

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(2)
Abstract	(3)
กิตติกรรมประกาศ.....	(4)
สารบัญ	(5)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญภาพประกอบ	(9)
 บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ระเบียบวิธีในการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์.....	5
2.1 เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (Electrical discharge machine : EDM).....	5
2.2 กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์วงจรเปิด	6
2.3 เวลาเปิด (On time : T-on) และ เวลาปิด (Off time : T-off)	6
2.4 วัสดุอิเล็กโทรด (Electrode Material).....	7
2.5 อิเล็กโทรดทองแดง (Copper)	7

2.6	วัสดุชิ้นงาน (Workpiece material)	8
2.7	ชิ้นงานทดสอบ – เหล็กเพลลาขาว	8
2.8	ของเหลวตัวกลาง (Dielectric fluid)	10
2.9	อัตราการขจัดเนื้องาน (Material removal rate)	11
2.10	อัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Electrode wear ratio)	12
2.11	ความหยาบผิว (Surface roughness)	12
2.12	ระยะช่องสปาร์ค (Gap)	13
2.13	การวิเคราะห์ทางโลหะวิทยา	14
2.14	ชั้นหลอมสีขาว (White Layer) ที่เกิดจากการ EDM	17
2.15	รอยแตกร้าว (Cracks)	18
2.16	ระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic)	19
2.17	เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic Machining : USM)	23
2.18	กระบวนการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก (EDM/USV)	25
2.19	วรรณกรรมปริทรรศน์	28
3.	วิธีดำเนินงานวิจัย	32
3.1	แผนงานวิจัย	32
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง	33
3.3	ขั้นตอนการทดลอง	36
3.4	ขั้นตอนการตรวจผลการทดลอง	38
4.	ผลการทดลองและการอภิปราย	42
4.1	การศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนระยะความยาวของฮอว์นต่อค่าความถี่	42
4.2	การศึกษาถึงผลของกระบวนการ EDM, EDM/USV และ EDM/USV/Ab ต่ออัตราการขจัดเนื้องาน (Material Removal Rate ; MRR)	43
4.3	การศึกษาถึงผลของกระบวนการ EDM, EDM/USV และ EDM/USV/Ab ต่ออัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Electrode Wear Ratio : EWR) ...	45
4.4	ค่าช่องไฟในการสปาร์ค (Gap)	46

4.5 การศึกษาถึงผลของกระบวนการ EDM, EDM/USV และ EDM/USV/Ab	
ต่อต่อความหยาบผิวเฉลี่ย (Average surface roughness).....	47
4.6 การศึกษาถึงผลของกระบวนการ EDM, EDM/USV และ EDM/USV/Ab	
ต่อลักษณะความหนาชั้นหลอมสีขาว (White layer)	48
4.7 การศึกษาถึงผลของกระบวนการ EDM, EDM/USV และ EDM/USV/Ab	
ต่อรอยแตกร้าวขนาดเล็กบริเวณผิวหน้าชิ้นงาน (Micro-Cracks)	50
5. สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการทดลอง	56
5.2 ปัญหาในการทำวิจัย	57
5.3 ข้อเสนอสำหรับการวิจัยงาน EDM/USV.....	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก.....	63
ก คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง.....	64
ข กระบวนการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก (EDM/USV).....	65
ค กระบวนการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ผสมผงขัด	
(EDM/USV/Ab).....	67
ง การนับรอยแตกร้าวขนาดเล็ก.....	68
จ การศึกษาลักษณะชั้นหลอมสีขาว	69
ฉ ภาพเขียนแบบของตัวจับยึดอิเล็กทรอนิกส์.....	71

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนัก) ของวัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการวิจัย.....	9
3.1	ตารางตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	36
4.1	ความหนาของชั้นหลอมสีขาวในแต่ละกระบวนการ	50
ผ.1	ตารางคำศัพท์ภาษาอังกฤษ และภาษาไทยที่เกี่ยวกับการทดลอง.....	65

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
2.1 เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM Machine).....	5
2.2 อิเล็กโตรดทองแดง.....	7
2.3 วัสดุชิ้นงาน JIS SS400.....	9
2.4 การลากผ่านของหัววัด ไปบนพื้นผิวของชิ้นงาน.....	12
2.5 ระยะของค่าช่องไฟในการสปาร์ค.....	14
2.6 ลักษณะการหุ้มชิ้นตรวจสอบด้วยเรซิน.....	15
2.7 ลักษณะแนวทางการขัดชิ้นตรวจสอบสลับเป็นตาราง.....	15
2.8 ลักษณะผิวชิ้นงานที่แสดงการสะท้อนของแสงจากกล้องจุลทรรศน์ ก่อนและหลังกัดด้วยน้ำยา.....	17
2.9 ลักษณะชั้นหลอมสีขาวและชั้นใต้ชั้นหลอมสีขาวที่เกิดจากการกัดเหล็ก เพลลาขาว.....	18
2.10 รอยแตกร้าวที่เกิดจากการกัดชิ้นงาน (ก) ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 6 แอมแปร์ เวลาเปิด 100 ไมโครวินาที (ข) ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 25 แอมแปร์ เวลาเปิด 100 ไมโครวินาที.....	19
2.11 พีโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์.....	21
2.12 ชิ้นสารเซรามิกโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก กระจายไปในอากาศ.....	21
2.13 แมกนีโตสตริกทีฟทรานสดิวเซอร์.....	22
2.14 เครื่องอัลตราโซนิก.....	23
2.15 ส่วนประกอบเครื่องอัลตราโซนิกและการทำงานของtoolและสารslurry.....	24
2.16 ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการอัลตราโซนิก.....	25
2.17 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่อัลตราโซนิก.....	26
2.18 ตัวจับยึดอิเล็กโตรด.....	27
2.19 การติดตั้งระบบและอุปกรณ์ต่างๆ ของกระบวนการ EDM/USV.....	28
3.1 ขั้นตอนแผนงานวิจัย.....	32
3.2 วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการวิจัย เหล็กเพลลาขาว (JIS SS400).....	33

3.3	การติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่อัลตราโซนิกเข้ากับเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า.....	34
3.4	การติดตั้งอุปกรณ์ในระบบการ EDM/USV ที่เพิ่มผงขัดในของเหลวตัวกลาง.....	35
3.5	ลักษณะของตัวจับยึดอิเล็กโตรด.....	35
3.6	เครื่องวัดความหยาบผิวเฉลี่ย รุ่น surfcomder SE-40C	38
3.7	เครื่องเลเซอร์ไวโบริเมตร	39
3.7	กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสง (OM) ของ Nikon รุ่น Epiphot 200	40
3.8	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) รุ่น JEOL JSM-5410.....	41
4.1	ผลของการเปลี่ยนระยะความยาวของอิเล็กโตรดต่อค่าความถี่	42
4.2	อัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) ของชิ้นงานเหล็กเพลลาขาว.....	43
4.3	อัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโตรด (EWR) ของชิ้นงานเหล็กเพลลาขาว	45
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับช่องสปาร์ค	46
4.5	ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชิ้นงานเหล็กเพลลาขาว.....	47
4.6	พื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นงานที่แสดงให้เห็นลักษณะชั้นหลอมสีขาวปกคลุมบริเวณผิวหน้า ชิ้นงานของแต่ละกระบวนการ ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 6 A และ 25 A	49
4.7	รอยแตกร้าวขนาดเล็กที่เกิดจากระบบการสปาร์ค.....	52
4.8	รอยแตกร้าวขนาดเล็กที่เกิดจากระบบการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก	53
4.9	รอยแตกร้าวขนาดเล็กที่เกิดจากระบบการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ผสมผงอนุภาค SiC	54
4.10	ความหนาแน่นของรอยแตกร้าวขนาดเล็กที่เกิดจากระบบการ EDM, กระบวนการ EDM/USV และกระบวนการ EDM/USV/Ab ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 6 A และ 25 A.....	55

ผ.1	เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า.....	65
ผ.2	แสดงส่วนประกอบ และการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบการ EDM/USV	66
ผ.3	ส่วนประกอบ และการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบการ EDM/USV/Ab	67
ผ.4	ตัวอย่างการนำรอยแตกร้าวขนาดเล็ก.....	68
ผ.5	เครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบหมุน (Polishing machine)	69
ผ.6	กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสง (OM) ของ Nikon รุ่น Epiphot 200	70
ผ.7	ขนาดของตัวจับยึดอิเล็กทรอนิกส์.....	72