการปรับระยะเวลาการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่า เวลาเปิด (Impulse Duration) และระยะเวลาการหยุดการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่า เวลาปิด (Pause Duration) อาจมีผลกระทบต่อการกัดเซาะของพื้นผิวชิ้นงานและอิเล็กโทรด ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองศึกษาพารามิเตอร์ของเวลาเปิด และเวลาปิดที่มีผลกระทบต่อการแปรรูปเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 เพื่อให้สามารถใช้กระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ



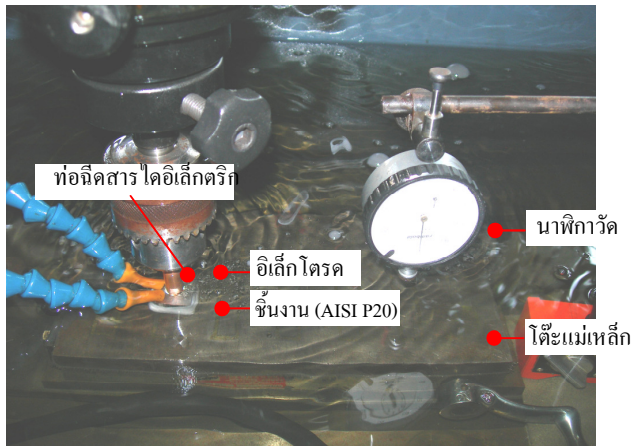
รูปที่ 1 การกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM) [2,3]

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ของระดับเวลาเปิด และเวลาปิดที่ส่งผลกระทบต่อ การแปรรูปวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 โดยในการทดลองได้ทำการปรับระดับเวลาเปิดและเวลาปิด ทั้งนี้ระดับเวลาเปิดและเวลาปิดของเครื่องกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองแต่ละระดับมีระยะเวลาที่ห่างกันมาก จึงทำให้ยากต่อการแสดงความสัมพันธ์ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้แสดงอยู่ในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ (Pulse Duty Factor) และวัดผลกระทบที่มีต่อการแปรรูปวัสดุจากอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR: Material Removal Rate) อัตราการสึกหรออิเล็กโทรด (EWR : Electrode Wear Ratio) และคุณภาพผิวงาน (SQ : Surface Quality) ในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra : Arithmetical Mean Roughness) ซึ่งในการแปรรูปวัสดุชิ้นงานประสิทธิภาพการทำงานที่ดีนั้นหมายถึง การมีอัตราการขจัดเนื้องานสูงโดยมีอัตราการสึกหรออิเล็กโทรด และมีค่าความหยาบผิวงานที่ต่ำ โดยในการทดลองนี้ใช้เครื่องกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า ยี่ห้อ Aristech รุ่น 3D-CNC430 ดังแสดงในรูปที่ 2 และใช้วัสดุอิเล็กโทรดทองแดงเป็นขั้วบวก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร กัดเซาะลงบนผิววัสดุชิ้นงาน AISI P20 เป็นหลุมลึก 5 มิลลิเมตร ภายใต้การปกคลุมด้วยสารไดอิเล็กตริกไฮโดรคาร์บอน Shell EDM Fluid 2A ดังแสดงในรูปที่ 3 ทั้งนี้กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสปาร์กจะคงที่ตามกฎ “Rule-of-thumb” อาศัยระดับกระแสไฟฟ้าสูงสุดในการสปาร์ก 0.1 แอมแปร์ต่อตารางมิลลิเมตร [3] โดยการทดลองนี้จะคงที่ระดับค่ากระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์



รูปที่ 2 เครื่องกัดเซาะด้วยไฟฟ้า Aristech 3D-CNC430 [6,11]

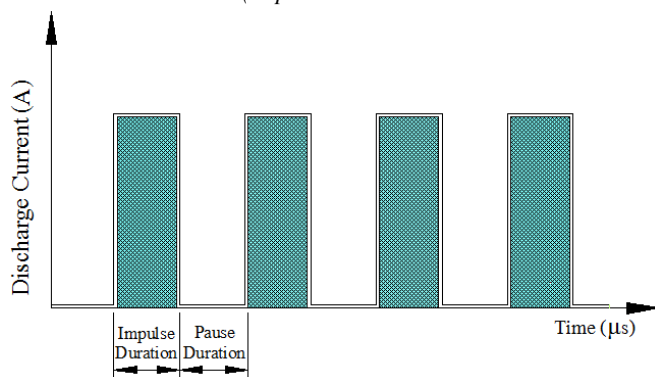


รูปที่ 3 การทดลองกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า

2.1 การปรับระดับเวลาเปิดในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ (Pulse Duty Factor form Variable Impulse Duration)

ปัจจัยประสิทธิภาพหมายถึงเปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่า เวลาเปิด (Impulse Duration) ต่อหนึ่งหน่วยเวลาของวัฏจักรการสปาร์ก (Impulse Duration + Pause Duration) [2] ดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 4 และสามารถคำนวณค่าปัจจัยประสิทธิภาพในหนึ่งวัฏจักรของการสปาร์กได้จากสมการที่ 1 สำหรับในการทดลองนี้จะทำการคำนวณเพื่อกำหนดระดับเวลาเปิดเพื่อให้เกิดเป็นระดับชั้นของปัจจัยประสิทธิภาพที่มีระยะห่างของแต่ละชั้นใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยการทดลองจะคงที่เวลาปิดไว้ที่ 32* ไมโครวินาที แล้วปรับเวลาเปิดดังแสดงในตารางที่ 1

$$\text{PulseDutyFactor}(\%) = \frac{\text{ImpulseDuration} \times 100}{(\text{ImpulseDuration} + \text{PauseDuration})} \quad (1)$$



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ Impulse Duration กับ Pause Duration [2]

* หมายถึง การเลือกคงที่ระดับเวลาเปิด และเวลาปิดเท่ากับ 32 ไมโครวินาที เนื่องจากเป็นระดับที่ทำให้ค่าปัจจัย

ประสิทธิภาพ (Pulse Duty Factor) ทั้งจากการปรับเวลาเปิดและเวลาปิดมีระยะห่างของการเพิ่มขึ้นแต่ละชั้นปัจจัยประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด

ตารางที่ 1 ระดับพารามิเตอร์เวลาเปิดที่ใช้ในการทดลอง

No.	Impulse Duration (μs)	Pause Duration (μs)	Pulse Duty Factor (%)
1	2	32	6
2	10	32	24
3	20	32	38
4	32	32	50
5	50	32	61
6	100	32	76
7	200	32	86
8	510	32	94

2.2 การปรับระดับเวลาปิดในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ (Pulse Duty Factor form Variable Pause Duration)

การปรับระดับเวลาปิดโดยใช้การคำนวณจากสมการที่ (1) ซึ่งคงที่เวลาเปิดไว้ที่ 32* ไมโครวินาที เพื่อให้เป็นระดับชั้นของปัจจัยประสิทธิภาพที่มีการเพิ่มขึ้นเท่าๆ กันดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับพารามิเตอร์เวลาปิดที่ใช้ในการทดลอง

No.	Impulse Duration (μs)	Pause Duration (μs)	Pulse Duty Factor (%)
1	32	510	6
2	32	100	24
3	32	50	39
4	32	32	50
5	32	20	61
6	32	10	76
7	32	4	89
8	32	2	94

2.3 เงื่อนไขของการทดลอง (Experiment Conditions)

การกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นการอาศัยความร้อนที่เกิดจากการสปาร์คของกระแสไฟฟ้า ดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัจจัยหลักที่มีความสัมพันธ์ต่อการสปาร์คประกอบด้วย ค่า เวลาเปิด, เวลาปิด และกระแสไฟฟ้า (Discharge Current) สำหรับการทดลองนี้กำหนดระดับค่ากระแสไฟฟ้าตามกฎ “Rule-of-thumb” [3] กล่าวคือ อิเล็กโตรดที่ใช้ในการสปาร์คมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร คิดเป็นพื้นที่หน้าตัดในการสปาร์ค ($\pi \times 5^2$) = 78.57 ตารางมิลลิเมตร คิดเป็นระดับกระแสไฟฟ้าในการสปาร์คที่ใช้ในการทดลอง (0.1×78.57) = 7.857 แอมแปร์ แต่เนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถปรับระดับค่าดังกล่าว จึงพิจารณาเลือกใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ โดยมีการควบคุมเงื่อนไขการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง

No.	Conditions	Details
1	Electrode	Copper
2	Workpiece	AISI P20
3	Polarity Electrode	+
4	High Voltage (V)	150
5	Current (A)	8
6	Working Time (sec)	0.5
7	Jump Time (sec)	0.5
8	Dielectric (Hydrocarbon)	Shell EDM Fluid 2 A
9	Flushing	Pressure 1 Kg/cm ² , Flow Rate 15 l/min

2.4 การวัดอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR : Materials Removal Rate)

อัตราการขจัดเนื้องานสามารถคำนวณได้จากปริมาณเนื้อวัสดุชิ้นงานที่ถูกขจัดออกต่อหน่วยเวลาที่ใช้ โดยใช้สมการที่ 2 ซึ่งในการทดลองสามารถบันทึกระยะเวลาการทำงานได้จากจอภาพแสดงการทำงานของเครื่องกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า [11]

$$MRR(\text{mm}^3/\text{min}) = \frac{\text{Volume Removed (mm}^3\text{)}}{\text{Machining Time (min)}} \quad (2)$$

2.5 การวัดอัตราการสึกหรออิเล็กโตรด (EWR : Electrode Wear Ratio)

อัตราการสึกหรออิเล็กโตรดในการทดลองนี้จะใช้วิธีการวัดแบบหนึ่งมิติ โดยการวัดความยาวของอิเล็กโตรดที่เกิดการสึกหรอต่อความลึกของชิ้นงานจากการสปาร์คด้วยไมโครมิเตอร์ค่าความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร และใช้สมการที่ 3 ในการคำนวณ [2]

$$EWR(\%) = \frac{\text{Electrode Wear (mm)} \times 100}{\text{Workpiece Depth (mm)}} \quad (3)$$

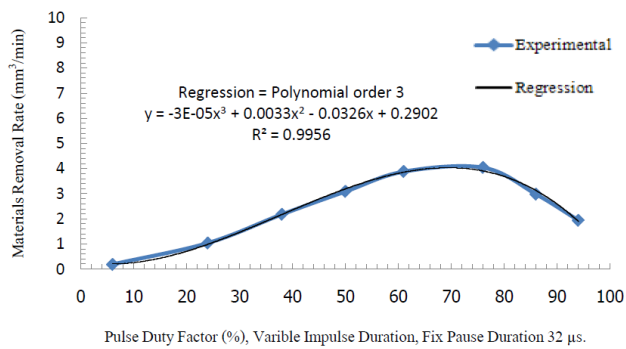
2.6 การวัดความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra : Arithmetical Mean Roughness)

การวัดคุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ยเป็นการวัดร่องรอยพื้นผิววัสดุชิ้นงานที่เกิดการกัดเซาะเนื่องจากการสปาร์ค โดยทำการวัดด้วยเครื่องมือวัดความหยาบผิวยี่ห้อ Marh รุ่น PS1 ซึ่งกำหนดค่าวัดและประมวลผลตามมาตรฐาน DIN EN ISO 4288 [7]

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

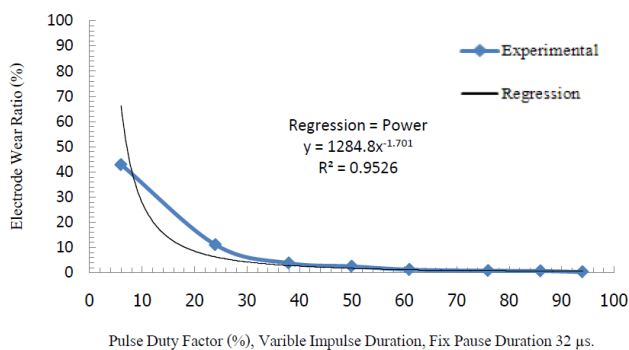
3.1 การปรับระดับเวลาเปิด (Variable Impulse Duration)

การทดลองปรับระดับเวลาเปิดในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ของเวลาเปิดที่มีผลต่อการแปรรูปวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 พบว่า เวลาเปิดที่มากขึ้นทำให้อัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับเวลาเปิด 100 ไมโครวินาที ส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด 4.04 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที แล้วจึงลดลงโดยมีลักษณะเป็นกราฟแบบโพลีโนเมียลดังแสดงในรูปที่ 5 สาเหตุที่ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานลดลง เนื่องจากระยะเวลาเปิดที่ยาวนานทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมบนผิวงานสูง [9] จนกลายเป็นชั้นการหลอมละลายและเย็นตัวใหม่ (Recasting) [2,3,8] เป็นเหตุให้เนื้อโลหะบางส่วนที่ถูกขจัดออกกลับเข้ามารวมกับผิวงานใหม่ขณะเย็นตัวลง [2,3]

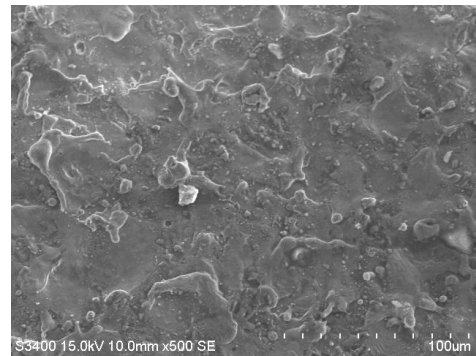


รูปที่ 5 อัตราการขจัดเนื้องานจากการปรับระดับเวลาเปิดในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ

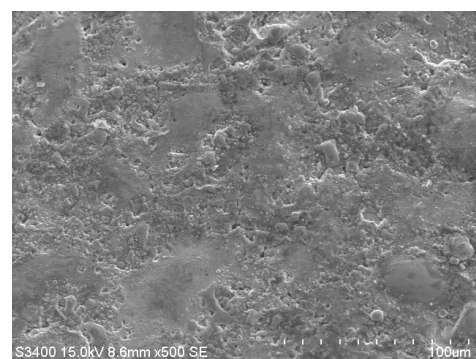
ทั้งนี้พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นยังทำให้เกิดการแตกตัวของสารไดออกไซด์คาร์บอนซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอน ออกเป็นไฮโดรเจน และคาร์บอน โดยคาร์บอนเข้าไปยึดเกาะพื้นผิววัสดุที่มีสภาพขรุขระเป็นบวม [10] ซึ่งในที่นี้คืออิเล็กโทรดที่เป็นทองแดง จึงทำให้อัตราการสึกหรออิเล็กโทรดลดลงเมื่อระยะเวลาเปิดเพิ่มขึ้น ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 6 นอกจากนี้การจับยึดบนพื้นผิวดังกล่าวของคาร์บอนนั้นยังนำอนุภาคเศษโลหะและสิ่งเจือปนมาผสมในบริเวณพื้นผิวอิเล็กโทรดดังแสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของอิเล็กโทรด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6400LV ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นลักษณะพื้นผิวของอิเล็กโทรดที่เกิดการสึกหรอ และรูปที่ 8 เป็นลักษณะพื้นผิวของอิเล็กโทรดที่เกิดการยึดเกาะของคาร์บอน และสิ่งเจือปนทำให้การสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง



รูปที่ 6 อัตราการสึกหรออิเล็กโทรดจากการปรับระดับเวลาเปิดในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ



รูปที่ 7 ลักษณะพื้นผิวของอิเล็กโทรดที่เกิดการสึกกร่อน (เวลาเปิด 2 μs, ปัจจัยประสิทธิภาพ 6 %)



รูปที่ 8 ลักษณะพื้นผิวของอิเล็กโทรดที่เกิดการยึดเกาะของคาร์บอนและสิ่งเจือปน (เวลาเปิด 510 μs, ปัจจัยประสิทธิภาพ 94 %)

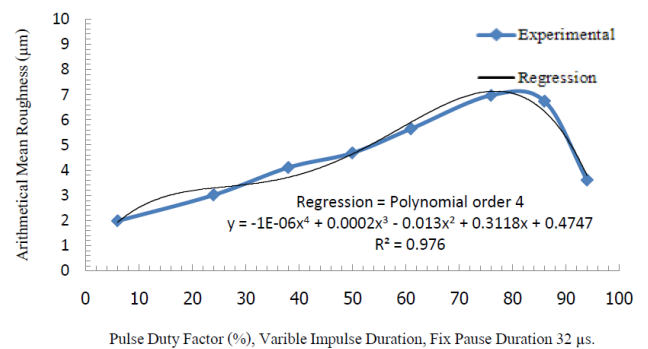
จากการศึกษาพื้นผิวของอิเล็กโทรดที่เกิดการยึดเกาะของคาร์บอนและสิ่งเจือปนหรือที่เรียกว่า ชั้นเคลือบผิวโดยการวิเคราะห์ธาตุบนพื้นผิว (SEM-EDS) ทำให้ทราบปริมาณของคาร์บอนและสิ่งเจือปนบนพื้นผิวอิเล็กโทรด ตลอดจนการเกิดออกไซด์ฟิล์ม โดยขณะทำการสปาร์คจะทำให้เกิดการหลอมละลายของวัสดุ และเกิดการแพร่ของออกซิเจนเข้าไปในเนื้อวัสดุอิเล็กโทรดในรูปของ Internal Oxidation [12] ดังสังเกตได้จากปริมาณค่าที่เพิ่มขึ้นจาก 1.84 เป็น 5.55 และรวมเป็นชั้นเคลือบถึง 9.61 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งโดยสรุปแล้วชั้นเคลือบบนผิวอิเล็กโทรดดังกล่าวเป็นผลดีที่ช่วยให้อัตราการสึกหรออิเล็กโทรดลดลง

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุบนพื้นผิวอิเล็กโตรดทองแดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

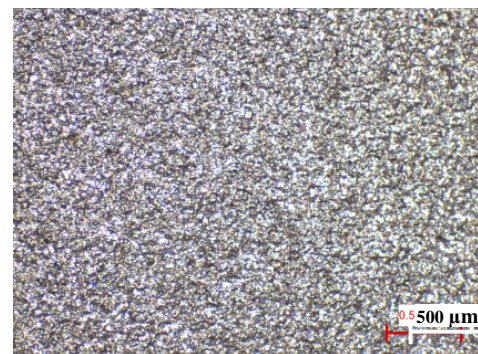
Element	ปริมาณธาตุบนพื้นผิวอิเล็กโตรด (%Wt)		
	ก่อนการสปาร์ก	เกิดการสีก กร่อน	เกิดชั้น เคลือบ
C	4.32	20.55	39.63
O	1.84	5.55	9.61
Cu	93.84	64.32	24.58
Si	-	-	0.27
Cl	-	-	0.27
Cr	-	-	0.72
Fe	-	9.58	24.92
รวม (%)	100	100	100

คุณภาพผิวงานจากค่าความหยาบผิวเฉลี่ยในทดลองปรับเวลาเปิดนั้นพบว่า ความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นแบบโพลีโนเมียลที่มีลักษณะคล้ายกับอัตราการขจัดเนื้องาน ดังแสดง ผลการทดลองในรูปที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานจะแปรผันกับอัตราการขจัดเนื้องาน โดยหากค่าระยะเวลาเปิดต่ำจะทำให้ความรุนแรงของการสปาร์กต่ำ และจะเกิดการกัดเซาะในบริเวณที่เล็กและแคบ เมื่อระยะเวลาเปิดยาวนานขึ้นจะทำให้ความรุนแรงของการสปาร์กมีมากขึ้น ทำให้เกิดการกัดเซาะในบริเวณที่กว้างและรุนแรง ส่งผลให้ผิวชิ้นงานเกิดการกัดเซาะมากขึ้น เป็นเหตุทำให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นตาม ทั้งนี้ความรุนแรงในการสปาร์กจะส่งผลให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเพิ่มสูงสุดที่ระยะเวลาเปิด 100 ไมโครวินาที มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 6.97 ไมโครเมตร แล้วจึงลดลง เนื่องจากเวลาเปิดมีระยะเวลานานมากกว่านี้จะส่งผลให้เกิดพลังงานความร้อนจากการสปาร์กมากเกินไปที่วัสดุชิ้นงานจะสามารถรับได้ จึงเกิดเป็นการหลอมละลายผิวงานในบริเวณกว้างแทนการกัดเซาะซึ่งเมื่อสิ้นสุดวัฏจักรการทำงานพื้นผิวที่หลอมละลายจะเกิดการแข็งตัวใหม่ ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้เรียกว่า วัฏจักรการหลอมใหม่

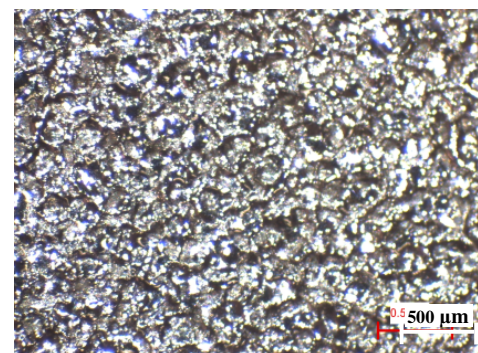
(Recast) [2,3] โดยจะส่งผลให้เศษอนุภาควัสดุบางส่วนที่ถูกขจัดออกกลับเข้ามารวมตัวกับพื้นผิวงานอีกครั้ง เป็นเหตุให้อัตราการขจัดเนื้องานและความหยาบผิวเฉลี่ยลดต่ำลง ดังสามารถแสดงพื้นผิวการ สปาร์กในรูปที่ 10-12 ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์นำแสง (Optical Microscope)



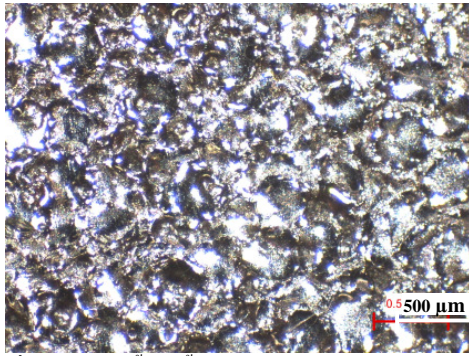
รูปที่ 9 คุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ยจากการปรับระดับเวลาเปิดในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ



รูปที่ 10 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 1.98 µm (เวลาเปิด 2 µs, ปัจจัยประสิทธิภาพ 6 %)



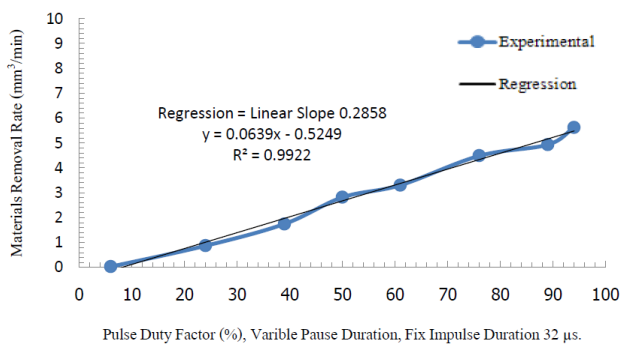
รูปที่ 11 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 6.97 µm (เวลาเปิด 100 µs, ปัจจัยประสิทธิภาพ 76 %)



รูปที่ 12 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 3.60 μm
(เวลาเปิด 510 μs , ปัจจัยประสิทธิภาพ 90 %)

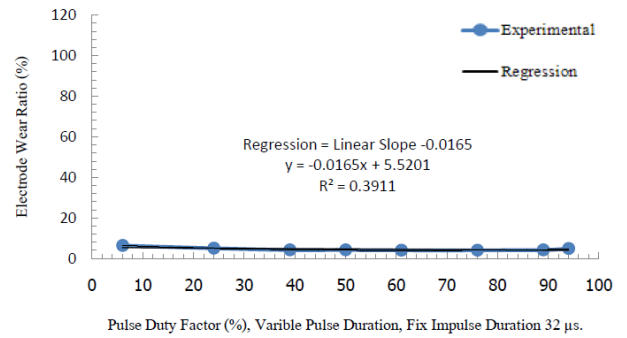
3.2 การปรับระดับเวลาปิด (Variable Pause Duration)

การทดลองปรับระดับเวลาปิดในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ของเวลาปิด ที่มีผลต่อการแปรรูปวัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 พบว่า เมื่อระยะเวลาปิดต่ำลงจะทำให้สัดส่วนของปัจจัยประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยอัตราการขจัดเนื้องานจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นแบบเชิงเส้นที่มีความชันคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 13 และอัตราการสึกหรอเล็กน้อยโคโรดมีแนวโน้มลดลงเป็นลักษณะแบบเชิงเส้นที่มีความชันต่ำ ดังแสดงผลในรูปที่ 14 สำหรับคุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ยนั้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นแบบเชิงเส้นที่มีความชันต่ำ ดังแสดงผลในรูปที่ 15

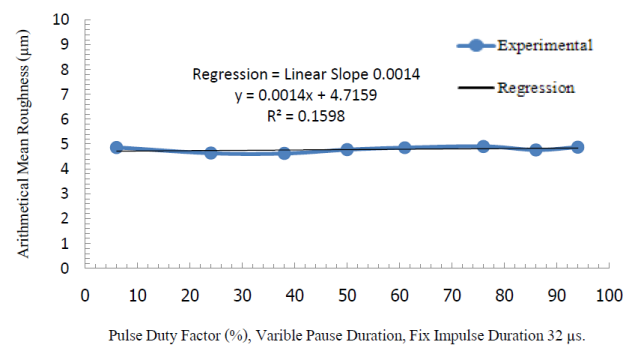


รูปที่ 13 อัตราการขจัดเนื้องานจากการปรับระดับเวลาปิดในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ

ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้การปรับระดับเวลาปิดมีผลต่ออัตราการสึกหรอเล็กน้อยโคโรด และความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำ เนื่องจากเวลาปิดเป็นการหยุดการปล่อยกระแสในการสปาร์คจึงเป็นผลให้ไม่เกิดพลังงานความร้อน [2,3]



รูปที่ 14 อัตราการสึกหรอเล็กน้อยโคโรดจากการปรับระดับเวลาปิดในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ



รูปที่ 15 คุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ยจากการปรับระดับเวลาเปิดในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ

จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระดับเวลาเปิด และระดับเวลาปิดแล้วพบว่า ระดับเวลาเปิดมีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอเล็กน้อยโคโรด ตลอดจนคุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ย ในขณะที่ระดับเวลาปิดนั้นมีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและส่งผลต่ออัตราการสึกหรอเล็กน้อยโคโรด ตลอดจน คุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ยน้อยมาก

6. สรุป

การศึกษาด้านพารามิเตอร์การกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าบนผิววัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 โดยการปรับระดับเวลาเปิดและเวลาปิดเพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อการแปรรูปวัสดุสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การปรับระดับเวลาเปิดมีผลกระทบต่ออัตราการแปรรูปวัสดุคือเมื่อระดับเวลาเปิดเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้อัตราการขจัดเนื้องาน และความหยาบผิวเฉลี่ยของผิวงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง แล้วจึงลดลง โดยมีลักษณะเป็นแบบ

เส้นโค้งโพลีโนเมียล ซึ่งผูกพันกับอัตราการสึกหรอเล็กน้อย
ทั้งนี้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของผิวงานจะมีความสัมพันธ์กับ
อัตราการขจัดเนื้องานแบบแปรผันตาม

2. การปรับระดับเวลาปัดมีผลกระทบต่อการแปรรูปวัสดุ
คือเมื่อเวลาปัดลดลงจะทำให้อัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มมากขึ้น
โดยมีลักษณะการเพิ่มขึ้นเป็นแบบเชิงเส้นมีความชันคงที่ และมี
ผลต่ออัตราการสึกหรอเล็กน้อยตลอดจนคุณภาพผิวงานน้อย
มาก

4. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนด้าน
งบประมาณ และอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] F.L. Amorim and W.L. Weingaertner, "The influence of generator actuation mode and process parameters on the performance of finish EDM of a tool steel", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.166, pp. 411-416, 2005.
- [2] B. Thomas, *Technology of Electrical Discharge Machining*, Druckerei Helene, 6102 Pfunstste, 1997, pp. 11-53
- [3] E. Bud Guitrau, *The EDM Handbook*. Handser Gardener publication Cincinnati, 1997, pp. 19-54.
- [4] J. Marafona, "Black Layer Characterisation and Electrode Wear Ratio in Electrical Discharge Machining," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.184, pp. 27-31. 2007
- [5] M. K i y a k, O. çakir, "Examination of Machining Parameters on Surface Roughness in EDM of Tool Steel," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.191, pp. 141-144, 2007.
- [6] Aristech 3D-CNC 430. <http://www.taiwantrade.com.tw>
- [7] Mahr GmbH, *Handleiding Marsurf PSI*, D - 37073 Gottingen Germany, 2007, pp. 23-27
- [8] R. Thomas, N. Sheyes, R. Thomas, M. Rosa, and R. Laura, "Investigation of the Effect of Process Parameters on the Formation and Characteristics of Recast Layer in Wire - EDM of Inconel 718," *Materials Science and Engineering*, Vol. A 513-514, pp. 208-215, 2009.
- [9] ฤทธิชัย เกาเนียม, กมลพงศ์ แจ่มกมล, พิชัย จันทรมณี และ อภิวัฒน์ มุคตามาระ, "การศึกษาอิทธิพลทางความร้อนต่อ ความแข็งของ เหล็กกล้าเครื่องมือ AISI P20 เนื่องจากการกัดเซาะทางไฟฟ้า ด้วย ระเบียบวิธีไฟโนเอลิเมนต์," *การประชุมขำงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, น. 1185-1189, 2552.
- [10] B. Ekmekci, "Residual stresses and white layer in electric discharge machining (EDM)," *Applied Surface Science*, Vol. 253, pp. 9234-9240, 2007.
- [11] Aristech, *Aristech CNC Wire cut EDM Instruction Manual*. Lien Sheng Mechine & Electrical., Ta-li Shing, 2004.
- [12] ปรีชา เดิมสุข, นันทน์ ถาวรังกูร, นคร ศรีสุขุมบวรชัย ชูชาติ นิธิปัญญาวงศ์ และอัยญา จิระประยูรศักดิ์เลิศ, "การพัฒนาเทคนิคใหม่ การตรวจสอบทางไฟฟ้า เคมีเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่อุณหภูมิและความชื้นสูงด้วยสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก (ระ ยะ ที่ 1 – 2)," <http://www.kmutt.ac.th/rippc/elechem.htm>