



การประยุกต์ใช้เหล็กกล้าไร้สนิม 304 ในการแปรรูปทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยไฟฟ้า Stainless steel electrode on Electrical Discharge Machining of Tungsten Carbide

รัตติกรณ์ เสาร์แดน^{1*} ศิริชัย ต่อสกุล² พิชัย จันทรมณี³ นรา บุรีพันธ์⁴

^{1,4} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10160

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

³ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10120

Email: toonna009@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของวัสดุอิเล็กโทรดเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ในการแปรรูปวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ (90WC-10Co) ด้วยกระบวนการอีดีเอ็ม โดยการปรับขั้วอิเล็กโทรด (Electrode Polarity) และระดับปัจจัยประสิทธิภาพ (Duty Factor) จากเวลาเปิด (On-Time) ปรับปัจจัยประสิทธิภาพจากเวลาปิด (Off-Time) ทั้งนี้วัดความสามารถของวัสดุอิเล็กโทรดในรูปของอัตราการกำจัดเนื้องาน (MRR : Materials Removal Rate) และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR : Electrode Wear Ratio) ตลอดจนวัดผลกระทบที่มีต่อคุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra : Arithmetical mean roughness) ซึ่งจากการทดลองพบว่าวัสดุอิเล็กโทรดสแตนเลส SUS 304 มีความสามารถในการทำงานสูงสุดในการสแปร์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยขั้วลบ เนื่องจากให้อัตราการกำจัดเนื้องานที่สูงกว่าขั้วบวก โดยใช้ระดับปัจจัยประสิทธิภาพที่ 94 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากให้อัตราการกำจัดเนื้องานที่สูงถึง 0.215 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที ในขณะที่ให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด 770 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความหยาบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 4.263 ไมโครเมตร

คำหลัก เหล็กกล้าไร้สนิม 304, ทั้งสแตนคาร์ไบด์, อิเล็กโทรด

1. บทนำ

แม่พิมพ์ต้นแบบ (Mold/Die) ซึ่งผลิตจากวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC-Co) ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) กล่าวคือจะต้องมีความแข็งสูง (High Hardness) ความแข็งแรงสูง (High Strength) ความต้านทานการสึกหรอสูง (High Wear Resistance) ความต้านทานความร้อนสูง (High Heat Resistance) [1-4] ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ด้านยานยนต์ แม่พิมพ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ และแม่พิมพ์ทางด้านการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวัสดุเครื่องมือที่มีคุณสมบัติ

ดังที่กล่าวมาทั้งสิ้น สำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษมักประสบปัญหาการแปรรูปเนื่องจากกรรมวิธีการแปรรูปทางกล เช่น การกลึง การเจาะ การกัด กระทำได้ยาก ดังนั้นจึงต้องใช้กรรมวิธีการแปรรูปที่พิเศษคือ กรรมวิธีการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า หรือกรรมวิธีการอีดีเอ็ม (EDM: Electrical Discharge Machining) [2] ในปัจจุบันทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide, WC-Co) ได้เป็นวัสดุที่กำลังเป็นที่นิยมสำหรับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมแม่พิมพ์, อุตสาหกรรมยานยนต์, อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ และอุตสาหกรรมพลาสติก เป็นต้น การแปรรูปทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM : Electrical Discharge Machine) เป็นวิธีที่ใช้มากที่สุด [2] เนื่องจากทั้งสแตนคาร์ไบด์มีความแข็งเกินกว่าที่จะใช้การแปรรูปด้วยวิธีธรรมดาทั่วไปได้ และได้มีการพัฒนาและปรับปรุงเทคนิคต่างๆ ขึ้นมาเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่เกิดขึ้น การตัดสินใจของผู้ประกอบการว่าจะเลือกใช้เทคนิคหรือ โดยทั่วไปแล้วการแปรรูปทั้งสแตนคาร์ไบด์ ด้วยการอีดีเอ็ม (EDM) มักนิยมใช้อิเล็กโทรดทองแดง-ทั้งสแตน (Cu-W), เงิน-ทั้งสแตน (Silver-Tungsten), ทองแดง-แกรไฟต์ (Copper Graphite), แกรไฟต์ (Graphite) รองลงมาเป็นทองแดง (Cu), ทองเหลือง (Brasses) และวัสดุอื่นๆ เป็นต้น โดยวัสดุอิเล็กโทรด 3 ชนิดแรก เป็นอิเล็กโทรดที่ใช้กันในปัจจุบัน [2-3] เนื่องจากเป็นวัสดุอิเล็กโทรดที่กัดชิ้นงานได้เร็ว ขึ้นรูปได้ง่าย แต่มีราคาสูงมาก ส่วนอิเล็กโทรดทองเหลือง และเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นวัสดุที่เมื่อนำมาเป็นอิเล็กโทรดแล้ว จะมีอัตราการสึกหรอสูง ซึ่งมีราคาถูกมาก เมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่นที่กล่าวมา ดังนั้นการพิจารณาถึงประเด็นนี้ทำให้วัสดุอิเล็กโทรดดังกล่าวนี้เป็นที่น่าสนใจมากขึ้น ที่จะนำมาพิจารณาศึกษาเพิ่มเติมในด้านการประยุกต์สำหรับแปรรูปวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะศึกษาผลกระทบในการประยุกต์ใช้อิเล็กโทรดเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ในการแปรรูปอิเล็กโทรดในการอีดีเอ็มวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์อัตราการแปรรูปชิ้นงาน อัตราการสึกหรอ และคุณภาพผิวงาน เพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ และสามารถที่



จะลดต้นทุนด้านราคาในการเลือกใช้วัสดุได้อย่างเหมาะสม ตลอดจนเป็นการส่งเสริมศักยภาพในการพัฒนางานอุตสาหกรรม และสามารถต่อยอดไปสู่ระดับการพัฒนาความเจริญเติบโตในด้านอื่นๆ ต่อไป

2.วิธีการทดลอง

การทดลองนี้ทำการศึกษาความสามารถของวัสดุอิเล็กโตรดเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ซึ่งมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1 กัดลงบนวัสดุชิ้นงานที่เป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์ WC-Co ซึ่งมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2 ด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า EDM รุ่น Aristech CNC 430 ดังแสดงในรูปที่ 1 ในการทดลองทำการได้สปาร์กกัดเป็นหลุมลึก 1 มิลลิเมตร ด้วยขั้วอิเล็กโตรดบวกและลบภายใต้สารไดอิเล็กทริกไฮโดรคาร์บอนชนิด Shell EDM Fluid 2A

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304

คุณสมบัติ	เหล็กกล้าไร้สนิม 304
ความหนาแน่น	8.00 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	1400 - 1450 °C
ความต้านทานไฟฟ้า	0.072x10 ⁻⁶ Ω.m
ความแข็ง Rockwell B	92

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของทั้งสแตนคาร์ไบด์

คุณสมบัติ	ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC)
ความหนาแน่น	15.7 g / cm ³ 2800 °C
จุดหลอมเหลว	2800 °C
ความแข็ง Rockwell C	83 HRC
ส่วนผสม (%Wt)	WC90% , Co10%



รูปที่ 1 เครื่อง EDM รุ่น Aristech CNC 430

3. การทดลองปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพจากเวลาเปิดและเวลาปิด

ค่าปัจจัยประสิทธิภาพ (Duty Factor) เป็นการคำนวณประสิทธิภาพการทำงานในหนึ่งวัฏจักรของการสปาร์กซึ่งมีผลต่อการการแปรรูปในกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า โดยสามารถคำนวณได้จากเวลาเปิด (Time-on) ต่อเวลาในหนึ่งวัฏจักรของการสปาร์ก (On Time + Off Time) โดยแสดงผลการคำนวณออกมาเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในสมการที่ 1 ได้ดังนี้ [6]

$$\text{Duty Factor (\%)} = \frac{\text{Time-on}}{\text{Time-on} + \text{Time-off}} \times 100 \quad (1)$$

ซึ่งในการทดลองนี้จะควบคุมสภาวะการทำงานดังที่ตามตารางที่ 3 ปรับระดับปัจจัยประสิทธิภาพจากเวลาเปิดโดยคงที่เวลาปิดที่ 32 ไมโครวินาที และปรับระดับปัจจัยประสิทธิภาพจากเวลาเปิดโดยคงที่เวลาเปิดที่ 32 ไมโครวินาที เนื่องจากเมื่อนำไปคำนวณตามสมการที่ 1 จะทำให้ได้ระดับค่าปัจจัยประสิทธิภาพเท่ากัน และมีระดับการเพิ่มของแต่ละระดับปัจจัยประสิทธิภาพใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าตัวแปรคงที่ในการทดลอง

ขั้วประจุอิเล็กโตรด(+,-)	+ , -
กระแสไฟฟ้า(A)	6
ค่าความต่างศักย์(V)	150

ตารางที่ 4 ระดับปัจจัยประสิทธิภาพจากการปรับเวลาเปิด

เวลาเปิด (μs)	เวลาปิด (μs)	ปัจจัยประสิทธิภาพ (%)
2	32	6
10	32	24
32	32	50
100	32	76
510	32	94

ตารางที่ 5 ระดับปัจจัยประสิทธิภาพจากการปรับเวลาเปิด

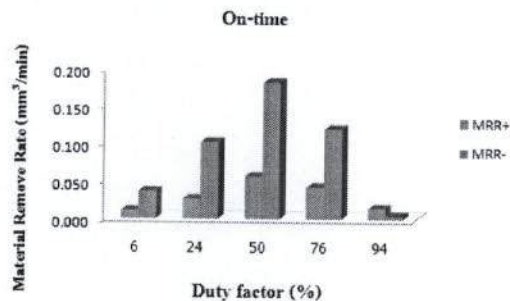
เวลาเปิด (μs)	เวลาปิด (μs)	ปัจจัยประสิทธิภาพ (%)
32	510	6
32	100	24
32	32	50
32	10	76
32	2	94

4. ผลการทดลอง

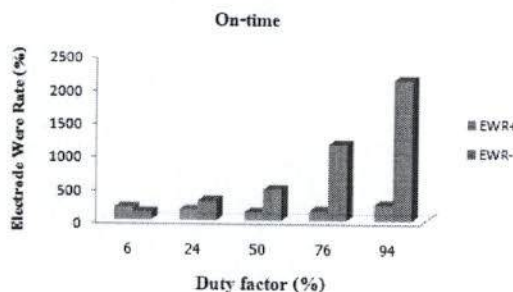
4.1 ผลการทดลองปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพจากเวลาเปิด



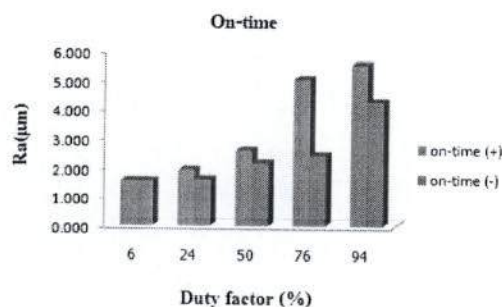
จากการทดลองพบว่าการสปาร์ควัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ ด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นโดยการปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพจาก เวลาเปิดนั้นขั้วอิเล็กโทรดเป็นลบให้อัตราการจัดเนื้องานสูงกว่า ขั้วบวกทุกระดับปัจจัยประสิทธิภาพดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 2 โดยทั้งคู่นั้นให้อัตราการจัดเนื้องานสูงสุดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 50 เปอร์เซนต์ โดยขั้วลบให้อัตราการจัดเนื้องานสูงสุด 0.183 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที และ 0.057 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับขั้วบวก ในส่วนของอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดนั้นขั้ว ลบให้อัตราการสึกหรอที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับปัจจัย ประสิทธิภาพ และให้อัตราการสึกหรอที่สูงกว่าขั้วบวกดังแสดงผล การทดลองในรูปที่ 3 สำหรับผลกระทบที่มีต่อคุณภาพผิวงานในรูป ของความหยาบผิวเฉลี่ยนั้นพบว่า ขั้วลบให้ค่าความหยาบผิวที่ต่ำ กว่าขั้วบวก โดยมีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1.545 ไมโครเมตร สำหรับขั้วลบ และ 1.555 ไมโครเมตร สำหรับขั้วบวก ที่ระดับปัจจัยประสิทธิภาพ 6 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4 และ แสดงลักษณะคุณภาพผิวงานที่เกิดจากการสปาร์ควัสดังรูปที่ 5



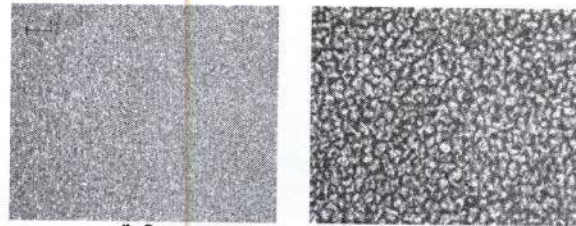
รูปที่ 2 อัตราการจัดเนื้องานโดยการปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพ จากเวลาเปิด



รูปที่ 3 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดโดยการปรับค่าปัจจัย ประสิทธิภาพจากเวลาเปิด



รูปที่ 4 คุณภาพผิวงานโดยการปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพจากเวลา เปิด



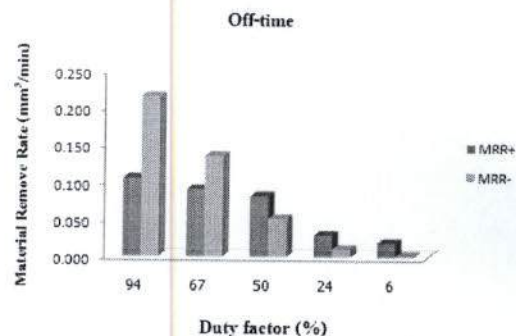
(ก) 1.545 ไมโครเมตร

(ข) 6.450 ไมโครเมตร

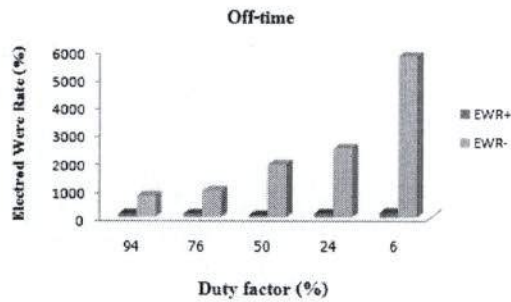
รูปที่ 5 ลักษณะผิวงานที่เกิดขึ้นหลังการสปาร์ควัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ ด้วยอิเล็กโทรดสแตนเลส SUS 304 กำลังขยาย 30 เท่า รูป ก การทดลองปรับค่าเวลาเปิดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 6 เปอร์เซนต์ ขั้วอิเล็กโทรดบวก ให้ค่าความหยาบผิวต่ำสุดที่ 1.545 μm รูป ข การทดลองปรับค่าเวลาเปิดที่ปัจจัย ประสิทธิภาพ 94 เปอร์เซนต์ ขั้วอิเล็กโทรดบวก ให้ค่า ความหยาบผิวสูงสุดที่ 6.450 μm

4.2 ผลการทดลองปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพจากเวลาปิด

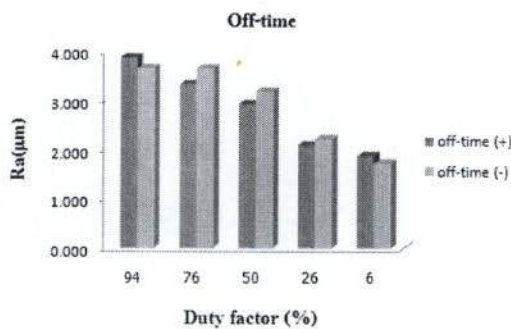
จากการทดลองพบว่าการสปาร์ควัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ ด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นโดยการปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพจาก เวลาปิดนั้นขั้วอิเล็กโทรดเป็นลบให้อัตราการจัดเนื้องานสูงกว่า ขั้วบวกทุกระดับปัจจัยประสิทธิภาพดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 6 โดยทั้งคู่นั้นให้อัตราการจัดเนื้องานเพิ่มสูงขึ้นตามระดับปัจจัย ประสิทธิภาพ โดยขั้วลบให้อัตราการจัดเนื้องานสูงสุด 0.215 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที และ 0.105 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับขั้วบวก ในส่วนของอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดนั้นขั้ว ลบให้อัตราการสึกหรอที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับปัจจัย ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และให้อัตราการสึกหรอที่สูงกว่าขั้วบวก ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 7 สำหรับผลกระทบที่มีต่อคุณภาพ ผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ยนั้นพบว่า ขั้วลบให้ค่าความ หยาบผิวที่ต่ำกว่าขั้วบวก โดยมีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1.726 ไมโครเมตร สำหรับขั้วลบ และ 1.998 ไมโครเมตร สำหรับ ขั้วบวกที่ระดับปัจจัยประสิทธิภาพ 6 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 6 อัตราการจัดเนื้องานโดยการปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพ จากเวลาปิด



รูปที่ 7 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดโดยการปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพจากเวลาปิด



รูปที่ 8 คุณภาพผิวงานโดยการปรับค่าปัจจัยประสิทธิภาพจากเวลาปิด

5. สรุป

วัสดุอิเล็กโทรดสแตนเลส SUS 304 มีความสามารถในการทำงานสูงสุดในการสปาร์คทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยขั้วลบเนื่องจากให้อัตราการขจัดเนื้องานที่สูงกว่าขั้วบวก โดยใช้ระดับปัจจัยประสิทธิภาพที่ 94 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากให้อัตราการขจัดเนื้องานที่สูงถึง 0.215 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที ในขณะที่มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด 770 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 4.263 ไมโครเมตร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณคุณบริษัท Miki (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] คุณยุต เอี่ยมสะอาด และคณะ.2550. "วิธีการทางทฤษฎีเพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานโลหะด้วยเลเซอร์" การประชุมวิชาการหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 21.
- [2] ณัฐดนัย ชื้อตระกูล.2550. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ "ผลกระทบของอิเล็กโทรด ต่อรอยแตกร้าวขนาดเล็กในทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ไฟฟ้า" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

- [3] ปิยะ ดำเนินวันตร์, จีรวรรณ คล้อยกันต์. 2550. "การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กเมื่อกัดวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะผง ชนิด 316L ด้วยเครื่องกัดขึ้นงานด้วยไฟฟ้า" การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7.
- [4] พิชัย จันทน์มณี, อภิวัฒน์ มุตตามระ.2552. "ผลกระทบพารามิเตอร์ในกระบวนการอีดีเอ็มวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยเทคนิคทฤษฎี" การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [5] สุชาติ มั่นหมาย, อนวัช เครือจันทร์. 2537. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. "การศึกษาการสึกหรอของอิเล็กโทรดชนิดแกรไฟต์ ของเครื่อง EDM". พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [6] อภิวัฒน์ มุตตามระ, อนันต์ เพ็ชรผิง. 2550. "การศึกษาการกัดขึ้นรูปโลหะด้วยไฟฟ้าด้วยอิเล็กโทรดหลายชนิด" การประชุมวิชาการหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 23.