

การศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรูด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าของรอยเชื่อม
เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20

Study of Efficiency of Drilling Hole by Using EDM Process of Weld
on AISI P20 Tool Steel

สมชาย วนไทยสงค์¹ เอนก สุทธิฤทธิ์² เอกชัย รอดพิสา³ เถลิง พลเจริญ⁴ และ พิชัย จันทร์มณี^{5*}

Somchai Wonthaisong¹, Anek Suttirit², Ekkachai Rodpisa³, Thaloeng Poljaroen⁴

and Pichai Janmanee^{5*}

^{1,2,3,5*} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

⁴ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

^{1,2,3,5*} Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep

⁴ Industrial Management Technology Faculty of Engineering Thonburi University

*Corresponding Author. E-mail: Pichai.j@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการเจาะรูด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า (EDM) สำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20 ที่ผ่านการเชื่อมซ่อมด้วยการเชื่อมไฟฟ้า (SMAW) และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส (GMAW) ด้วยการใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง ภายใต้การปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ ได้แก่ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ จากนั้นประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานในรูปของอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ความหยาบผิว (Ra) และลักษณะรูเจาะเข้า-ออก ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่ารูเจาะของรอยเชื่อม SMAW ที่ถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองมีอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด 22.439 มม.²/นาที และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด 98% ที่ใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ สำหรับรอยเชื่อม GMAW ที่ถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองแดงมีความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 4.0198 ไมโครเมตร ที่ใช้กระแสไฟฟ้า 3.5 แอมแปร์ ลักษณะรูเจาะของทั้งสองรอยเชื่อม SMAW และ GMAW จากการใช้อิเล็กโทรดทั้งสองประเภทและทั้งหมดของการปรับค่ากระแสไฟฟ้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเข้ามากกว่า 1 มม. และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูออกน้อยกว่า 1 มม.

คำสำคัญ : เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20, อัตราการขจัดเนื้องาน, อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด, ความหยาบผิว

ABSTRACT

This research aims to study the optimal factors for drilling hole in the process of electrical discharge machining (EDM). The specimens were tool steel grade AISI P20 which was repaired by welding of shield metal arc welding (SMAW) and gas metal arc welding (GMAW). Tool electrode in the experimental testing was the brass and copper. The discharge current was

Received 02-06-2023

Revised 22-06-2023

Accepted 28-06-2023

adjusted 3 levels consisted of 2.5, 3 and 3.5 Ampere in order to evaluated material removal rate (MRR), electrode wear ratio (EWR), roughness of machined surface (Ra) and appearance of entrance and exit of drilled hole, respectively. The experimental results were found that the electrical discharge machining for drilling hole with brass electrode on the welded specimen of shield metal arc welding (SMAW) had the highest materials removal rate of 22.439 mm²/min and electrode wear ratio of 98% at the discharge current of 3 Ampere. The lowest roughness of machined surface on the specimen of gas metal arc welding (GMAW) by approximately 4.0198 micrometer occurred at the discharge current of 3.5 Ampere with the copper electrode. The characteristic of drilled hole for both welded specimens were found that the dimensional of entrance hole was larger than 1 mm and exist hole was smaller than 1 mm for any level of discharge current.

Keyword: AISI P20 tool steel, Material removal rate, Electrode wear ratio, Surface roughness

1. บทนำ

การใช้เทคโนโลยีที่หลากหลายถูกนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดต้นทุน ลดเวลา เพิ่มผลผลิต และตอบสนองความต้องการของภาคการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เช่น ยานยนต์ วัสดุอุตสาหกรรมและเครื่องจักร บรรจุกัมภ์ และอื่นๆ ซึ่งมีความยากในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนประกอบสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการแปรรูปแม่พิมพ์สำหรับโลหะและพลาสติกที่รูปร่างซับซ้อนและไม่สามารถใช้วิธีการตัดเฉือนด้วยวิธีทั่วไปได้ เนื่องจากชิ้นส่วนดังกล่าวเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและต้องใช้กระบวนการที่ค่อนข้างแม่นยำสูง จึงนิยมผลิตด้วยขั้นตอนการใช้เครื่องเจาะรูด้วยไฟฟ้า (Drill EDM) ซึ่งเป็นการแปรรูปโลหะด้วยกระบวนการกัดเซาะเนื่องจากเนื้อวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงด้วยไฟฟ้า [1] โดยใช้หลักการทางความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าส่งผ่านวัสดุตัวนำที่เรียกว่า “Electrode” จึงทำให้เกิดการหลอมละลายของเนื้อโลหะออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กภายใต้ของเหลวกึ่งตัวนำที่เรียกว่าสาร “Dielectric” ซึ่งจะเกิดการขจัดเนื้องานหรือการหลอมละลายของเนื้อโลหะในบริเวณที่เล็กมากระหว่างอิเล็กโทรด (Electrode) และเนื้อโลหะ โดยสามารถควบคุมผิวชิ้นงานที่ขจัดออกมีลักษณะรูปร่างเหมือนอิเล็กโทรดที่ได้ในการแปรรูป

[2-3] ฉะนั้น การแปรรูปวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool steel) โดยการเจาะด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า (Drill EDM) เป็นวิธีที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการแปรรูปชิ้นงานประเภทวัสดุแม่พิมพ์ที่มีคุณสมบัติความแข็งแรงค่อนข้างสูงที่ยากต่อการตัดเฉือน [4] เหล็กกล้าเครื่องมือเกรด AISI P20 เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนเกี่ยวกับแม่พิมพ์ สำหรับการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมแม่พิมพ์งานร้อนและเย็น [5-6] ฉะนั้นโอกาสที่จะเกิดความเสียหายในระหว่างการผลิตสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา หรือการเสื่อมสภาพจากการใช้งานเป็นเวลานานของชิ้นส่วนประกอบแม่พิมพ์ดังกล่าว เช่น การเกิดรอยแตกร้าว การสึกหรอ และอื่นๆ จึงนำไปสู่กระบวนการซ่อมบำรุงและซ่อมแซมส่วนที่เกิดความเสียหายด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์ก เนื่องจากต้นทุนค่อนข้างต่ำและใช้กันอย่างแพร่หลายในการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ [7-8] ที่เกิดความเสียหายจากสาเหตุต่างๆ

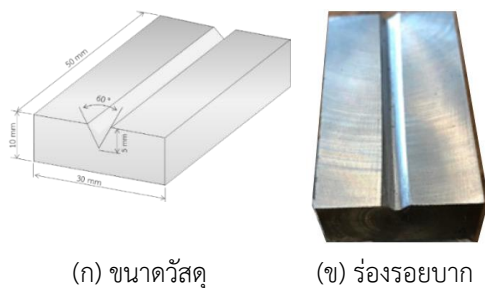
ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้าที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจาะรูวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด AISI P20 ซึ่งผ่านกระบวนการเชื่อมซ่อมด้วยการเชื่อมไฟฟ้า และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส

โดยใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง โดย ประเมินและวิเคราะห์ผลการทดลองจาก อัตราการ ขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ค่า ความหยาบผิวเฉลี่ย และขนาดรูเจาะเข้า-ออก ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์

วัสดุทดสอบเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด AISI P20 ผ่านกระบวนการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 925-900°C ใช้เวลาประมาณ 4-8 ชั่วโมง, ค่าความแข็ง 318HV, ความหนาแน่น = 6.52g/cm³, ความจุความร้อนจำเพาะที่ 100°C=0.54J/g°C และส่วนผสมทางเคมี C = 0.35-0.45%, Si = 0.20-0.40%, Mn = 1.30-1.60%, Cr = 1.80-2.10%, Mo = 0.15-0.25% [6] ชิ้นงานทดสอบมีขนาดความกว้าง ความยาว .มม 30 ถูกเตรียมเป็นชิ้นงาน .มม 10 และความหนา .มม 5 รอยเชื่อมในลักษณะร่องตัววี(V-shaped groove) ด้วยมุมบากรวมร่อง .มม 5 องศา ความลึก 60 บริเวณกลางชิ้นงานทดสอบดังภาพที่ 1 (ก) และ (ข) ชิ้นงานทดสอบถูกดำเนินการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (Shield metal arc welding, SMAW) และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส (Gas metal arc welding, GMAW) ตามเงื่อนไขการเชื่อมดังตารางที่ และแสดงลักษณะรอยเชื่อมดัง 1ภาพที่ 2



ภาพที่1 ขนาดและลักษณะของชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการเชื่อมไฟฟ้า (SMAW) และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส (GMAW)

เงื่อนไข	รายละเอียด	
	SMAW	GMAW
กระบวนการเชื่อม	SMAW	GMAW
ลวดเชื่อม	AWS A5.1 E6013	DIN 8555 MSG6- 4Z-60
ขนาดลวดเชื่อม	2.6 mm	1.2 mm
แรงดันไฟฟ้า	35 V	6 V
กระแสไฟ	90 A	100 A
แก๊สปกคลุม		Ar75%+CO ₂ 25%



ภาพที่ 2 ลักษณะรอยเชื่อมสำหรับทดสอบ

วัสดุอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลอง คือ ทองเหลือง (Brass) และทองแดง ((Cu) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม5 ความยาว .0 มมและ .เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (Electrical discharge machine, EDM) เป็นเครื่องจักรแบบควบคุมด้วยตัวเลข (Computer numerical control) แบบ Small hole electrical discharge machine (SHEDM) ยี่ห้อ JOEMARS รุ่น JM325D แสดงดังภาพที่3

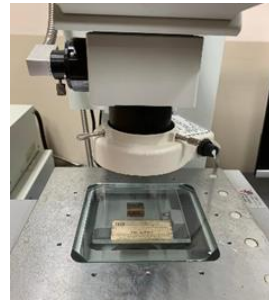


ภาพที่3 เครื่องเจาะรูขนาดเล็กโดยการกัดเซาะเนื้อโลหะด้วยไฟฟ้า (SHEDM) และอิเล็กโทรด

2.2 การออกแบบการทดลอง

การเจาะรูของชิ้นงานทดสอบที่ถูกเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม SMAW และ GMAW ที่ความ

หนารอยเชื่อม 5 มม. สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลือง (Brass electrode) และอิเล็กโทรดทองแดง (Cu electrode) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. โดยถูกกำหนดปัจจัยคงที่ ได้แก่ เวลาเปิด (On-time) 12 ไมโครวินาที (μ s), เวลาปิด (Off-time) 5 ไมโครวินาที (μ s), ระยะห่าง (Gap) 2 มม., เวลางาน (Working time) 18~19 นาที (s), การสึกหรออิเล็กโทรด (Electrode wear) 55~58% และความลึกเจาะ (Depth) 10 มม. เพื่อให้เหมาะสมกับการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4 กล้องจุลทรรศน์ (Olympus STM6)

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานและคุณภาพผิวงานรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW จากการใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

2.3 ประเมินผลประสิทธิภาพการทำงาน

1) อัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

การเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละเงื่อนไข โดยถูกกำหนดด้วยผลการประเมิน [9-10] ดังนี้

อัตราการขจัดเนื้องาน ในการแปรรูปชิ้นงาน คำนวณจากสมการที่ (1)

$$MRR = \frac{\text{ปริมาตรเนื้องานที่ถูกขจัดออกไป}}{\text{เวลาที่ใช้}} \quad \dots (1)$$

อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด สามารถคำนวณจากสมการที่ (2)

$$EWR = \frac{\text{ระดับความลึกของชิ้นงานที่แท้จริง}}{\text{ระยะที่อิเล็กโทรดสึกหรอออกไป}} \times 100 \quad \dots (2)$$

2) คุณภาพความหยาบผิวเฉลี่ย และขนาดรูเจาะ การประเมินคุณภาพผิวของรูเจาะถูกวัดค่าความหยาบผิวบริเวณผนังรูเจาะจากภาคตัดขวาง (Cross section) ของรูเจาะด้วยกล้องจุลทรรศน์ Laser confocal microscope แบบ 3 มิติในระดับนาโนเมตร และถูกวัดขนาดรูเจาะด้านบน (รูเข้า) และด้านล่าง (รูออก) จากการเจาะด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Olympus STM6 ดังภาพที่ 4

3. อภิปรายผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรูด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า (EDM) สำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20 ที่ผ่านกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (SMAW) และ (GMAW) โดยถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงด้วยการปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ และประเมินผลประสิทธิภาพการทำงาน อัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ค่าความหยาบผิว และลักษณะของรูเจาะ เข้า-ออกสามารถอภิปรายผลการทดลองได้ ดังนี้

3.1 ประสิทธิภาพการทำงานอัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

ตารางที่ 2 แสดงอัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด สำหรับรอยเชื่อม SMAW จากการสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง พบว่าอิเล็กโทรดทองเหลืองมีอัตราการขจัดเนื้องานสูงกว่าอิเล็กโทรดทองแดง แต่มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงทุกระดับการปรับค่ากระแสไฟฟ้า สำหรับรอยเชื่อม GMAW ที่ใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงสปาร์คด้วยการปรับค่ากระแสไฟฟ้า 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ พบว่า

อัตราการขจัดเนื้องานของอิเล็กโทรดทองเหลืองมีค่าสูงกว่าอิเล็กโทรดทองแดง ในทางตรงกันข้ามสำหรับอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองแดงมีค่าสูงกว่าอิเล็กโทรดทองเหลืองทุกสภาวะการปรับค่ากระแสไฟฟ้า แสดงผลอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดดังตารางที่ 3

การเปรียบเทียบอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม SMAW แสดงดังกราฟภาพที่ 5 พบว่าการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ มีอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสูงสุดเท่ากับ 22.439 mm²/min และ 98% และมีอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลงเมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 2.5 และ 3.5 แอมแปร์ สำหรับอิเล็กโทรดทองแดงที่ใช้สปาร์คกับรอยเชื่อม SMAW แสดงดังกราฟภาพที่ 6 พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ ให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงสุดเท่ากับ 9.069 และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำสุดเท่ากับ

ตารางที่ 2 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสำหรับรอยเชื่อม SMAW

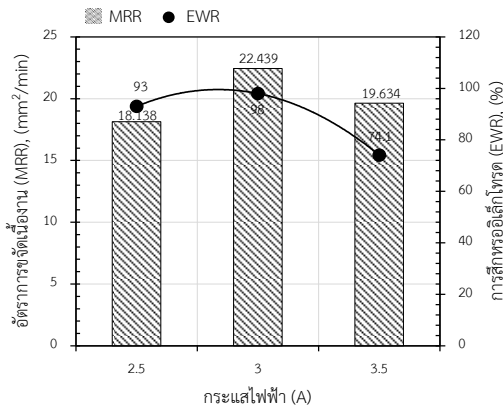
อิเล็กโทรด	กระแสไฟฟ้า (A)	MRR (mm ² /min)	EWR (%)
ทองเหลือง (Brass)	2.5	18.138	93
	3	22.439	98
	3.5	19.634	74.1
ทองแดง (Cu)	2.5	7.853	162.8
	3	9.069	158.5
	3.5	7.853	161.4

158.5% ซึ่งแตกต่างจากการปรับค่ากระแสไฟฟ้าเป็น 2.5 และ 3.5 แอมแปร์ ส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งมีผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kamonpong and Pichai [11] จากการปรับปรุงประสิทธิภาพการตัดเฉือนสำหรับการเจาะรูลึกในกระบวนการตัดเฉือนไฟฟ้าโดยใช้ขั้นตอนอิเล็กโทรดทรงกระบอก

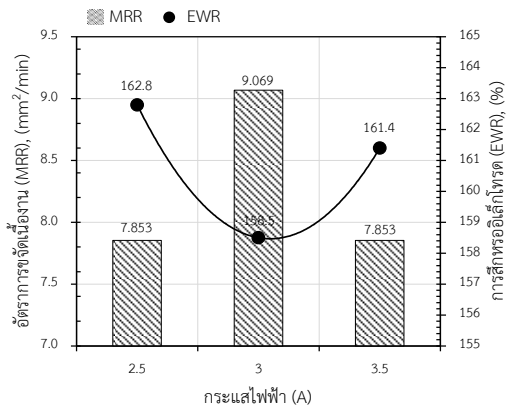
ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบการปรับค่ากระแสไฟฟ้าและอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม GMAW พบว่าการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ มีอัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสูงสุดเท่ากับ 22.439 mm²/min และ 100.4% เมื่อเปรียบเทียบกับการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 2.5 และ 3.5 แอมแปร์ พบว่าประสิทธิภาพการทำงานอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ลดลงอย่างชัดเจนซึ่งมีความแตกต่าง

ตารางที่ 3 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสำหรับรอยเชื่อม GMAW

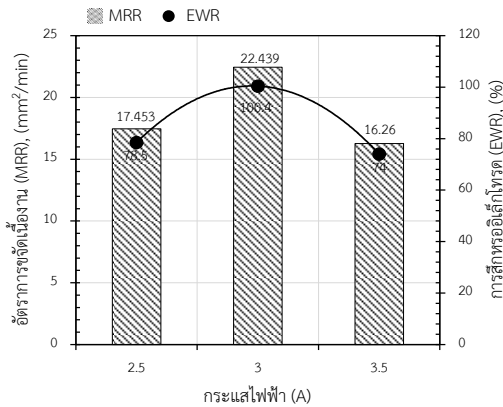
อิเล็กโทรด	กระแสไฟฟ้า (A)	MRR (mm ² /min)	EWR (%)
ทองเหลือง (Brass)	2.5	17.453	78.5
	3	22.439	100.4
	3.5	16.26	74
ทองแดง (Cu)	2.5	10.471	169.9
	3	9.069	156.4
	3.5	7.479	147.7



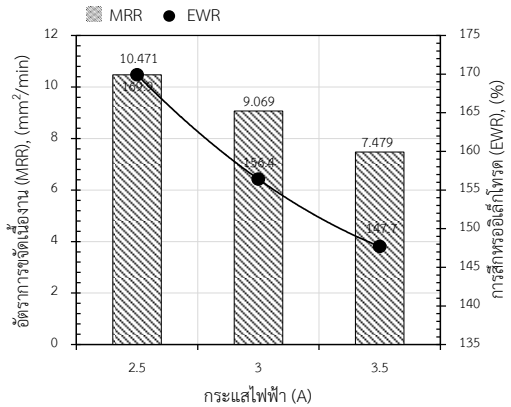
ภาพที่ 5 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม SMAW



ภาพที่ 6 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองแดงสำหรับรอยเชื่อม SMAW



ภาพที่ 7 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม GMAW



ภาพที่ 8 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองแดงสำหรับรอยเชื่อม GMAW

จากรอยเชื่อม GMAW ที่มีแนวโน้มของค่าประสิทธิภาพการทำงานที่ถูกประเมินทั้งสองลดลง และมีค่าอัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสูงสุดเท่ากับ 10.471 mm³/min และ 169.9% เมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มจาก 2.5 – 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ แสดงดังกราฟภาพที่ 8

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรูของรอยเชื่อมและการใช้อิเล็กโทรดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน พบว่าอัตราการขจัดเนื้องานสามารถเกิดขึ้นได้ดีเมื่อใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อมทั้งสองประเภท และเกิดอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

ค่อนข้างสูงเมื่อใช้เหล็กโทรดทองแดง เนื่องจากอิทธิพลของคุณสมบัติด้านค่าการนำไฟฟ้า ความแข็ง และส่วนผสมทางเคมีของวัสดุอิเล็กโทรดมีความแตกต่างกัน [12] จึงส่งผลต่อความสามารถในการสปาร์คที่เห็นผลได้อย่างชัดเจนดังข้างต้น

3.2 ความหยาบผิวเฉลี่ยและขนาดของรูเจาะ

ความหยาบผิวเฉลี่ยของผนังรูเจาะสำหรับรอยเชื่อม SMAW และ GMAW ที่ถูกดำเนินการภายใต้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง และกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันแสดงผลดังตารางที่ 4 พบว่าความหยาบ

ผิวเฉลี่ยของรอยเชื่อม SMAW ที่ถูกสปาร์คด้วย
อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงที่กระแสไฟฟ้า 2.5
- 3.5 แอมแปร์ มีค่าประมาณ 4.1538 - 6.6412

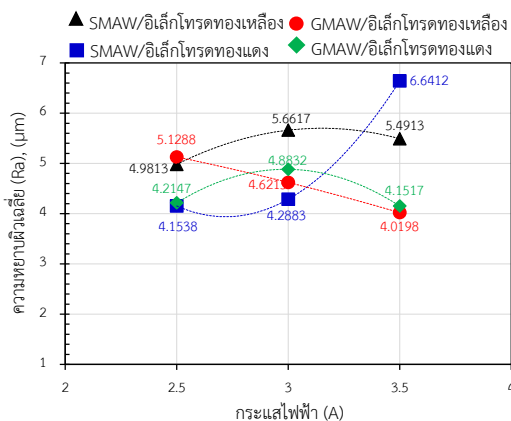
μm สำหรับรอยเชื่อม GMAW ใช้อิเล็กโทรด
ทองเหลืองและทองแดง ให้ความหยาบผิวเฉลี่ยในช่วง
4.0198 - 5.1288 μm

ตารางที่ 4 ความหยาบผิวเฉลี่ยของผนังรูเจาะรอยเชื่อมด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง

กระแสไฟฟ้า (A)	ความหยาบผิวเฉลี่ย, (μm)			
	รอยเชื่อม SMAW/ อิเล็กโทรดทองเหลือง	รอยเชื่อม SMAW/ อิเล็กโทรดทองแดง	รอยเชื่อม GMAW / อิเล็กโทรดทองเหลือง	รอยเชื่อม GMAW / อิเล็กโทรดทองแดง
2.5	4.9813	4.1538	5.1288	4.2147
3	5.6617	4.2883	4.6215	4.8832
3.5	5.4913	6.6412	4.0198	4.1517

ตารางที่ 5 ขนาดรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อมด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง

กระแสไฟฟ้า (A)	ขนาดรูเจาะ (mm)							
	รอยเชื่อม SMAW				รอยเชื่อม GMAW			
	อิเล็กโทรดทองเหลือง		อิเล็กโทรดทองแดง		อิเล็กโทรดทองเหลือง		อิเล็กโทรดทองแดง	
	รูเข้า	รูออก	รูเข้า	รูออก	รูเข้า	รูออก	รูเข้า	รูออก
2.5	1.1006	0.6794	1.3016	0.5706	1.1183	0.7377	1.2716	0.5327
3	1.1946	0.7639	1.2366	0.6255	1.2084	0.8740	1.2822	0.5485
3.5	1.196	0.6622	1.2907	0.6413	1.2069	1.014	1.2781	0.6044



ภาพที่ 9 ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของผนังรูเจาะด้วย
อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง

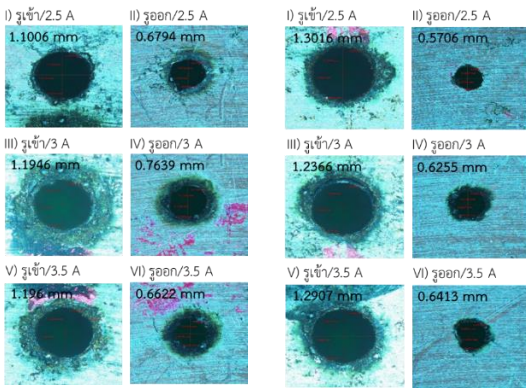
ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการ
ปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองและความ

หยาบผิวเฉลี่ยของผนังรูเจาะรอยเชื่อม SMAW และ
GMAW ที่ถูกใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงที่
กระแสไฟฟ้าแตกต่างกัน พบว่าความหยาบผิวเฉลี่ย
ของผนังรูเจาะรอยเชื่อม GMAW, อิเล็กโทรด
ทองเหลืองและทองแดงที่กระแสไฟฟ้า 3.5 แอมแปร์
มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.0198 และ 4.1517 μm และมี
แนวโน้มสูงขึ้นเมื่อกระแสไฟฟาลดลงตามลำดับ เมื่อ
เปรียบเทียบกับรอยเชื่อม SMAW,อิเล็กโทรดทอง
เหลืองและทองแดงที่กระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์ มี
ความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 4.9813 และ
4.1538 μm และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการปรับค่า
กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

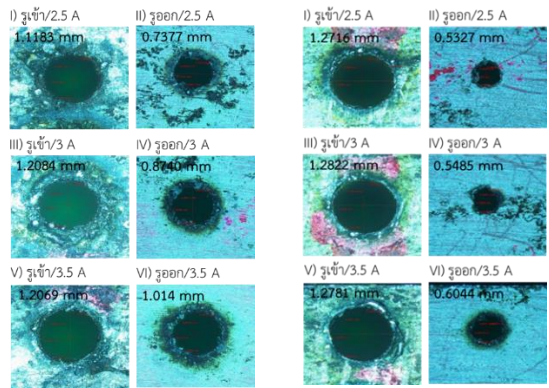
ขนาดของรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม
SMAW และ GMAW ที่ผ่านกระบวนการกัดเซาะด้วย
ไฟฟ้า (EDM) โดยใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและ
ทองแดง ซึ่งถูกกำหนดการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า 3

ระดับ คือ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ ถูกวัดจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ แสดงผลขนาดรูเจาะเข้าและออกดังตารางที่ 5 พบว่าขนาดรูเข้าของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW ที่ถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองมีค่ามากกว่า 1 มม.

และขนาดรูออกมีค่าน้อยกว่า 1 มม. ซึ่งเป็นขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองก่อนทำการสปาร์คขึ้นงาน และมีขนาดรูเข้าและออกใกล้เคียงกันกับการใช้อิเล็กโทรดทองแดง



(ก) อิเล็กโทรดทองเหลือง (ข) อิเล็กโทรดทองแดง
ภาพที่ 10 ขนาดรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม SMAW



(ก) อิเล็กโทรดทองเหลือง (ข) อิเล็กโทรดทองแดง
ภาพที่ 11 ขนาดรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม GMAW

ภาพที่ 10 (ก) (I-III-V) แสดงลักษณะรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW อิเล็กโทรดทองเหลือง และกระแสไฟฟ้า 2.5, 3, 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ พบว่ามีลักษณะรูเข้ามีขนาดใหญ่ขึ้นตามกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับรูออก (ภาพที่ 10 (ก) (II-IV-VI)) พบว่ามีขนาดเล็กกว่ารูเข้าประมาณ 36-45% สำหรับขนาดรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม GMAW อิเล็กโทรดทองแดง และกระแสไฟฟ้า 2.5 - 3.5 แอมแปร์ ดังภาพที่ 10 (ข) พบว่ามีขนาดรูเข้าและออกคล้ายกับรอยเชื่อม SMAW อิเล็กโทรดทองเหลือง (ภาพที่ 10 (ก)) แต่มีลักษณะรูเข้าใหญ่กว่าและรูออกเล็กกว่าเล็กน้อย เมื่อถูกเปรียบเทียบระหว่างรอยเชื่อมเดียวกันและอิเล็กโทรดที่แตกต่างกัน

ค่อนข้างมาก เนื่องจากเกิดการสีกหรือค่อนข้างมาก บริเวณปลายอิเล็กโทรดจึงทำให้อิเล็กโทรดเกิดการเปลี่ยนรูปร่างที่มีลักษณะเป็นความเรียวจึงส่งผลกระทบต่อลักษณะของรูเจาะออกมีขนาดเล็กลงตามกระแสไฟฟ้าที่ลดลงเช่นกัน ซึ่งมีความแตกต่างจากรูเจาะเข้าที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มม. หรือมีค่าระหว่าง 1.1183 - 1.2822 มม. เนื่องจากเป็นบริเวณเริ่มต้นการสปาร์คที่อาจเกิดการกัดเซาะค่อนข้างรุนแรงจากปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าและเกิดอัตราการสีกหรือของอิเล็กโทรดค่อนข้างน้อยหรือการสปาร์คระหว่างผิวข้างของอิเล็กโทรดกับผนังขึ้นงานกับช่วงเวลาเริ่มต้นถึงสิ้นสุดการสปาร์ค จึงทำให้บริเวณรูเข้ามีขนาดใหญ่กว่ารูออกของทั้งสองชนิดอิเล็กโทรดที่ถูกใช้กับรอยเชื่อม SMAW และ GMAW อย่างเห็นได้ชัดเจน [13-14]

ภาพที่ 11 แสดงลักษณะรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม GMAW พบว่ามีลักษณะและขนาดรูเข้า-ออก คล้ายกับรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW (ภาพที่ 10) โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูออกมีขนาดเล็กกว่ารูเข้า

4. สรุปผลการวิจัย

1) อัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด สำหรับรอยเชื่อม SMAW มีค่าเท่ากับ 22.439 mm²/min และ 98% สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองที่กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ สำหรับรอยเชื่อม GMAW มีค่าเท่ากับ 22.439 mm²/min และ 100.4% สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองที่กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

2) ความหยาบผิวเฉลี่ยของผนังรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองแดงที่กระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.1538 μm และรอยเชื่อม GMAW สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองที่กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.0198 μm

3) ขนาดรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงภายใต้การปรับค่ากระแสไฟฟ้า 2.5 - 3 แอมแปร์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเข้ามากกว่า 1 มม. และมีรูออกน้อยกว่า 1 มม. สำหรับทุกเงื่อนไขการทดลองที่ถูกระบุ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Boonloed TH, Sawai D. High temperature tensile properties of hot-pressed inconel 718. Department of metallurgical engineering. Faculty of engineer. Chulalongkorn university. 1999.

[2] Yusuf K, H. Selçuk H, Mevlüt K. An experimental study for determination of the effects of machining parameters on surfaces roughness in electrical discharge machining (EDM). Springer-

Verlag London Limited (Electronic). 2006(28):1118-21.

[3] Thomas B. Technology of electrical discharge machining. Druckerei Helene 6102. 1991:11-53.

[4] Bissacco G, Valentincic J, Hansen H.N., et al. Towards the effective tool wear control micro-EDM milling. Int J Adv Manuf Technol. 2010; 47:3-9.

[5] Ngangkham D, Shrikrishna N.J. Electric discharge alloying of titanium and aluminium on AISI P20 mold steel. Surface & Coatings Technology. 2020;405:(125157):126515

[6] Viswanathan G, Praveen R, Prabhu L, et al. Evaluating the machining parameters for milling P20 HH mould steel using a specific end mill. Materials Today: Proceedings 46(17). 2021;8248-8253.

[7] Li-Ho Ch, Chang-Hui W, Heng Ch. Wear behavior of nitrocarburized JIS SKD61 tool steel. Wear 253. 2002:778-86.

[8] Sir-Alexci S, Albert M.S, Wilson T.P. et al. Arc Welding Procedures on Steels for Molds and Dies. Procedia engineering 100. 2015:584-91.

[9] กมลพงศ์ แจ่มกมล, พิชัย จันทน์มณี. การศึกษาพารามิเตอร์ในการกัดเซาะวัสดุด้วยไฟฟ้าสำหรับเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20. KKU Engineering journal. 2013;40(1):95-103.

[10] พิชัย จันทน์มณี, อภิวัฒน์ มุตตาระ. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอีดีเอ็มทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยทากูชิเทคนิค. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8. วันที่ 22-23 เมษายน 2553.

[11] Kamonpong J, Pichai J. Improving machining performance for deep hole

- drilling in the electrical discharge machining process using a step cylindrical electrode. Appl. Sci. 2021;11(5):2084.
- [12] Hardeep S, Jujhar S, Shubham SH, et al. Parametric optimization of MRR & TWR of the Al6061/SiC MMCs processed during die-sinking EDM using different electrodes. Materials Today: Proceedings 48(5). 2021;1001-1008.
- [13] Tahsin T.O. Manufacturing of micro holes by using micro electric discharge machining. A Thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of atilim university. In partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in the department of mechatronics engineering. 2008.
- [14] Ngangkham D, Shrikrishna N.J. Surface alloying of Ti-6Al-4V on P20 mold steel using electric discharge processing (EDP). Materials Today: Proceedings 5(2) . 2018;8523–8531.