

การประยุกต์ใช้วัสดุผงสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการตัด เหล็กกล้าเครื่องมือ AISI D2 ด้วยวิธี EDM

Applying of Powder Materials for Improvement Efficiency

Machining of AISI D2 Tool Steel by EDM

ปิยะวรรณ สุนาสวน¹ นิวัฒน์ มูเก็ม²

^{1,2}สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

E-mail: notp20@hotmail.com¹ niwat.moo@rmutr.ac.th²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ตรวจสอบผลกระทบของวัสดุผงที่ผสมกับของเหลวไดอิเล็กทริกของการตัดด้วยการจ่ายประจุไฟฟ้าที่มีต่อคุณลักษณะเฉพาะของการตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI D2 เพื่อศึกษาการเพิ่มผงวัสดุที่แตกต่างกันประกอบด้วย ผงกราไฟต์ โบรอนคาร์ไบด์และเพชร ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, และ 10 กรัมต่อลิตร โดยคุณลักษณะเฉพาะการตัดที่พิจารณา คือ ประสิทธิภาพการตัดและคุณภาพพื้นผิวของชิ้นงาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นการเพิ่มผงกราไฟต์และ โบรอนคาร์ไบด์มีการนำไฟฟ้าที่ดีแต่การเพิ่มความเข้มข้นของผงเพชรมีการนำไฟฟ้าต่ำเนื่องจากความเป็นฉนวน การผสมผงกราไฟต์และ โบรอนคาร์ไบด์จะลดความเป็นฉนวนของของเหลวไดอิเล็กทริกและเพิ่มการสปาร์คระหว่างอิเล็กโทรดและชิ้นงาน กระบวนการมีความเสถียรสามารถเพิ่มอัตราการตัดเนื้อวัสดุ ลดความหยาบผิวและปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวของชิ้นงาน

คำสำคัญ : วัสดุผง เหล็กกล้าเครื่องมือ AISI D2 การตัดด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้า

Abstract

This research investigates the effect of powder materials mixing into the dielectric fluid of EDM on machining characteristics of AISI D2 tool steel. The additives with different powder materials, including graphite, boron carbide, and diamond powders are studied. The concentration of powders was 2, 4, 6, 8, and 10 g/l. The machining characteristics considered were machining performance and surface quality. Experimental results show that the addition of graphite and boron carbide powders exhibits a good electrical conductivity, but increasing the concentration of diamond powder is lower electrical conductivity due to insulating of the powder. The addition of graphite and boron carbide would reduce the insulating strength of the dielectric fluid and increases the spark reaction between the tool and workpiece. The process becomes more stable, can increase the material removal rate, decrease the surface roughness, and improve the surface quality of the work.

Keywords : Powder Material, AISI D2 Tool Steel, EDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนที่มีลักษณะเหมือนกันเป็นจำนวนมาก (Mass production) เช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์และเครื่องใช้ไฟฟ้าจำเป็นต้องอาศัยการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ เพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่องให้อัตราการผลิตสูงและง่ายต่อการควบคุมคุณภาพ [1-3] ดังนั้นแม่พิมพ์จึงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนสำหรับอุตสาหกรรมเหล่านี้ จึงต้องมีการเลือกกระบวนการผลิตและวัสดุสำหรับทำแม่พิมพ์ให้เหมาะสม โดยวัสดุที่นำมาใช้ทำแม่พิมพ์จะเป็นวัสดุที่มีสมบัติพิเศษด้านความแข็งแรง ความแข็งแกร่งและด้านทานการสึกหรอได้ดี เช่น เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI D2 มีค่าความแข็ง 60-62 HRC [4-6] ซึ่งยากที่จะนำมาขึ้นรูปโดยกระบวนการตัดด้วยวิธีดั้งเดิม (Conventional machining processes) ดังนั้นจึงต้องใช้กระบวนการตัดเนื้อวัสดุด้วยวิธีใหม่ (Non - Traditional machining processes) มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การตัดที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเคมี (Electrochemical machining) การตัดด้วยอัลตราโซนิก (Ultrasonic machining) และกระบวนการตัดด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้า (Electric discharge machining; EDM) วิธีที่นิยมนำมาใช้กับการผลิตชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ คือ EDM เป็นกระบวนการทางความร้อนที่ขึ้นรูปโดยเครื่องมือตัดหรืออิเล็กโทรดไม่สัมผัสกับชิ้นงาน แต่จะตัดโดยการจ่ายประจุทางไฟฟ้า (Discharge) จากอิเล็กโทรดไปยังชิ้นงานผ่านของเหลวไดอิเล็กทริก (Dielectric fluid) ที่มีสมบัติเป็นฉนวน การสูญเสียความเป็นฉนวนของสารไดอิเล็กทริกมีสภาพเป็นไอออนบนพื้นที่เล็กๆที่มีการปล่อยประจุไฟฟ้าจนเกิดการสปาร์กที่มีพลังงานความร้อนสูงมากทำให้ชิ้นงานหลอมละลายหรือกลายเป็นไอ ดังนั้นความแข็งของวัสดุจะไม่มีผลต่อการตัดด้วยวิธีนี้ แต่ข้อจำกัดของ EDM จะตัดได้เฉพาะวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้และกระบวนการมีอัตราการกำจัดเนื้อวัสดุต่ำ การเพิ่มอัตราการตัดโดยการเพิ่มกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์และระยะเวลาในการสปาร์กจะลดคุณภาพผิวสำเร็จ (Surface finish) หลังการตัด [7-9] ดังนั้นกระบวนการตัดที่มี

ประสิทธิภาพจึงต้องให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุสูงและมีคุณภาพผิวดีด้วย

ถึงแม้มีการเลือกใช้วัสดุชนิดต่างๆ มาทำอิเล็กโทรด ได้แก่ ไทเทเนียม (Titanium) ทังสเตน (Tungsten) แทนทาลัม (Tantalum) กราไฟต์ (Graphite) และไนโอเบียม (Niobium) เพื่อเพิ่มอัตราการตัดเนื้อวัสดุ แต่การสึกหรอของอิเล็กโทรดระหว่างการตัดจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิว อัตราการตัดเกินและความเที่ยงตรงที่ควบคุมได้ยาก [10, 11] อย่างไรก็ตามการเพิ่มอัตราการกำจัดเนื้อวัสดุจากการเพิ่มกระแสไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ไฟฟ้าจะไม่เป็นผลดีกับคุณภาพผิว จากวิธีการตัดด้วยอัลตราโซนิกที่ผสมสารขัดถู (Abrasives) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการ EDM โดยอนุภาคผงของวัสดุสารขัดถูขนาดเล็กที่มีความสามารถด้านการนำไฟฟ้าได้จะสามารถลดความเป็นฉนวนของไดอิเล็กทริก จึงทำให้การสปาร์กเกิดขึ้นได้ดีโดยไม่ต้องเพิ่มกระแสหรือความต่างศักย์ไฟฟ้า พร้อมทั้งสามารถปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวของชิ้นงานหลังการตัดซึ่งนำไปสู่การเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของพื้นผิวหลังการตัดได้ สำหรับตัวอย่างวัสดุผงที่สามารถนำไฟฟ้าได้และนิยมนำมาใช้ ได้แก่ ซิลิคอน อลูมิเนียม โครเมียม กราไฟต์ ทองแดงและซิลิคอนคาร์ไบด์ [12-16]

ในงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้วัสดุผงกราฟไฟต์ โบรอนคาร์ไบด์และเพชรนำมาผสมในของเหลวไดอิเล็กทริกสำหรับตัดวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI D2 ด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตัดในกระบวนการ EDM โดยลักษณะเฉพาะของการตัดที่ศึกษา คือ อัตราการตัดเนื้อวัสดุ (Material removal rate; MRR) อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Electrode wear rate; EWR) ความหยาบผิว (Surface roughness; Ra) และพื้นผิวของรอยตัด

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

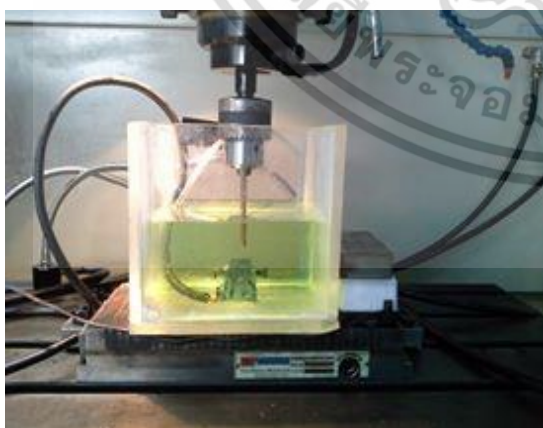
ในงานวิจัยนี้ใช้เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI D2 ขนาด 22 x 22 x 22 มิลลิเมตร เป็นวัสดุชิ้นงาน สำหรับอิเล็กโทรดทำมาจากทองแดงผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 มิลลิเมตร และยาว 99.5 มิลลิเมตร สปาร์กตัดด้วยเครื่อง EDM ยี่ห้อ CHMER EDM รุ่น CMA 64 C ภายใต้ของเหลวไดอิเล็กทริก (Dielectric) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีความเป็นฉนวน ในการทดลองกำหนดระยะเวลาปล่อยกระแสไฟฟ้า (Pulse-on time; ON) ที่ 8 ไมโครวินาที ระยะเวลาปิดกระแสไฟฟ้า (Pulse-off time; OFF) ที่ 6 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าสูงสุดในการสปาร์ก (Pulse-peak current; IP) ที่ 10 แอมแปร์ จากคู่มือการใช้เครื่อง EDM สำหรับตัดเหล็กโดยใช้อิเล็กโทรดทองแดง ส่วนการตั้งขั้วไฟฟ้าจะใช้อิเล็กโทรดเป็นบวกและชิ้นงานเป็นลบ เวลาในการสปาร์กตัดกำหนดที่ 30 นาที เท่ากันทุกชิ้น สำหรับผงวัสดุที่เติมลงไปของเหลวไดอิเล็กทริก ได้แก่ กราไฟต์ โบรอนคาร์ไบด์และเพชร มีความเข้มข้นตั้งแต่ 2 - 10 กรัมต่อลิตร แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1 ของเหลวไดอิเล็กทริกบรรจุอยู่ในถังอะคริลิกที่มีขนาด 150×150×140 มิลลิเมตร และทำการสปาร์กตัดภายในถังที่สร้างขึ้นมาแสดงดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงระดับตัวแปรในการทดลอง

ชนิดของวัสดุผง	ปริมาณความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)				
	กราไฟต์	2	4	6	8
โบรอนคาร์ไบด์	2	4	6	8	10
เพชร	2	4	6	8	10



รูปที่ 1 การสปาร์กตัดชิ้นงานภายใต้ของเหลวไดอิเล็กทริก

หลังการตัดตรวจสอบอัตราการตัดเนื้อวัสดุ อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ความหยาบผิวตลอดจนลักษณะพื้นผิวหลังการตัด โดยการตรวจสอบอัตราการตัดเนื้อวัสดุและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดนำชิ้นงานและ

อิเล็กโทรดมาชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการสปาร์กโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Zepper รุ่น ES-600HA มีความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง (0.01 กรัม) การวัดความหยาบผิวใช้เครื่องวัดยี่ห้อ INSPEX® รุ่น IPX-103 และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510LV ใช้ตรวจสอบพื้นผิวหลังการตัด

3. ผลการทดลอง

3.1 อัตราการตัดเนื้อวัสดุ

การตรวจสอบอัตราการตัดเนื้อวัสดุ (MRR) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) – (3)

$$\rho_w = m_1/V_1 \tag{1}$$

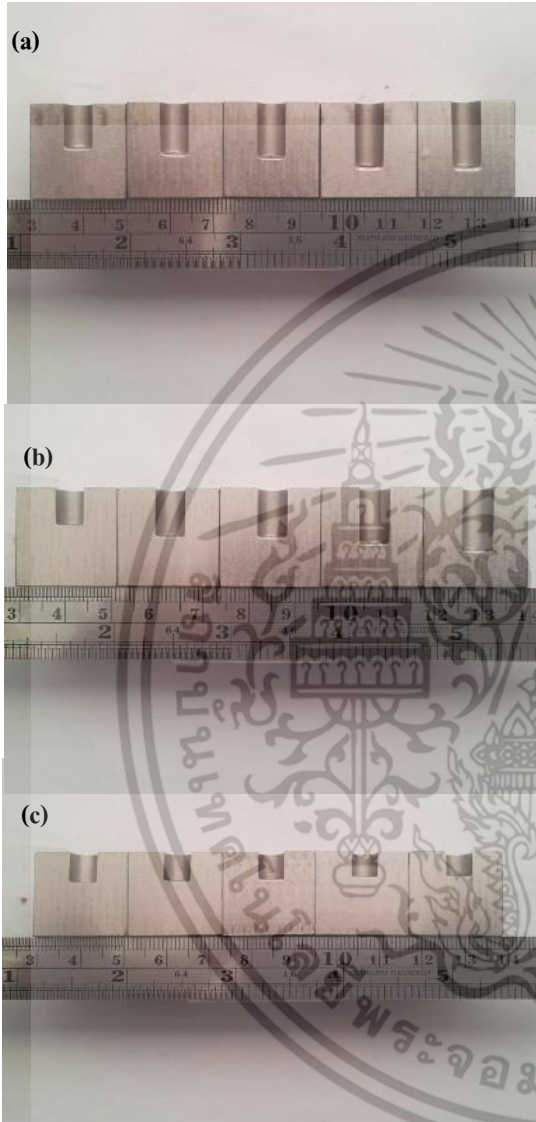
$$V_1 - V_2 = (m_1 - m_2) / \rho_w \tag{2}$$

$$MRR = (m_1 - m_2) / \rho_w / t \tag{3}$$

เมื่อ ρ_w คือ ความหนาแน่นของชิ้นงาน (กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร) m_1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนสปาร์ก (กรัม) m_2 คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังสปาร์ก (กรัม) V_1 คือ ปริมาตรของชิ้นงานก่อน สปาร์ก (กรัม) V_2 คือ ปริมาตรของชิ้นงานหลังสปาร์ก (กรัม) และ t คือ เวลาที่ใช้ในการสปาร์ก (นาที)

การสปาร์กตัดในสภาวะปกติ (Normal Condition) ตามคู่มือการใช้เครื่อง EDM หรือไม่เติมผงวัสดุในของเหลวไดอิเล็กทริกมีอัตราการตัดเนื้อวัสดุเท่ากับ 5.1370 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อเติมผงกราไฟต์ ผงโบรอนคาร์ไบด์ และผงเพชร ในปริมาณที่แตกต่างกัน ชิ้นงานหลังการตัดแสดงได้ดังรูปที่ 2 จากการเปรียบเทียบ อัตราการตัดเนื้อวัสดุในสภาวะการตัดที่แตกต่างกัน จากรูปที่ 3 อัตราการตัดเนื้อวัสดุมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกราไฟต์และโบรอนคาร์ไบด์ในของเหลวไดอิเล็กทริก โดยการใช้ผงกราไฟต์จะให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุมากกว่าโบรอนคาร์ไบด์ แต่สำหรับในสภาวะการตัดด้วยผงเพชรจะมีอัตราการตัดเนื้อวัสดุที่น้อยกว่าการใช้ผงกราไฟต์และโบรอนคาร์ไบด์ ตลอดจนอัตราการตัดเนื้อวัสดุในกรณีผงเพชรมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ถึงแม้เพชร

มีองค์ประกอบพื้นฐานที่เป็นผลึกของคาร์บอนบริสุทธิ์ เหมือนกับกราไฟต์ แต่เพชรมีความเป็นฉนวน ดังนั้น ปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจึงขัดขวางปรากฏการณ์ของการสปาร์คในกระบวนการ EDM



รูปที่ 2 ชิ้นงานที่ผ่านการสปาร์คตัดจากการใช้ (a) ผงกราไฟต์ (b) ผงโบรอนคาร์ไบด์ และ (c) ผงเพชร



รูปที่ 3 อัตราการตัดเนื้อวัสดุ

3.2 อัตราการสึกหรออิเล็กโทรด

อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) สามารถใช้สมการที่ (1)-(3) นำมาคำนวณโดยใช้ข้อมูลของอิเล็กโทรด ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบของสมการที่ 4

$$EWR = (m_1 - m_2) / \rho_e / t \quad (4)$$

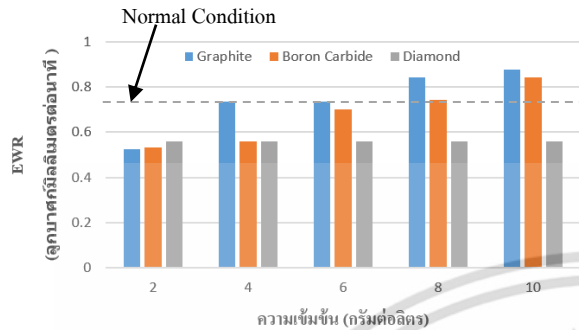
เมื่อ ρ_e คือ ความหนาแน่นของอิเล็กโทรด (กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร) m_1 คือ น้ำหนักของอิเล็กโทรดก่อนสปาร์ค (กรัม) m_2 คือ น้ำหนักของอิเล็กโทรดหลังสปาร์ค (กรัม)

การสึกหรอของอิเล็กโทรดจากการตัดในสภาวะไม่เติมผงวัสดุมีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเท่ากับ 0.7368 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที การเติมผงกราไฟต์และโบรอนคาร์ไบด์มีผลต่ออัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด โดยการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของผงในของเหลวทำให้การสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ผลการสึกหรอของอิเล็กโทรดที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 5 ขณะที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร การสึกหรอของอิเล็กโทรดจากการใช้ผงเพชรมีปริมาณมากที่สุดรองลงมาคือ โบรอนคาร์ไบด์และกราไฟต์ ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นเป็น 4-10 กรัมต่อลิตร จะให้ผลที่ตรงกันข้ามคือ อิเล็กโทรดเกิดการสึกหรอมากจากการใช้กราไฟต์ โบรอนคาร์ไบด์และเพชร ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นช่วยให้เกิดการสปาร์คได้ง่าย และการช่วยลดความเป็นฉนวนของไดอิเล็กทริก จากการใช้ผงวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าจะช่วยลดช่องว่างเส้นทางการสปาร์ค (Discharge gap) เมื่อศักย์ไฟฟ้าเกิดการข้ามอิเล็กโทรดไปยังชิ้นงาน พลังงานที่เกิดขึ้นมีลักษณะไม่เป็นระเบียบตามการกระจายของอนุภาค เมื่อกระแสไฟฟ้าในการสปาร์ค (Discharge current) เพิ่มขึ้น พลังงานพัลส์ (Pulse energy) จะเพิ่มขึ้นทำให้เกิดพลังงานความร้อนสูงที่ระหว่างชิ้นงานและอิเล็กโทรดนำไปสู่การหลอมละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอิเล็กโทรดและชิ้นงานซึ่งเป็นสาเหตุให้อิเล็กโทรดสึกหรอระหว่างการตัด [17]



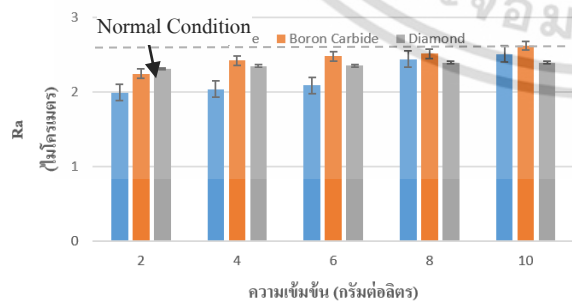
รูปที่ 4 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

3.3 ความหยาบผิว

โดยทั่วไปรูปแบบสมการความหยาบผิวในเทอมความหยาบผิวเฉลี่ยเชิงตัวเลข (Arithmetic mean roughness; R_a) สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (5) ซึ่งผลจากการสปาร์กโดยไม่มีการเติมผงวัสดุชิ้นงานตัวอย่างมีค่าความหยาบผิวเท่ากับ 2.6700 ไมโครเมตร เส้นประแสดงความหยาบผิวในสภาวะปกติเมื่อเปรียบเทียบกับความหยาบผิวของชิ้นงานจากการเติมผงวัสดุทั้ง 3 ชนิด แสดงดังรูปที่ 5

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L \{h(x)dx\} \quad (5)$$

เมื่อ $h(x)$ คือ ค่า Roughness Profile และ L คือ ช่วงของการวัด



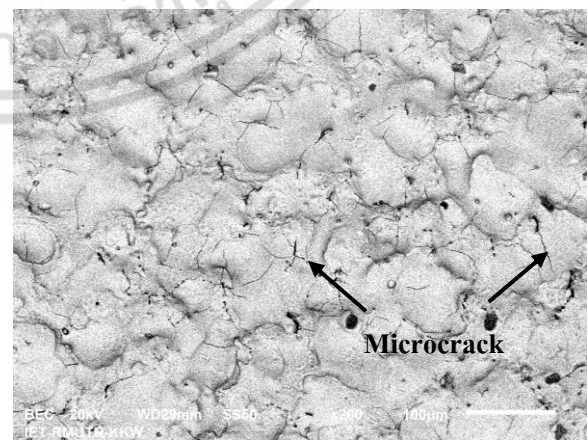
รูปที่ 5 ค่าความหยาบผิว

การเติมผงวัสดุลงในของเหลวไดอิเล็กทริกในทุกสภาวะการทดลองจะทำให้มีคุณภาพผิวที่ดีกว่าการตัดโดยเครื่องไม่เติมผงวัสดุ สำหรับชิ้นงานที่ตัดด้วยเครื่องกราดไฟจะให้มีคุณภาพผิวที่ดีกว่าไบรอันคาร์ไบด์ แต่สำหรับกรณี

การใช้ผงเพชรความหยาบผิวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 2.310 – 2.393 ไมโครเมตร

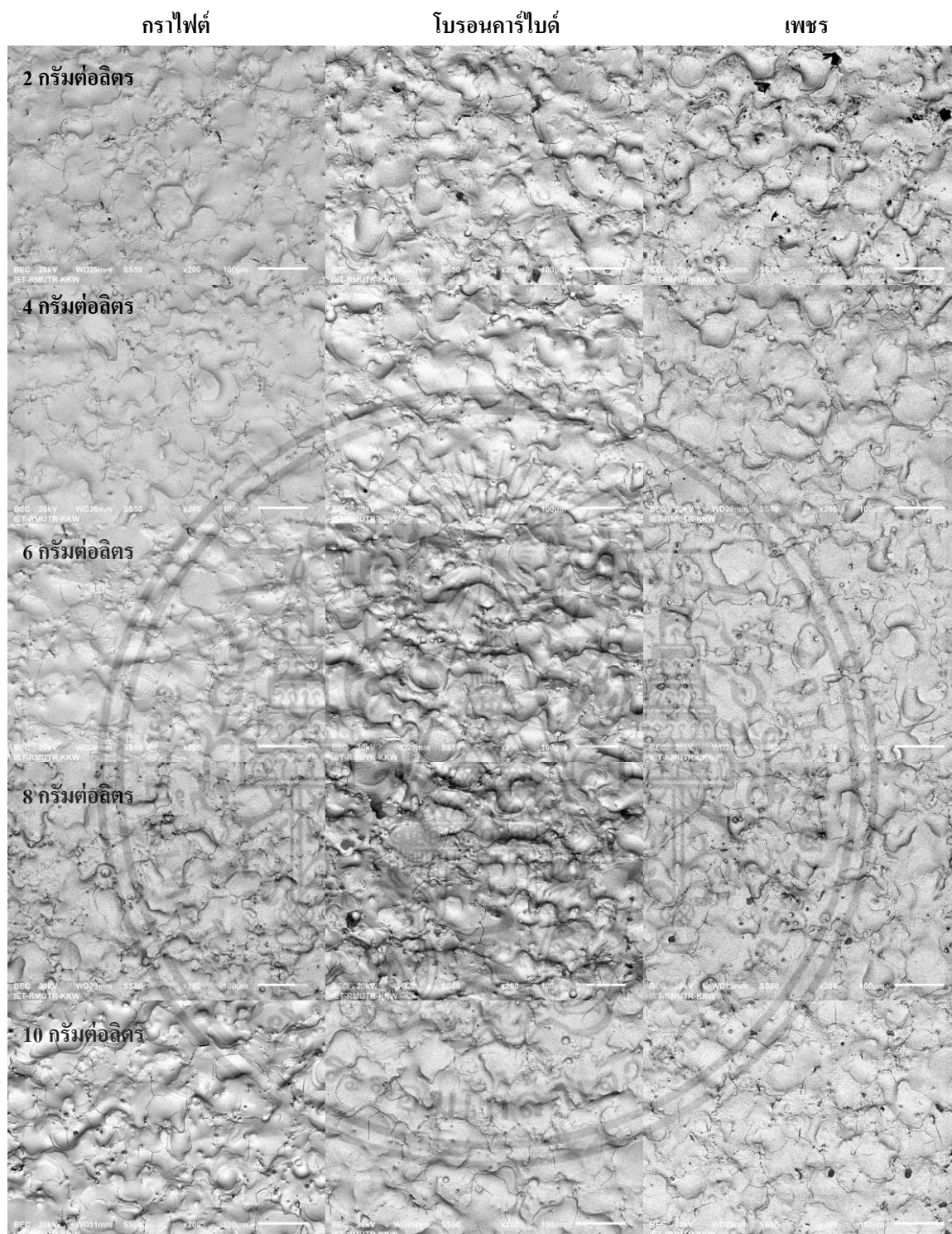
3.4 พื้นผิวหลังการตัด

การเกิดความร้อนจากการสปาร์กจนเกิดการหลอมละลายหรือกลายเป็นไอและเกิดการหลุดออกของเนื้อวัสดุอิทธิพลของความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการถึงแม้จะมีการเย็นตัวอย่างรวดเร็วจากการกลับสู่ความเป็นฉนวนของไดอิเล็กทริกก็ตาม ผลกระทบจากความร้อนจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคได้ และเกิดบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ชั้นหลอมเหลวใหม่ (Recast layer) ที่เกิดจากการหลอมละลายและเย็นตัวอย่างรวดเร็วซึ่งเคลือบอยู่บนพื้นผิว ชั้นดังกล่าวมีความหนาเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มพลังงานการสปาร์กและสามารถเกิดรอยแตกขนาดเล็ก (Microcrack) เนื่องจากความเค้นตกค้างจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของส่วนที่ถูกหลอมละลาย [18, 19] พื้นผิวชิ้นงานที่ผ่านการสปาร์กตัดในกรณีไม่เติมผงวัสดุในของเหลวไดอิเล็กทริกแสดงดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 แสดงพื้นผิวจากการตัดกรณีผสมผงวัสดุในของเหลว ไดอิเล็กทริกที่ความเข้มข้นต่างๆ รอยแตกขนาดเล็กที่ปรากฏบนพื้นผิวบริเวณหลอมเหลวนำไปสู่การลดความต้านทานการกัดกร่อน ลดสมบัติทางกล อย่างไรก็ตามการเพิ่มกระแสไฟฟ้าและความเข้มข้นของผงวัสดุในของเหลวไดอิเล็กทริกความหนาของชั้นหลอมเหลวมีขนาดเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน [20] ซึ่งในบทความแสดงไว้เฉพาะพื้นผิวหลังการตัด (ด้านบนชั้นหลอมเหลว) เท่านั้น ผลปรากฏรอยแตกขนาดเล็กเกิดขึ้นทั่วพื้นผิวหลังการตัด



รูปที่ 6 พื้นผิวชิ้นงานหลังการสปาร์กในสภาวะไม่ผสมผงวัสดุในของเหลวไดอิเล็กทริก

จะให้อำนาจการตัดที่ต่ำกว่าไบรอันคาร์ไบด์ แต่สำหรับกรณีจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหลังการสปาร์คในสภาวะที่แตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามสมบัติของผงวัสดุ ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้น ขนาดอนุภาค ความหนาแน่น ความต้านทานทางไฟฟ้าและการนำความร้อนเป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญกับประสิทธิภาพการตัด (Machining performance) การผสมผงวัสดุในของเหลวไดอิเล็กทริก เช่น กราไฟต์ในของเหลวไดอิเล็กทริก

อนุภาคผงวัสดุที่อยู่บริเวณช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดและชิ้นงานระหว่างการตัดนำไปสู่การสปาร์คจากการลดความเป็นฉนวน โดยการเพิ่มช่องทางการสปาร์คระหว่างอิเล็กโทรดและชิ้นงาน ทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการตัด เช่น ลดความหยาบผิว ขนาดชั้นไหลวนเหลวใหม่และเพิ่มอัตราการตัดเนื้อวัสดุได้ [21]

ตลอดจนการกัดพื้นของเหลวไดอิเล็กทริกในกระบวนการ EDM สามารถส่งผลต่อคุณลักษณะต่างๆจากการตัดได้ เช่น การกัดพื้นของเหลวด้วยความดันน้อยๆจะทำให้เกิดการสะสมของเศษที่หลุดออกมาที่ระหว่างช่องว่างของอิเล็กโทรดและชิ้นงานทำให้เกิดการสปาร์คแบบลัดวงจร (Short circuits) [22] ถึงแม้ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ของเหลวในถังหมუნและมีการกัดพื้นเพื่อให้งานวัสดุมีการกระจายตัวทั่วถึงตำแหน่งที่ตัดก็ตาม แต่การตัดด้วยการใช้อิเล็กโทรดทรงกระบอกซึ่งทำให้เกิดรูสึกในชิ้นงานซึ่งเป็นข้อจำกัดในการกระจายตัวของผงวัสดุได้เช่นกันเมื่อความลึกจากการตัดเพิ่มขึ้น

4. สรุป

บทความฉบับนี้ประยุกต์ใช้วัสดุผงสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI D2 ด้วยวิธี EDM ซึ่งแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการตัดจากการใช้ผงกราไฟต์และโบรอนคาร์ไบด์ผสมในของเหลวไดอิเล็กทริกทำให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงวัสดุในของเหลว แต่การใช้ผงเพชรอัตราการตัดเนื้อวัสดุลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงวัสดุเนื่องจากความเป็นฉนวนของผงเพชรแต่กระบวนการจะให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดที่มีแนวโน้มคงที่ และการผสมผงวัสดุในของเหลวไดอิเล็กทริกทำให้ชิ้นงานมีคุณภาพพื้นผิวที่ดีว่าการตัดในสภาวะปกติ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนตามสัญญา เลขที่ A49/2558

6. เอกสารอ้างอิง

[1] W. R. Morrow, H. Qi, I. Kim, J. Mazumder, and S. J. Skerlos, "Environmental aspects of laser-based and conventional tool and die manufacturing," *Journal of Cleaner Production* 15, pp. 932–943, 2007.

[2] D. Tang, W. Eversheim, and G. Schuh, "A new generation of cooperative development paradigm in the tool and die making branch: strategy and technology," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 20, pp. 301–311, 2004.

[3] H. W. Wagener, "New developments in sheet metal forming: sheet materials, tools and machinery," *Journal of Materials Processing Technology* 72, pp. 342–357, 1997.

[4] O.N. Cora, A. Agcayazi, K. Namiki, H. Sofuoglu, and M. Koc, "Die wear in stamping of advanced high strength steels – Investigations on the effects of substrate material and hard-coatings," *Tribology International* 52, pp. 50–60, 2012.

[5] H. Yan, J. Hua, and R. Shivpuri, "Flow stress of AISI H13 die steel in hard machining," *Materials and Design* 28, pp. 272–277, 2007.

[6] H. Coldwell, R. Woods, and M. Paul, "Rapid machining of hardened AISI H13 and D2 moulds, dies and press tools," *Journal of Materials Processing Technology* 135, pp. 301–311, 2003.

[7] K. Kanlayasiri, and S. Boonmung, "Effects of wire-EDM machining variables on surface roughness of newly developed DC 53 die steel: Design of experiments and regression model," *Journal of Materials Processing Technology* 129–193, pp. 459–464, 2007.

[8] M. Kiyak, and O. Cakir, "Examination of machining parameters on surface roughness in EDM of tool steel," *Journal of Materials Processing Technology* 191, pp. 141–144, 2007.

[9] K. A. Hascaly, and U. Caydas, "Experimental study of wire electrical discharge machining of AISI D5 tool steel," *Journal of Materials Processing Technology* 148, pp. 362–367, 2004.

[10] K. K. Dadsena, S. Sivasankar, and C.R. Jeyapaul, "A Study on Electrical Discharge Machining of

- ZrB₂-SiC Composite using Grey Entropy,” IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS, pp. 1-6, 2013.
- [11] H. Zarepour, A.F. Tehrani, D. Karimi, and S. Amini, “Statistical analysis on electrode wear in EDM of tool steel DIN 1.2714 used in forging dies,” *Journal of Materials Processing Technology* 187–188, pp. 711–714, 2007.
- [12] Y. Zhang, Y. Liu, Y. Shen, R. Ji, B. Cai, H. Li, and F. Wang. “A Review of the Current Understanding and Technology of Powder Mixed Electrical Discharge Machining (PMEDM),” *Mechatronics and Automation (ICMA)* 5-8, pp. 2240-2247, 2012.
- [13] N. M. Abbas, D. G. Solomon, and M. F. “A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM).” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47, pp. 1214–1228, 2007.
- [14] H. K. Kansal, S. Singh, and P. Kumar, “Technology and research developments in powder mixed electric discharge machining (PMEDM),” *Journal of Materials Processing Technology* 184, pp. 32–41, 2007.
- [15] H. K. Kansal, S. Singh, and P. Kumer, “Effect of Silicon Powder Mixed EDM on Machining Rate of AISI D2 Die Steel,” *Journal of Manufacturing Processes* 9, pp. 13-22, 2007.
- [16] K. L.Wu, B. H. Yan, F. Y. Huang, and S. C. Chen, “Improvement of surface finish on SKD steel using electro-discharge machining with aluminum and surfactant added dielectric,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45, pp. 1195–1201, 2005.
- [17] M. Kolli, and A. Kumar, “Effect of dielectric fluid with surfactant and graphite powder on electrical discharge machining of titanium alloy using taguchi method”. *Engineering Science and Technology, an International journal* 18, pp. 524–535, 2015.
- [18] F. Klocke, S. Schneider, L. Ehle, H. Meyer, L. Hensgen, A. Klink, “Investigations on Surface Integrity of Heat Treated 42CrMo4 (AISI 4140) Processed by Sinking EDM,” *Procedia CIRP* 42, pp. 580 – 585. 2016.
- [19] J. F. Liu, L. Li, Y. B. Guo, “Surface integrity evolution from main cut to finish trim cut in W-EDM of shape memory alloy,” *Procedia CIRP* 13, pp. 137 – 142, 2014.
- [20] C. Sung-Long, L. Ming-Hong, H. Guo-Xin, and W. Chia-Ching, “Research of the recast layer on implant surface modified by micro-current electrical discharge machining using deionized water mixed with titanium powder as dielectric solvent,” *Applied Surface Science* 311, pp. 47–53. 2014.
- [21] K. Murahari, and K. Adepu, “Effect of dielectric fluid with surfactant and graphite powder on Electrical Discharge Machining of titanium alloy using Taguchi method,” *Engineering Science and Technology, an International Journal*, pp. 1–12, 2015.
- [22] G. Alexander, and K. Philip, “Real-time evaluation of gap flushing in electrical discharge machining,” *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 64, pp. 241–244, 2015.