



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การศึกษาพารามิเตอร์ในการกัดเซาะวัสดุด้วยไฟฟ้าสำหรับเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20

Study of electrical discharge machining parameters for mould steel AISI P20

กมลพงศ์ แจ่มกมล* และพิชัย จันทรณ์ณี

Kamonpong Jamkamon* and Pichai Janmanee

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม มหวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10120

Rajamangala University of Technology Krungthep, Faculty of Engineering (Industrial Engineering), Bangkok, 10120

Received June 2012

Accepted November 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแปรรูปวัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 โดยการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าจากการปรับพารามิเตอร์เวลาเปิด (On Time) เวลาปิด (Off Time) ขั้วไฟฟ้าอิเล็กโตรด (Polarity) และกระแสไฟฟ้า (Current) โดยประเมินผลต่อการแปรรูปจากอัตราการขจัดเนื้องาน (Materials Removal Rate) อัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรด (Electrode Wear Ratio) และคุณภาพผิวงาน (Surface Quality) ในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ทั้งนี้ในการทดลองใช้วัสดุอิเล็กโตรดเป็นทองแดง กัดเซาะลงบนชิ้นงานเหล็กกล้า AISI P20 ซึ่งจากการทดลองพบว่า เวลาเปิดและกระแสไฟฟ้ามีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรด ตลอดจนความหยาบผิวเฉลี่ย โดยเวลาปิดมีผลทำให้อัตราการขจัดเนื้องานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาเปิดลดลง และมีผลต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรดตลอดจนความหยาบผิวเฉลี่ยน้อยมาก ในส่วนของขั้วไฟฟ้าอิเล็กโตรดนั้นพบว่า ขั้วอิเล็กโตรดที่เป็นบวกมีอัตราการขจัดเนื้องานสูง และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรดที่ต่ำกว่าขั้วลบ โดยขั้วไฟฟ้าอิเล็กโตรดเป็นลบให้คุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ยดีกว่าขั้วบวก แต่จะเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กบนผิวงาน ซึ่งจากการทดลองความสามารถในการแปรรูปวัสดุสูงสุดอยู่ที่เวลาเปิด 100 ไมโครวินาที เวลาปิด 2 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 14 แอมแปร์ ขั้วอิเล็กโตรดเป็นบวก ให้อัตราการขจัดเนื้องาน 15.63 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที โดยมีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรด 0.52 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : อีดีเอ็ม, อิเล็กโตรด, เหล็กกล้าแม่พิมพ์

Abstract

This research paper aims to study the effect of parameters in Electrical Discharge Machining (EDM) process of mould steel AISI P20 when adjusted the parameter's on-time, off-time, polarity electrode, and discharge current. The effects on the processing will be measured by investigating the Material Removal Rate (MRR), the Electrode Wear Ratio (EWR) and the surface quality from arithmetical mean roughness (Ra). The material used in the experiment is copper electrode on EDM of AISI P20 steel products. From the experiment it is found that the on-time and discharge current are affected to material removal rate, electrode wear ratio and the arithmetical mean roughness. When off-time decrease, material removal rate will be stimulated to increase but the off-time has only little effect to EWR and Ra. With regard to the polarity electrode, it is found that positive polarity electrode

*Corresponding author

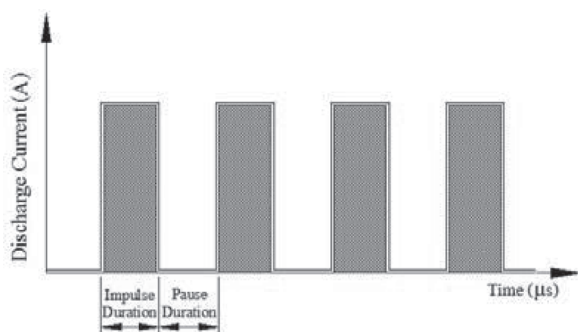
Email address: kamonpong26@gmail.com

has higher MRR and lower EWR than the negative polarity electrode, while the negative polarity electrode has better effect on surface quality than the positive when measured by Ra but there will be micro-cracking on the surface. The experiment shows that the best processing capability is at 100 μ s on-time, 2 μ s off-time, 14 A discharge current and positive polarity electrode, in which the MRR in experiment was 15.63 mm³/min and the EWR is 0.52 percent.

Keywords : EDM, Electrode, AISI P20.

1. บทนำ

การกัดเซาะด้วยไฟฟ้า (Electrical Discharge Machine) เป็นกระบวนการที่นิยมนำมาใช้ในการแปรรูปวัสดุชิ้นงานที่มีความแข็งแรงสูง และยากต่อการแปรรูปด้วยกระบวนการทางกล [1] หลักการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าเป็นการแยกอนุภาคของวัสดุด้วยความร้อน [2] ที่เกิดจากการจ่ายกระแสไฟฟ้า (Impulse Duration) หรือเรียกว่า เวลาเปิด (On Time) สลับกับการหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า (Pause Duration) หรือเรียกว่า เวลาปิด (Off Time) เกิดเป็นวัฏจักร (Cycle Time) ซ้ำๆ กัน ซึ่งจากการปรับเวลาเปิดและเวลาปิดจะทำให้เกิดปัจจัยประสิทธิภาพ (Pulse Duty Factor) และความถี่ (Frequency) โดยมีความสัมพันธ์กัน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วัฏจักรการสปาร์ค

จากรูปที่ 1 หนึ่งวัฏจักรการสปาร์คหมายถึงผลรวมของเวลาเปิดกับเวลาปิด

$$Cycle Time(\mu s) = On Time + Off Time \quad (1)$$

เมื่อเทียบร้อยละของเวลาเปิดต่อหนึ่งวัฏจักรการสปาร์คจะเรียกว่าปัจจัยประสิทธิภาพ

$$Pulse Duty Factor(\%) = \frac{On Time \times 100}{(Cycle Time)} \quad (2)$$

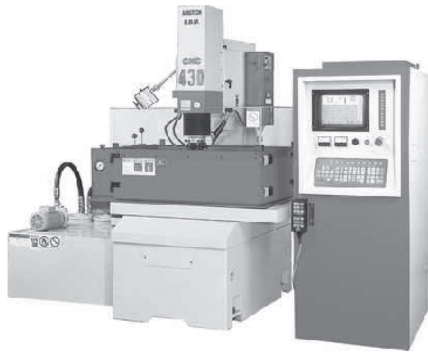
เมื่อทำการคำนวณจำนวนครั้งของวัฏจักรการสปาร์คต่อหน่วยเวลาจะกลายเป็นความถี่ของการสปาร์ค

$$Frequency (Cycle per sec) = \frac{1(sec)}{Cycle Time (\mu sec)} \quad (3)$$

จากความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับเวลาเปิดหรือเวลาปิดจะมีผลต่อการเกิดปัจจัยประสิทธิภาพ และความถี่ในการสปาร์คที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปรรูปวัสดุชิ้นงาน โดยจะประเมินได้จากอัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ตลอดจนคุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ย ซึ่งทางคณะผู้วิจัยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย เวลาเปิด เวลาปิด ขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรด และกระแสไฟฟ้า [3] เพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการแปรรูปวัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20

2.วิธีการวิจัย

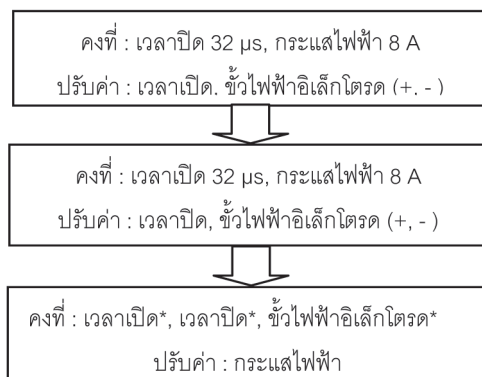
งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแปรรูปวัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 โดยกำหนดพารามิเตอร์หลักที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย เวลาเปิด เวลาปิด ขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรด และกระแสไฟฟ้า สำหรับกัดเซาะด้วยไฟฟ้า โดยใช้เครื่องยี่ห้อ Aristech รุ่น 3D-CNC430 ดังแสดงในรูปที่ 2 ทำการกัดเซาะวัสดุชิ้นงานเป็นหลุมลึก 5 มิลลิเมตร ด้วยวัสดุอิเล็กโทรดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ภายใต้การปกคลุมของสารไดอิเล็กทริกที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอน (Shell EDM Fluid 2A) ตลอดจนระบายความร้อนและขจัดเศษแบบฉีดจากด้านข้างด้วยแรงดัน 1 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร โดยมีอัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 2 เครื่องกัดเซาะด้วยไฟฟ้ายี่ห้อ Aristech รุ่น 3D-CNC 430 [5]

การออกแบบการทดลองด้วยเงื่อนไขของพารามิเตอร์เวลาเปิด เวลาปิด และกระแสไฟฟ้าเป็นค่าแบบต่อเนื่องจึงกำหนดค่าเป็นระดับได้ ส่วนข้อไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เป็นค่าแบบไม่ต่อเนื่องสามารถกำหนดได้เป็นบวก หรือลบเท่านั้น

การทดลองปรับเวลานั้นจะคงที่เวลาปิด และในการทดลองเวลาปิดจะคงที่เวลาเปิดเพื่อให้เหลือพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าเพียงตัวเดียว การเลือกคงที่ของค่าเวลาเปิด และเวลาปิดจะเลือกจากค่าที่ทำให้หัวแปรงอิสระ (ปัจจัยประสิทธิภาพ หรือความถี่) มีค่าเท่ากัน อีกทั้งการเพิ่มขึ้นแต่ละระดับขึ้นจะต้องใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและแสดงความสัมพันธ์ ทั้งนี้ระดับของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองสำหรับการปรับเวลาเปิด และเวลาปิดจะคงที่ตามหลักการกำหนดค่ากระแส 0.1 แอมแปร์ต่อตารางมิลลิเมตร ตามกฎ Rule of Thumb สำหรับการกัดเซาะแบบหยาบ [2] โดยมีแผนการทดลองปรับพารามิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนการทดลอง *เลือกใช้ค่าที่ให้การแปรรูปสูง

2.1 การปรับระดับพารามิเตอร์เวลาเปิด

การปรับพารามิเตอร์เวลาเปิดจะกำหนดโดยคำนวณค่าเวลาเปิดและเวลาปิดทุกระดับที่เครื่องกัดเซาะด้วยไฟฟ้ายี่ห้อ Aristech รุ่น 3D-CNC430 สามารถปรับได้ [5] ให้อยู่ในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพ และความถี่ โดยใช้สมการที่ 2 และ 3 ซึ่งพบว่าที่เวลาเปิดและปิดคงที่ 32 ไมโครวินาที ทำให้มีค่าเท่ากัน และมีการเพิ่มขึ้นแต่ละระดับขึ้นจะต้องใกล้เคียงกันมากที่สุด จึงกำหนดเวลาดังกล่าวเป็นค่าคงที่ และปรับเวลาเปิดในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะทำให้การทดลองทั้งอิเล็กทรอนิกส์ขั้วบวกและลบ ทั้งนี้ระดับที่ระดับกระแสไฟฟ้า จากพื้นที่หน้าตัดต่อระดับกระแส $= (\pi \times 5^2) \times 0.1 = 7.86$ ประมาณ 8 แอมแปร์ [2] และควบคุมเงื่อนไขในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ระดับพารามิเตอร์เวลาเปิด

ลำดับ	เวลาเปิด (μs)	เวลาปิด (μs)	ปัจจัยประสิทธิภาพ (%)	ความถี่ (Cycle per sec)
1	2	32	6	29412
2	10	32	24	23810
3	20	32	38	19231
4	32	32	50	15625
5	50	32	61	12195
6	100	32	76	7576
7	200	32	86	4310
8	510	32	94	1845

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ควบคุมในการทดลอง

ลำดับ	พารามิเตอร์ควบคุม	รายละเอียด
1	ข้อไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์	+, -
2	ความต่างศักย์วงจรไฟฟ้า (V)	150
3	กระแสไฟฟ้า (A)	8
4	เวลาแช่ Down Time (sec)	0.5
5	เวลาก Jump Time (sec)	0.5
6	สารไดอิเล็กตริก	Shell EDM Fluid 2 A
7	ขจัดเศษแบบฉีดด้านข้าง	แรงดัน 1 Kg/cm ² , อัตราการไหล 15 l/min

2.2 การปรับระดับพารามิเตอร์เวลาเปิด

การปรับพารามิเตอร์เวลาเปิดจะทำการคงที่เวลาเปิด 32 ไมโครวินาที โดยใช้การคำนวณเช่นเดียวกับการปรับเวลาเปิดซึ่งในการปรับเวลาเปิดนั้นจะใช้พารามิเตอร์ควบคุมในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 และปรับค่าเวลาเปิดที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับพารามิเตอร์เวลาเปิด

ลำดับ	เวลาเปิด (μs)	เวลาปิด (μs)	ปัจจัย ประสิทธิภาพ (%)	ความถี่ (Cycle per sec)
1	32	510	6	1845
2	32	100	24	7575
3	32	50	39	12195
4	32	32	50	15625
5	32	20	61	19230
6	32	10	76	23810
7	32	4	89	27777
8	32	2	94	29412

2.3 การปรับระดับกระแสไฟฟ้า

การปรับระดับกระแสไฟฟ้าจะคงที่ระยะเวลาเปิดเวลาปิด และชั่วไฟฟ้าที่มีความสามารถในการแปรรูปสูง กล่าวคือมีอัตราการขจัดเนื้องานสูง อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำ ซึ่งได้จากการทดลองในการปรับเวลาเปิด และเวลาปิด ส่วนค่าระดับกระแสไฟฟ้ากำหนดที่ระดับ 2, 5, 8, 11, 14, 17 และ 20 แอมแปร์ โดยมีพารามิเตอร์ควบคุมดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ควบคุมในการทดลองปรับค่ากระแส

ลำดับ	พารามิเตอร์ควบคุม	รายละเอียด
1	เวลาเปิด (μs)	100
2	เวลาปิด (μs)	2
3	ชั่วไฟฟ้าอิเล็กโทรด	+
4	ความต่างศักย์วงจรไฟฟ้า (V)	150
5	กระแสไฟฟ้า (A)	2,5,8,11,14,17,20
6	เวลาแช่ Down Time (sec)	0.5
7	เวลายก Jump Time (sec)	0.5
8	สารไดอิเล็กตริก	Shell EDM Fluid 2 A
9	ขจัดเศษแบบฉีดด้านข้าง	แรงดัน 1 Kg/cm ² , อัตราการไหล 15 l/min

2.4 การวัดอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR : Materials Removal Rate)

อัตราการขจัดเนื้องานสามารถคำนวณได้จากปริมาตรเนื้อวัสดุชิ้นงานที่ถูกขจัดออกต่อหน่วยเวลาที่ใช้ โดยใช้สมการที่ 4 ซึ่งในการทดลองสามารถบันทึกระยะเวลาการทำงานได้จากจอภาพแสดงการทำงานของเครื่องกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า

$$MRR(mm^3 / min) = \frac{Volume\ Removed\ (mm^3)}{Machining\ Time\ (min)} \quad (4)$$

2.5 การวัดอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR : Electrode Wear Ratio)

อัตราการสึกหรออิเล็กโทรดในการทดลองนี้จะใช้วิธีการวัดแบบสามมิติ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบปริมาตรของอิเล็กโทรดที่สึกหรอต่อปริมาตรเนื้องานที่ถูกขจัดออก โดยในการทดลองนี้ใช้การตรวจสอบขนาดอิเล็กโทรดก่อนการสปาร์ค เทียบกับขนาดอิเล็กโทรดหลังการสปาร์ค และปริมาตรเนื้องานที่ถูกขจัดออกโดยใช้เทคนิคเลเซอร์สแกน (TDS 1622PH) ร่วมกับเครื่องวัดพิกัดแบบสามมิติ (CMM : Coordinate measuring machine) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น Beyond-Crystal C 776 แล้วจึงคำนวณค่าการสึกกร่อนออกมาในรูปของอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดด้วยสมการที่ 5

$$EWR(\%) = \frac{Electrode\ Wear\ (mm^3) \times 100}{Workpiece\ Wear\ (mm^3)} \quad (5)$$

2.6 การวัดความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra : Arithmetical Mean Roughness)

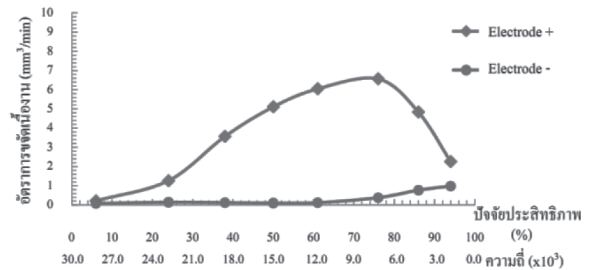
การวัดคุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ย เป็นการวัดร่องรอยพื้นผิววัสดุชิ้นงานที่เกิดการกัดเซาะเนื่องจากการสปาร์ค โดยทำการวัดด้วยเครื่องมือวัดความหยาบผิวยี่ห้อ Marh รุ่น PS1 ซึ่งกำหนดความยาวของช่วงการวัด (Lc) 0.8 มิลลิเมตร จำนวนครั้งการวัด (n) 5 และระยะความยาวของการวัด (ln) 4 มิลลิเมตร [6] โดยในการวัดชิ้นงานหนึ่งชิ้นจะทำการวัดในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 5 ตำแหน่งแล้วจึงคำนวณค่าเฉลี่ยและบันทึกผล

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

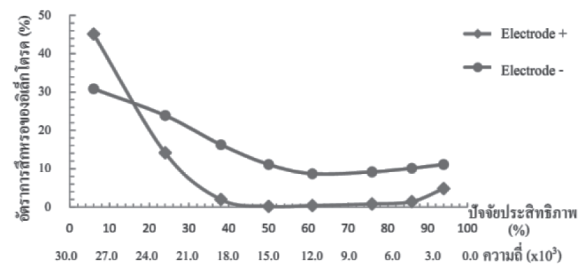
จากพื้นฐานฟังก์ชันการปรับค่าเวลาเปิดและเวลาปิดเมื่อค่ามากขึ้นช่วงความกว้างของแต่ละระดับก็จะมากขึ้นตาม จึงทำให้ยากต่อการแสดงความสัมพันธ์ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงแสดงผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาเปิด และเวลาปิดอยู่ในรูปของปัจจัยประสิทธิภาพที่มีผลต่อความสามารถในการแปรรูป

3.1 ผลการทดลองปรับพารามิเตอร์เวลาเปิด

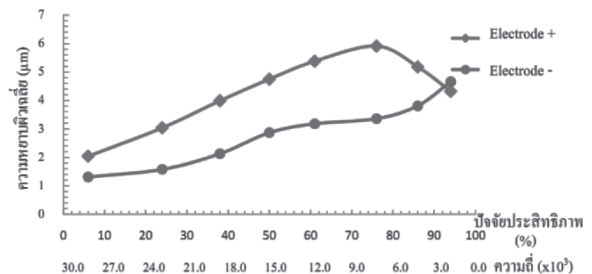
ผลการทดลองจากการปรับพารามิเตอร์เวลาเปิด (เมื่อเวลาเปิดมากขึ้นปัจจัยประสิทธิภาพจะเพิ่มมากขึ้นและ ความถี่จะลดลง) อัตราการจัดเนื้องานแปรผันตามโดยเมื่อเวลาเปิดมากขึ้นกว่า 100 ไมโครวินาที (ปัจจัยประสิทธิภาพ 76 %) จะทำให้อัตราการจัดเนื้องานลดลงดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4 ในส่วนของอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดจะลดลงเมื่อเวลาเปิดเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 5 ทั้งนี้เวลายังมีผลต่อความหนาผิวเคลือบที่แปรผันตามดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นการแปรผันในลักษณะเดียวกันกับอัตราการจัดเนื้องาน โดยเมื่อพารามิเตอร์เวลาเปิดเมื่อเกินกว่า 100 ไมโครวินาที จะทำให้อัตราการจัดเนื้องานลดลงเนื่องจากเวลาเปิดเป็นช่วงเวลาที่ทำให้เกิดความร้อนสะสม [7,8] สูงมากพอที่ทำให้เกิดการหลอมละลายและเย็นตัวใหม่ของวัสดุ [9,10] เป็นเหตุให้อัตราการจัดเนื้องานลดลง ในส่วนของอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดที่ลดลงเมื่อเวลาเปิดเพิ่มมากขึ้นเกิดจากความร้อนที่สูงทำให้เกิดการแตกตัวของสารไดอิเล็กตริกที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนออกเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนที่มีประจุเป็นลบดึงดูดธาตุในบริเวณโดยรอบเข้าไปยึดเกาะผิววัสดุที่มีสภาพขรุขระเป็นบวม [11,12] ซึ่งจะเห็นได้ว่าผิวอิเล็กโทรดที่เป็นบวมนั้นจะให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดที่ต่ำกว่าขลุบ ซึ่งจากการพิสูจน์โดยการตรวจสอบธาตุผสมบนพื้นผิววัสดุอิเล็กโทรดก่อนการสปาร์ค สปาร์คแล้วเกิดสึกหรอสูง และสปาร์คแล้วเกิดการสึกหรอต่ำ ด้วยกระบวนการ SEM-EDS พบธาตุเจือปนดังแสดงในตารางที่ 5 ทั้งนี้สิ่งเจือปนบนพื้นผิววัสดุจะเกิดเป็นชั้นฟิล์มออกไซด์จากการหลอมละลายและเกิดการแพร่ของคาร์บอนและออกซิเจนเข้าไปในเนื้อวัสดุในรูปของ Internal Oxidation [13,14]



รูปที่ 4 อัตราการจัดเนื้องานจากการปรับระยะเวลาเปิด



รูปที่ 5 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดจากการปรับเวลาเปิด



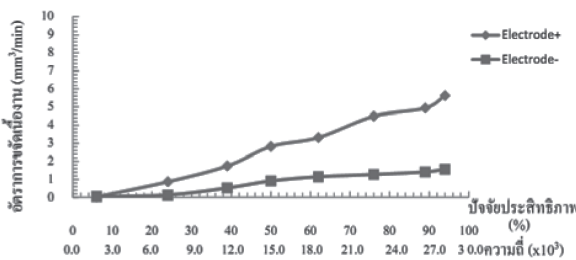
รูปที่ 6 ความหนาผิวเคลือบของชิ้นงานจากการปรับเวลาเปิด

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุบนพื้นผิววัสดุอิเล็กโทรดทองแดง

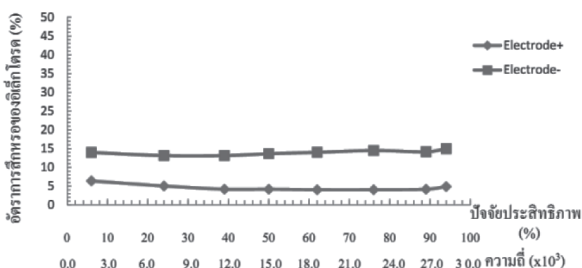
ธาตุผสม	ปริมาณธาตุบนพื้นผิวอิเล็กโทรด (%Wt)		
	ก่อนการสปาร์ค	เกิดการสึกหรอสูง	เกิดการสึกหรอต่ำ
C	4.32	20.55	39.63
O	1.84	5.55	9.61
Cu	93.84	64.32	24.58
Si	-	-	0.27
Cl	-	-	0.27
Cr	-	-	0.72
Fe	-	9.58	24.92
รวม (%)	100	100	100

3.2 ผลการทดลองปรับพารามิเตอร์เวลาปิด

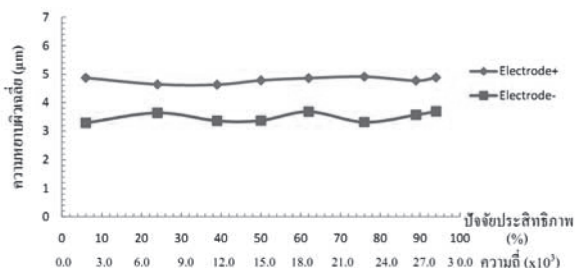
ผลการทดลองจากการปรับพารามิเตอร์เวลาปิด (เมื่อเวลาปิดมากขึ้นปัจจัยประสิทธิภาพและความถี่จะลดลง) มีผลให้อัตราการขจัดเนื้องานแปรผกผันโดยแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาปิดลดลง ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 7 และมีผลกระทบต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ตลอดจนคุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ยน้อยมาก ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเวลาปิดลดลงจะทำให้อัตราการขจัดเนื้องานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการคงที่เวลาเปิด เมื่อปรับเวลาปิดลดลงจะทำให้สัดส่วนของการไหลของประจุไฟฟ้า (เวลาปิด) ต่อเวลารวมในหนึ่งวัฏจักรมากขึ้น (ปัจจัยประสิทธิภาพและความถี่มากขึ้น) ทั้งนี้เวลาปิดเป็นพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดการขจัดเศษและระบายความร้อนเพื่อรักษาความเสถียรของพื้นที่ผิวสปรัดจึงทำให้มีผลต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด และความหยาบผิวเฉลี่ยน้อยมาก



รูปที่ 7 อัตราการขจัดเนื้องานจากการปรับระยะเวลาปิด



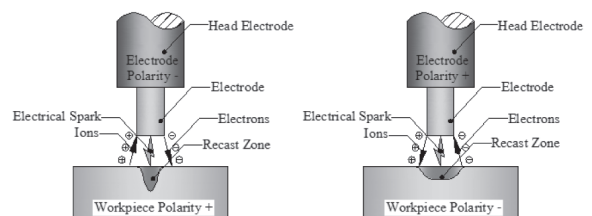
รูปที่ 8 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดจากการปรับเวลาปิด



รูปที่ 9 ความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานจากการปรับเวลาปิด

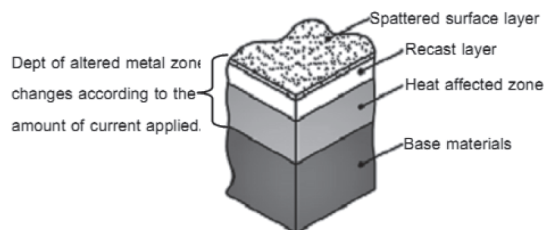
3.3 ผลการทดลองปรับพารามิเตอร์ชั่วไฟฟ้าอิเล็กโทรด

การทดลองปรับชั่วไฟฟ้าอิเล็กโทรดจากการปรับเวลาเปิด และเวลาปิด พบว่าชั่วไฟฟ้าอิเล็กโทรดที่เป็นบวกมีผลทำให้ความสามารถในการแปรรูปวัสดุชิ้นงานหลักกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 สูงกว่าชั่วลบ (อัตราการขจัดเนื้องานสูง อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำ) เกิดจากชั่วไฟฟ้าอิเล็กโทรดที่เป็นบวก (DCEP) จะเกิดความร้อนจากการสปาร์คบนพื้นผิววัสดุชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชั่วไฟฟ้าอิเล็กโทรดที่เป็นลบ (DCEN) นั้นจะเกิดความร้อนที่ผิววัสดุชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ [15] แต่มีอัตราการขจัดเนื้องานต่ำกว่า เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเกิดการซึมลึกลงไปใ้เนื้อวัสดุชิ้นงาน [16] ดังแสดงในรูปที่ 12 เมื่อขจัดเศษออกด้วยสว่านไดอิเล็กตริกนั้น จะเกิดการขจัดเฉพาะพื้นผิวจึงทำให้บริเวณของการซึมลึกเกิดการเย็นตัวใหม่ (Recast) [10] ดังแสดงชั้นที่ไดรับผลกระทบจากการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าในรูปที่ 11 ทั้งนี้ในส่วนของการสึกหรอของอิเล็กโทรดชั่วบวกเกิดขึ้นต่ำกว่าชั่วลบเนื่องจากการเกิดขึ้นเคลือบของวัสดุอิเล็กโทรด



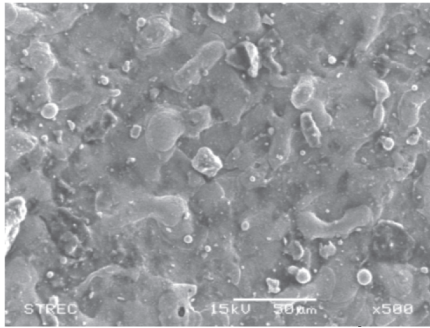
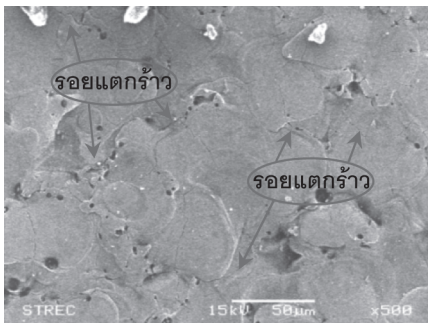
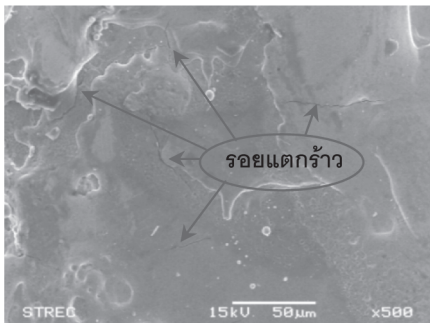
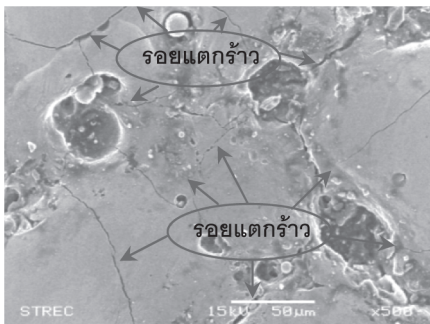
ก) ความร้อนที่ขึ้นงาน 70% ข) ความร้อนที่ขึ้นงาน 30%

รูปที่ 10 ชนิดของชั่วไฟฟ้าอิเล็กโทรดที่มีผลต่อความร้อน



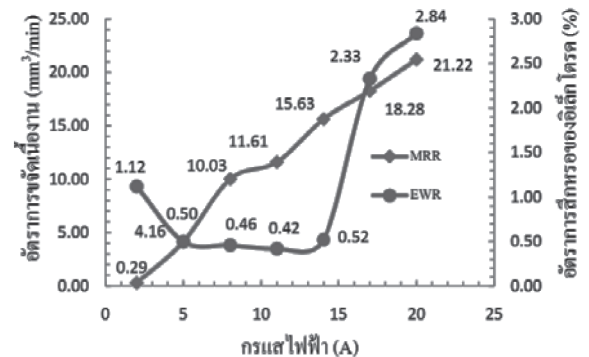
รูปที่ 11 ผลจากความร้อนในการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า [17]

จากการศึกษาคุณภาพผิวงานโดยภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจากการปรับชั่วไฟฟ้าอิเล็กโทรดต่างกันยังพบว่าชั่วอิเล็กโทรดที่เป็นลบนั้นส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กบนผิววัสดุชิ้นงานในปริมาณที่มากกว่าชั่วอิเล็กโทรดไฟฟ้าที่เป็นบวก ดังแสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 12 ถึง 15

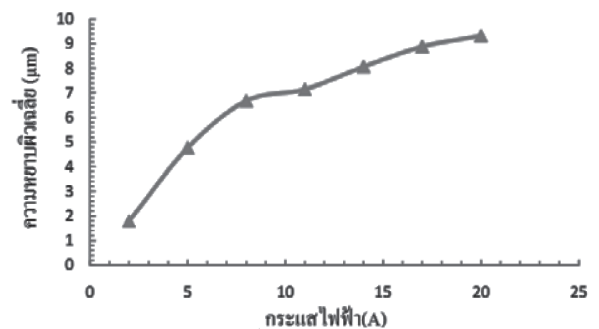
รูปที่ 12 เวลาเปิด 2 μ s อิเล็กโตรดขั้วบวกรูปที่ 13 เวลาเปิด 2 μ s อิเล็กโตรดขั้วลบรูปที่ 14 เวลาเปิด 100 μ s อิเล็กโตรดขั้วบวกรูปที่ 15 เวลาเปิด 100 μ s อิเล็กโตรดขั้วลบ

3.4 ผลการทดลองปรับพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้า

การทดลองปรับพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้า พบว่า อัตราการกัดเนื้องานและความหนาผิววัสดุชิ้นงาน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งอัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรดจะเกิดขึ้นต่ำมากที่ระดับกระแสไฟฟ้า 5 ถึง 14 แอมแปร์ ดังแสดงผลในรูปที่ 16 และ 17 ทั้งนี้จากการปรับกระแสไฟฟ้าทำให้อัตราการกัดเนื้องาน และความหนาผิวมีแนวโน้มสูงมากขึ้น เนื่องจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สูงหมายถึงปริมาณประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนไหลในวงจรต่อหน่วยวินาทีในปริมาณมากซึ่งทำให้เกิดความร้อนสูง โดยจะส่งผลต่อเกิดความรุนแรงของการกัดเซาะ ซึ่งร่องรอยของการกัดเซาะที่หลงเหลืออยู่จะกลายเป็นลักษณะผิวงาน ทั้งนี้ที่ระดับกระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ จะเกิดขึ้นเคลือบที่ผิววัสดุอิเล็กโตรด อัตราการสึกหรอเริ่มลดลง จนกระทั่งระดับกระแสไฟฟ้าเกินกว่า 14 แอมแปร์ จะทำให้เกิดการสึกหรอของชั้นเคลือบและวัสดุอิเล็กโตรด



รูปที่ 16 อัตราการกัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรดจากการปรับกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 17 ความหนาผิวเฉลี่ยของชิ้นงานจากการปรับกระแสไฟฟ้า

4. สรุปผล

จากการทดลองปรับพารามิเตอร์เวลาเปิด เวลาปิด ขั้วไฟฟ้าอิเล็กโตรด และกระแสไฟฟ้า เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อการแปรรูปวัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) พารามิเตอร์เวลาเปิด และกระแสไฟฟ้ามีผลต่ออัตราการกำจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรด ตลอดจนความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุชิ้นงาน

2) พารามิเตอร์เวลาปิดมีผลต่ออัตราการกำจัดเนื้องาน ซึ่งเมื่อเวลาปิดลดลงอัตราการกำจัดเนื้องานจะเพิ่มมากขึ้น และมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรดและความหยาบผิวน้อยลง

3) พารามิเตอร์ขั้วไฟฟ้าอิเล็กโตรดมีผลต่อความสามารถในการแปรรูปวัสดุชิ้นงาน โดยขั้วไฟฟ้าอิเล็กโตรดที่เป็นบวกให้อัตราการกำจัดเนื้องานที่สูง และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรดที่ต่ำกว่าขั้วไฟฟ้าอิเล็กโตรดที่เป็นลบ

4) พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20 จากการทดลองพบว่า เวลาเปิดที่ 100 ไมโครวินาที เวลาเปิดที่ 2 ไมโครวินาที ขั้วอิเล็กโตรดไฟฟ้าเป็นบวก กระแสไฟฟ้าที่ 14 แอมแปร์ มีอัตราการกำจัดเนื้องาน 15.63 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรด 0.52 เปอร์เซ็นต์ และมีความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุชิ้นงาน 8.07 ไมโครเมตร

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] E. Bud Guitrau, The EDM handbook. Handser Gardener publication Cincinnati ; 1997.
- [2] B. Thomas, Technology of electrical discharge machining. Druckerei Helene, 6102;1997.
- [3] Amorim F.L, and Weingaertner W.L. The influence of generator actuation mode and process parameters on the performance of finish EDM of a tool steel. Journal of Materials Processing Technology, 2005; Vol.166 : 411-416.
- [4] Kiyak M, Cakir O, Examination of machining parameters on surface roughness in EDM of tool steel. Journal of Materials Processing Technology, 2007; Vol.191: 141-144.
- [5] Lien S, Instruction Manual Aristech 3D-CNC EDM. Mechanical & Electrical Co., LTD.
- [6] Mahr GmbH, Handleiding Marsurf PS1,D37073 Gottingen Germany, 2007.
- [7] Harminder S, Experimental study of distribution of energy during EDM process for utilization in thermal models. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2012 : 5053-5064
- [8] Rittichai P, Kamonpong J, Pichai J, Apiwat M. Heat effect of hardness in tool steel AISI P20 from Electric discharge machine (EDM) by Finite element Analysis, Industrial engineering network conference; 2009 October 21-22: Khonkaen: Thailand; 2009. p. 1185-1189.
- [9] Thomas R, Sheyes N, Thomas R, Rosa M, Laura R, 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. 2009 : A 513-514: 208-215.
- [10] Yanzhen Z, Yonghong L, Renjie J, Baoping C. Study of the recast layer of a surface machined by sinking electrical discharge machining using water-in-oil emulsion as dielectric. Applied Surface Science. 2011;257 :5989-5997.

- [11] Marafona J, Black layer characterization and electrode wear ratio in electrical discharge machining. *Journal of Materials Processing Technology*. 2007 ; 184 : 27-31.
- [12] Ekmekci B, Residual stresses and white layer in electric discharge machining (EDM). *Applied Surface Science*. 2007 ; 253 : 9234-9240.
- [13] Colin T, Richard H, Robert G, Internal oxidation of cast iron artifacts from an 18th- century steel cementation furnace. *Journal of Archaeological Science*. 2012 ; 39 : 2714 - 272.
- [14] An X, Cawley J, Rainforth WM, Chen L. A study of internal oxidation in carburized steels by glow discharge optica emission spectroscopy and scanning electron microscopy. *Spectrochimica Acta Part B* 58. 2003 : 689–698.
- [15] Tenghongcharean S, *Welding Engineering*. Bangkok: Sounsongsermwechaken ; 2549 (In Thai).
- [16] Thanapong P, Kontorn C, Keerati S. Effect of welding parameter on pitch angle for electronic circuit process. *KKU Engineering Journal*. 2012;39(1): 59-67
- [17] Kumar S, Singh R, Singh T.P, Sethi B.L. Surface modification by electrical discharge machining: A review. *Journal of Materials Processing Technology* 2009 ; 209: 3675–36 87.