ปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อสมบัติวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก

INFLUENCE OF ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING PROCESS PARAMETERS ON MACHINABILITY OF PLASTIC MOLD STEEL MATERIAL

วัชระพร สำมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา พ.ศ.2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อสมบัติวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก

วัชระพร สำมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา พ.ศ.2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อสมบัติวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก Influence of Electrical Discharge Machining Process Parameters on Machinability of Plastic Mold Steel Material
ชื่อ – นามสกุล	นายวัชระพร สำมณี
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, D.Eng.
ปีการศึกษา	2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, Dr.-Ing.)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิวัฒน์ มุตตามระ, D.Eng.)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 4 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อสมบัติวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก
ชื่อ-นามสกุล	นายวัชระพร สำมณี
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, D.Eng.
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

เหล็ก NAK80 เป็นวัสดุที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ มีคุณสมบัติที่มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานต่อการสึกหรอในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง และถูกนำมาใช้ในงานเป็นวัสดุที่ใช้ผลิตแม่พิมพ์พลาสติก การตัดเฉือนวัสดุชนิดนี้ทำได้ยากเนื่องจากมีความแข็งสูง โดยทั่วไปการตัดเฉือนจะใช้กระบวนการตัดเจาะด้วยไฟฟ้า แต่เนื่องจากอัตราการตัดเฉือนต่ำ ทำให้การผลิตชิ้นงานเป็นไปด้วยความล่าช้า ดังนั้นจึงควรมีแนวทางในการตัดเฉือนเพื่อให้ประสิทธิภาพการตัดเฉือนสูงขึ้น

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตัดเฉือนโดยใช้กระบวนการตัดเจาะด้วยไฟฟ้าสำหรับเหล็ก NAK80 กำหนดให้อิเล็กโทรดเป็นทองแดงผสม ในการทดลองจะพิจารณาค่าปัจจัยในการตัดเฉือน เวลาเปิดกระแสไฟฟ้า และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด ปัจจัยในการตัดเฉือนแต่ละตัวแปรแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ เวลาเปิด 12 18 และ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 16 และ 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 10 และ 15 ไมโครเมตร

ผลการทดลองพบว่าค่าปัจจัยในการตัดเฉือนที่ดีที่สุดคือ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 2.802 ไมโครเมตร อัตราการขจัดเนื้องาน 0.056 กรัมต่อนาที และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดร้อยละ 9.437

คำสำคัญ : กระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้า NAK80 เวลาเปิด กระแสไฟฟ้า ระยะห่าง

Thesis Title	Influence of Electrical Discharge Machining Process Parameters on Machinability of Plastic Mold Steel Material
Name – Surname	Mr. Watcharaporn Sommane
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Chaiya Praneetpongrung, D.Eng.
Academic Year	2019

ABSTRACT

NAK80 steel is a newly developed material characterized by its high strength with wear resistance property at high temperatures. It is usually used as materials for plastic molds. Due to its hardness, it is difficult to be cut. Electrical Discharge Machining (EDM) is normally used to machine it. However, the machining rate is quite low. This leads to the production delays. In order to solve the problems, a guideline for the machining process is needed to improve the machining performances.

This research aimed to study the machining process of Electrical Discharge Machining process for NAK80. A copper alloy electrode was used in the experiment. The effect of three process parameters: the pulse on-time, the peak discharge current, and the space between the workpiece and the electrode were examined. The experimental pulse on-time was 12, 18, and 25 microseconds. The experimental peak discharge currents were 10, 16, and 22 amperes. While the spaces between the workpiece and the electrode were 5, 10 and 15 micrometers.

It was found that the optimal machining process parameters were: the pulse on-time of 12 microseconds, the peak discharge current of 10 amperes and the 5 micrometer space between the workpiece and the electrode was. The average surface roughness was at 2.802 micrometers. Moreover, the material removal rate was 0.056 gram/minute with the electrode wear rate was 9.437 percent.

Keywords : electrical discharge machining, NAK80, pulse on-time, peak discharge current, space

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยะ ปราณีตพลกรัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ประธานกรรมสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ มุตตามระ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ กรุณาให้คำชี้แจงตลอดจนช่วยเหลือและแก้ไขข้อบกพร่อง เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้ มีความสมบูรณ์ทางผู้จัดทำวิทยานิพนธ์จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมาไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ในสาขาวิศวกรรมการผลิต ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มทร.ธัญบุรี ที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการทดสอบ ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต มทร.รัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวลที่สนับสนุนทางด้านเครื่องมือเครื่องจักรสำหรับศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ผู้ที่ให้ความรักและเป็นกำลังใจในการเรียนการศึกษาในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วัชระพร สำมณี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ....(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ....(4)
กิตติกรรมประกาศ ....(5)
สารบัญ ....(6)
สารบัญตาราง ....(8)
สารบัญรูป ....(9)
บทที่ 1 บทนำ 12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 12
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 13
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 13
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 14
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
2.1 เทคโนโลยีการกัดเซาะโลหะด้วยการปล่อยประจุไฟฟ้า 15
2.2 หลักการทำงานของเครื่อง EDM 17
2.3 การสปาร์คที่เกิดขึ้นในกระบวนการ EDM 18
2.4 กระบวนการ Discharge ตามลักษณะของแรงเคลื่อน 19
2.5 อุปกรณ์ของกรรมวิธี EDM 22
2.6 เหล็กกล้าเครื่องมือ 26
2.7 ทฤษฎีพื้นผิว 28
2.8 การทดสอบความแข็งของชิ้นงาน 30
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 34
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 34
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง 37
3.3 หลักการออกแบบการทดลอง 38
3.4 การดำเนินการทดลอง 40
3.5 ขั้นตอนหลังการทดลอง 44
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 ผลการทดลอง....45
4.2 ตรวจสอบความแข็งชิ้นงานก่อนและหลังทำการทดลอง....61
4.3 ผลการตรวจสอบรอยแตกร้าวในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด....65
4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ....67
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ....69
5.1 สรุปผลการทดลอง....69
5.2 ข้อเสนอแนะ....69
บรรณานุกรม....70
ภาคผนวก....73
ภาคผนวก ก....74
ภาคผนวก ข....98
ประวัติผู้เขียน....107

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK 80 27

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80 38

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของอิเล็กโทรดทองแดงผสม 38

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ควบคุมในการทดลอง 39

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 39

ตารางที่ 3.5 ออกแบบการทดลอง 39

ตารางที่ 4.1 ผลการเก็บค่าน้ำหนักก่อนและหลังการทดลองของอิเล็กโทรดและชิ้นงาน 45

ตารางที่ 4.2 ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเหล็ก NAK80 46

ตารางที่ 4.3 อัตราการขจัดเนื้อของชิ้นงานเหล็ก NAK80 48

ตารางที่ 4.4 อัตราการสึกหรออิเล็กโทรดของชิ้นงานเหล็ก NAK80 49

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบความแข็งชิ้นงาน 62

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 เครื่อง Wire Cutting Machine....15
รูปที่ 2.2 เครื่อง Electrical Discharge Machine....16
รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของ EDM....17
รูปที่ 2.4 กระบวนการ Discharge ตามลักษณะของแรงเคลื่อน....19
รูปที่ 2.5 ขั้วอิเล็กโทรดเคลื่อนที่เข้าใกล้กันภายใต้ของเหลวฉนวน....19
รูปที่ 2.6 วัสดุเกิดความร้อนที่สูงมาก....20
รูปที่ 2.7 การเคลื่อนตัวของประจุไฟฟ้า (Discharge)....20
รูปที่ 2.8 กระแสของไฟฟ้าสิ้นสุดลงพลังงานต่อเนื่องจากปฏิกิริยา Plasm....21
รูปที่ 2.9 แรงดันขยายตัวออกเป็นวงกว้างมากขึ้น....21
รูปที่ 2.10 ของเหลวคืนความเป็นฉนวนอย่างสมบูรณ์....22
รูปที่ 2.11 รูปคลื่นจินตภาพของแรงเคลื่อนดิสชาร์จและกระแสดิสชาร์จ....22
รูปที่ 2.12 แสดงการเกิดช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานในระหว่างการสปาร์คทำงานของเครื่อง ซึ่งจะ เรียกว่า โอเวอร์คัด....26
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของพื้นผิวภายนอก....28
รูปที่ 2.14 ความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต (Ra)....30
รูปที่ 2.15 ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสิบจุด (Rz)....30
รูปที่ 2.16 การทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)....31
รูปที่ 3.1 เครื่องเลื่อยสายพาน....34
รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับชั่งน้ำหนักก่อนทดลองและหลังทดลอง....35
รูปที่ 3.3 เครื่อง EDM ยี่ห้อ CHMER EDM รุ่น CMA 64 C....35
รูปที่ 3.4 เครื่องตัดใช้ตัดชิ้นงานทดสอบ....36
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความหยาบผิวใช้ในการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน....36
รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความแข็งของชิ้นงาน....37
รูปที่ 3.7 (ก.) ชิ้นงานเหล็ก NAK 80 (ข.) ทองแดงผสม....37
รูปที่ 3.8 การจับยึดชิ้นงานกับแท่งอิเล็กโทรดในถังน้ำมันไดอิเล็กตริก....41
รูปที่ 3.9 เทน้ำมันลงไปยังถังน้ำมันไดอิเล็กตริก....41
รูปที่ 3.10 แสดงหน้าจอการทำงานของเครื่อง....42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.11 ทดสอบความหยาบผิวของชิ้นงาน 42
รูปที่ 3.12 แสดงรูปชิ้นงานที่ใช้ในการหาค่าอัตราการขจัดเนื้องาน 43
รูปที่ 3.13 แสดงการสึกหรอของอิเล็ดโทรด..43
รูปที่ 3.14 แสดงการตรวจสอบค่าความแข็ง..44
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวชิ้นงานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 5 μm..50
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวชิ้นงานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 10 μm..51
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวชิ้นงานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 15 μm..52
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าอัตราการขจัดเนื้องานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 5 μm..53
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าอัตราการขจัดเนื้องานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 10 μm..54
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าอัตราการขจัดเนื้องานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 15 μm..55
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 5 μm..56
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 10 μm..57
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 15 μm..58
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบปัจจัยร่วมระหว่างสึกหรอของอิเล็กโทรดกับอัตราการขจัดเนื้องาน โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 5 ไมโครเมตร 59
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบปัจจัยร่วมระหว่างสึกหรอของอิเล็กโทรดกับอัตราการขจัดเนื้องาน โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 10 ไมโครเมตร 60

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบปัจจัยร่วมระหว่างสึกหรอของอิเล็กโทรดกับอัตราการขจัดเนื้องาน โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 15 ไมโครเมตร 61

รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบความแข็งชิ้นงานหลังทำการทดลองของเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 5 ไมโครเมตร 63

รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบความแข็งชิ้นงานหลังทำการทดลองของเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 10 ไมโครเมตร 64

รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบความแข็งชิ้นงานหลังทำการทดลองของเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 15 ไมโครเมตร 65

รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของการศึกษาเวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร 66

รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของการศึกษาเวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร 67

รูปที่ 4.18 ผลวิเคราะห์ EDS สเปกตรัมที่ 1 67

รูปที่ 4.19 ผลวิเคราะห์ EDS สเปกตรัมที่ 2 และ สเปกตรัมที่ 3 67

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้จะมีการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มีลักษณะคล้ายๆ กันเป็นจำนวนมาก การผลิตชิ้นส่วนที่เป็นโลหะหรือพลาสติกนั้น ให้ได้ปริมาณมาก ๆ และมีลักษณะหรือขนาดชิ้นส่วนที่แน่นอนและได้คุณภาพตามความต้องการของลูกค้า จะต้องอาศัยการขึ้นรูปโดยการใช้แม่พิมพ์ คุณภาพของชิ้นงานที่ได้ จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแม่พิมพ์อีกด้วย ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการขึ้นรูปโดยใช้กรรมวิธีต่าง ๆ ทั้งในการใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูป การตีขึ้นรูป การขึ้นรูปโดยการตัดเฉือนเนื้อวัสดุ หรือการฉีดขึ้นรูปในการพลาสติกนั้น จะนิยมใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงและความแข็งแกร่งสูงมาใช้ แต่ในการขึ้นรูปวัสดุเหล่านี้โดยกรรมวิธีทางกลในการตัดเฉือนวัสดุแบบเดิม ด้วยการตัดเฉือนเนื้อวัสดุด้วยคมตัดหรือเครื่องมือตัด เช่น กรรมวิธีการกลึง กรรมวิธีการกัด กรรมวิธีการตัดและกรรมวิธีการเจาะนั้นจะทำได้ยาก ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ทางด้านการแพทย์ แม่พิมพ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และแม่พิมพ์ด้านรถยนต์ เป็นต้น กระบวนการตัดด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้า (Electrical Discharged Machine) จึงถูกนำมาใช้แทน การขึ้นรูปวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงด้วยวิธีจ่ายประจุไฟฟ้า หรือจะเรียกอีกอย่างว่ากระบวนการ EDM [1,2] จะนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนหรือเครื่องมือที่สำคัญของประเทศเป็นจำนวนมากเพราะเป็นกระบวนการที่มีความเที่ยงตรงเหมาะกับงานที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถผลิตได้โดยใช้กรรมวิธีการตัดเฉือนทั่วไป สามารถทำการตัดชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งได้และยังใช้ในการผลิตชิ้นส่วนเบ้าของแม่พิมพ์อีกด้วย กระบวนการ EDM เป็นเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติจึงเหมาะกับการผลิตชิ้นงานต้นแบบ สำหรับข้อด้อยของ EDM คือกระบวนการตัดจะใช้เวลานาน งานที่ต้องการความละเอียดมาก ๆ จะต้องใช้อิเล็กโทรดหลายชิ้นและงานที่ซับซ้อนมาก ๆ จะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง สำหรับวัสดุ NAK80 นับเป็นวัสดุชนิดใหม่ ที่นิยมนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่นการนำมาทำเครื่องมือชิ้นส่วนต่าง ๆ ในงานขึ้นรูป เนื่องจากเหล็กชนิดนี้มีความเหนียวและความแข็งดีเยี่ยม ลดความเสี่ยงต่อความเสียหายและบิดงอที่เกิดจากการชุบแข็งมีความทนทานสูง ที่ผ่านมายังไม่มีผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับการตัดเจาะด้วยประจุไฟฟ้าไฟฟ้าในเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80 เพราะเป็นวัสดุชนิดใหม่ ทำให้มีปัญหาในการตัดเจาะด้วยประจุไฟฟ้าค่อนข้างมาก เนื่องจากยังไม่มีค่ามาตรฐานที่จะใช้ในการปรับตั้งค่าปัจจัยในการแปรรูปที่เหมาะสม จึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการแปรรูปและเพื่อศึกษาพัฒนาการประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสม

การทำงานของกระบวนการ EDM การตัดโลหะจะใช้การสปาร์คทางไฟฟ้าโดยอิเล็กโทรดและชิ้นงานจะต้องนำไฟฟ้า โดยการสปาร์คจะทำการจ่ายประจุไฟฟ้าระหว่างชิ้นงานและอิเล็กโทรด (Electrode) ซึ่งกระทำภายใต้ของเหลวที่เป็นฉนวนเรียกว่า ไดอิเล็กทริก (Dielectric) ซึ่งระหว่างการสปาร์คจะเกิดความร้อนสูงมากจนทำให้ชิ้นงานเกิดการหลอมละลายกลายเป็นไอของเนื้อวัสดุระหว่างทำการตัด ซึ่งระหว่างการหลอมละลายไดอิเล็กทริกจะทำหน้าที่ช่วยลดอุณหภูมิและขจัดเศษโลหะที่เกิดจากการตัดโดยอิเล็กโทรดจะไม่สัมผัสกับชิ้นงาน สำหรับการลดความเป็นฉนวนของไดอิเล็กทริก คือการปรับระยะห่างระหว่างชิ้นงานและอิเล็กโทรด [3]

ด้วยเหตุผลดังกล่าววิทยานิพนธ์นี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษา ปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อสมบัติวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก เพื่อหาค่าตัวแปรในการตัดชิ้นงานที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงาน โดยการกำหนดปัจจัยที่จะใช้ในการทดลองจำนวน 3 ปัจจัยได้แก่ เวลาเปิด (On-time) กระแสไฟฟ้า (Discharge Current) และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (Gap) มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานที่ทำการกัดเซาะด้วยประจุไฟฟ้าในกระบวนการอีดีเอ็ม เพื่อการใช้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน อัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงความหยาบผิวของชิ้นงาน อัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดในกระบวนการ EDM

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เครื่อง EDM ยี่ห้อ CHMER EDM รุ่น CMA 64 C

1.3.2 วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80 ขนาด 25x25x25 มิลลิเมตร แปรรูปลึก 10 มิลลิเมตร

1.3.3 วัสดุทำอิเล็กโทรดใช้ทองแดงผสม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ความยาว 20 มิลลิเมตร

1.3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า ได้แก่

1.3.4.1 เวลาเปิด (On-time) คือ 12 18 และ 25 ไมโครวินาที

1.3.4.2 กระแสไฟฟ้า (Discharge Current) คือ 10 16 และ 22 แอมป์

1.3.4.3 ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (Gap) คือ 5 10 และ 15 ไมโครเมตร

1.3.5 ทดสอบเฉพาะความหยาบผิวของชิ้นงาน อัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

1.3.6 ตรวจสอบความแข็งชิ้นงานก่อนและหลังทำการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยกระบวนการ EDM

1.4.2 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน อัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

1.4.3 สามารถนำความรู้จากงานวิจัยไปพัฒนาและปรับปรุง เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการตัดวัสดุในโรงงานอุตสาหกรรม

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยเรื่องปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อสมบัติวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ได้ศึกษาค้นคว้าหาตำรา และงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการทำงานวิจัย เช่น เทคโนโลยีการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า เหล็กกล้าเครื่องมือ ความหยาบผิว เป็นต้น

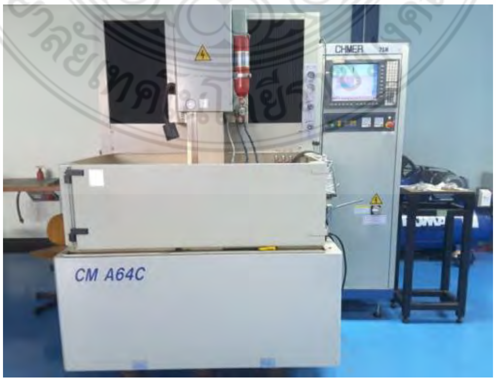
2.1 เทคโนโลยีการกัดเซาะโลหะด้วยการปล่อยประจุไฟฟ้า [7]

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะหรืออุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไม่ว่าจะเป็นแม่พิมพ์สำหรับโลหะหรือแม่พิมพ์สำหรับพลาสติกนั้น ส่วนใหญ่จะผ่านกระบวนการหรือขั้นตอนการผลิตที่จะต้องใช้เครื่อง EDM หรือที่เรียกว่า Electrical Discharged Machine โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ Sink-EDM และ Wire-EDM ซึ่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมของไทยมีใช้อยู่เป็นจำนวนมากโดยการกัดเซาะโลหะด้วยการปล่อยประจุไฟฟ้า (Electrical Discharged Machining Technology) เป็นกระบวนการที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานเป็นอย่างมาก เพราะเป็นกระบวนการที่ต้องเก็บรายละเอียดของชิ้นงาน ซึ่งเกือบจะเป็นขั้นตอนสุดท้าย เพราะเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการผลิตนานมาก

2.1.1 เครื่อง (Wire Cutting Machine) เป็นเครื่องจักรประเภทเดียวกับเครื่อง EDM แต่เปลี่ยนจากการใช้อิเล็กโทรดเป็นตัวตัดเฉือนชิ้นงานมาใช้ลวดทองเหลืองเป็นตัวตัดให้ได้รูปร่างตามต้องการในแนวตั้ง เครื่องตัดโลหะด้วยการปล่อยประจุไฟฟ้า เป็นเครื่องที่ตัดงานด้วยความเที่ยงตรงสูงมาก สามารถควบคุมขนาดได้เล็กกว่า 5 ไมครอน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูงในการทำชิ้นงาน จึงเหมาะกับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง แสดงดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 เครื่อง Wire Cutting Machine

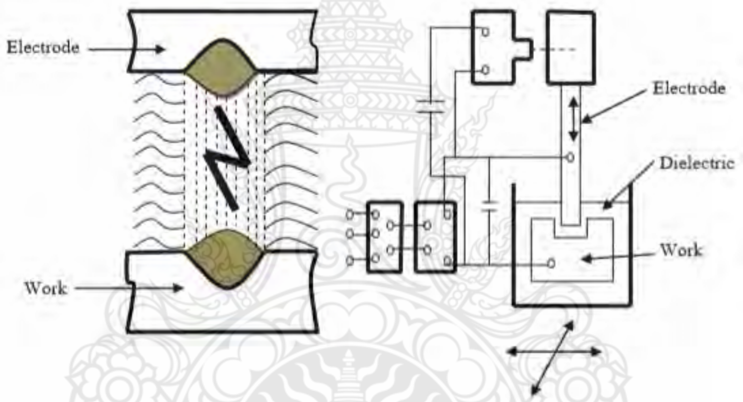
2.1.2 เครื่อง EDM (Electrical Discharge Machine) [3] หมายถึง การตัดด้วยการปล่อยประจุไฟฟ้า ทำงานโดยปล่อยกระแสไฟฟ้ามีความต่างศักย์สูง ซึ่งไหลผ่านโลหะสองชิ้นได้แก่ ชิ้นงานและอิเล็กโทรด เหมาะกับงานที่ ต้องการความเที่ยงตรงสูง งานที่ไม่สามารถขึ้นรูปหรือวิธีการตัดเฉือนแบบปกติได้ หรือชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็ง เครื่อง EDM เป็นเครื่องจักรที่ทำงานอย่างอัตโนมัติ สามารถผลิตชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือ รูปทรงบ่อย ๆ ได้ดี เพราะสามารถแก้ไขข้อมูลต่าง ๆ โดยตรงที่โปรแกรม ดังนั้นจึงเหมาะกับการผลิตชิ้นงาน ต้นแบบ (Prototype) หรือผลิตชิ้นงานในระบบสายงานการผลิตที่มีกำลังการผลิตปานกลาง ซึ่งเหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดกลาง เครื่องจักรซีเอ็นซีการเคลื่อนที่ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการผลิตชิ้นงานจะทำงานโดย อัตโนมัติด้วยตัวของเครื่องจักรเองโดยอาศัยข้อมูลจากชุดควบคุมเครื่องจักรจะทำงานตามข้อมูลตัวเลข (Numerical Information) ที่ป้อนให้กับชุดควบคุมของเครื่องจักร ในรูปแบบของรหัสที่ชุดควบคุมสามารถ เข้าใจได้ในระบบการขับเคลื่อนจะต้องมีการออกแบบให้รับกับการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของ เครื่องจักรที่ควบคุมระบบเชิงตัวเลข เช่น ระบบเฟืองทด เพลาหมุน พร้อมแบริ่งที่มีความเที่ยงตรงสูง ระบบ การหล่อลื่น พร้อมกับการระบายความร้อน เป็นต้น ในงานผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนที่ทำด้วย วิธีการตัดเฉือนทั่วไปได้ยาก สามารถตัดเฉือนชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้วใช้ผลิตส่วนเบ้าของแม่พิมพ์การตัดเฉือนโลหะจะใช้การกัดเซาะทางไฟฟ้ามีอิเล็กโทรดเป็นตัวนำไฟฟ้า การใช้เครื่อง EDM เพื่อทำการผลิตชิ้นงานให้ได้รูปทรงตามต้องการนั้นจะต้องทำการผลิตอิเล็กโทรดที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานก่อนซึ่งการผลิตอิเล็กโทรดจะทำด้วยกระบวนการ CNC และ CAD/CAM โดยอิเล็กโทรดทำจากวัสดุที่นำไฟฟ้าเช่น ทองแดง แกรไฟต์ เมื่อทำการผลิตอิเล็กโทรดที่ใช้สำหรับในการตัดเฉือนชิ้นงานเสร็จแล้วจะนำอิเล็กโทรดมาต่อเข้ากับเครื่อง EDM ซึ่งเครื่อง EDM จะสร้างความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดและชิ้นงานขณะที่อิเล็กโทรดเข้าใกล้ ชิ้นงานจะเกิดการสปาร์คระหว่างอิเล็กโทรดและชิ้นงานทำให้ชิ้นงานที่เป็นเหล็กเกิดความร้อนและละลาย ออกมาซึ่งจะก่อให้เกิดรูปทรงตามอิเล็กโทรด แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่อง Electrical Discharge Machine [3]

2.2 หลักการทำงานของเครื่อง EDM

EDM เป็นเทคนิคที่ควบคุมการกัดโลหะโดยการสปาร์คของกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวกัดเซาะชิ้นงาน โดยให้เครื่องมือตัดหรืออิเล็กโทรดมีรูปร่างตรงกันข้ามกับชิ้นงานอิเล็กโทรดทำขึ้นมาจากวัสดุที่เป็นสื่อไฟฟ้า โดยปกติจะใช้ทองแดงและแกรไฟต์เนื่องจากถ้างานที่ต้องการทำมีขนาดใหญ่จะมีน้ำหนักมากทำ ให้อิเล็กโทรดที่ทำจากทองแดงมีน้ำหนักมากตามด้วยทำให้ไม่สะดวกในการใช้งาน จึงเปลี่ยนมาใช้แกรไฟต์ แทนทองแดง อิเล็กโทรดจะถูกแปรรูปให้มีรูปร่างตามแบบงานที่ต้องการ อิเล็กโทรดและชิ้นงานจะจมอยู่ในของเหลวที่เป็นฉนวนซึ่งโดยทั่วไปจะใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิดใสหรือน้ำกลั่น ของเหลวนี้จะไม่เป็นสื่อทาง ไฟฟ้า กลไกเซอร์โว (Server) จะเป็นตัวรักษาระยะช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดและชิ้นงานให้มีค่าความละเอียด ±0.002 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้อิเล็กโทรดและชิ้นงานสัมผัสกัน แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของ EDM [5]

กระแสไฟฟ้าตรง แรงเคลื่อนต่ำแอมแปร์สูง จะถูกปล่อยไปยังอิเล็กโทรด ด้วยอัตราประมาณ 2000 เฮิซท์แรงกระตุ้นทางไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นประกายไฟสปาร์คขึ้นระหว่างช่องว่างของอิเล็กโทรดและชิ้นงาน ความร้อนจะเพิ่มมากขึ้นในพื้นที่ที่จำกัดของการสปาร์ค โลหะจะเกิดการหลอมละลายและอนุภาคเล็ก ๆ ของโลหะที่หลอมละลายถูกกำจัดออกจากผิวชิ้นงานของเหลวที่เป็นฉนวนซึ่งอยู่บริเวณรอบ ๆ ของการดิสชาร์จ จะระเหยและแยกตัวออกเป็นความร้อนที่เกิดจากการสปาร์คของเหลวที่เป็นฉนวนจะต้องมีการไหลเวียนอย่างสม่ำเสมอจะเซาะอนุภาคของโลหะให้ไหลออกไปตามแรงฉีดของของเหลวและยังช่วยควบคุมความร้อนอันเกิดจากการสปาร์คอีกด้วย แสดงดังรูปที่ 2.3

2.3 การสปาร์คที่เกิดขึ้นในกระบวนการ EDM [5]

การสปาร์คจะเกิดตรงกับตำแหน่งที่ชิ้นงานและอิเล็กโทรดอยู่ใกล้กันมากที่สุดจนของเหลวไดอิเล็กทริกเกิดการแตกตัวกลายเป็นไอออนและเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านของเหลวไดอิเล็กทริกบริเวณที่เกิดการสปาร์คจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงพอที่จะทำให้เกิดการหลอมละลายหรือกระทั่งกลายเป็นไอ ซึ่งของเหลวไดอิเล็กทริกก็จะพัดพาเอาวัสดุที่หลอมละลายออกไปจากบริเวณถึงแม้ว่าการสปาร์คจะเกิดขึ้นครอบคลุมบริเวณเล็ก ๆ แต่จะเกิดขึ้นในความถี่สูงหลายร้อยหรือหลายพันครั้งต่อวินาที ซึ่งก็จะทำให้เกิดการหลุดออกของเนื้อวัสดุในปริมาณที่มากขึ้นได้

2.3.1 ใส่แรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นด้วยการใส่แรงดันไฟฟ้า (ประมาณ 60 - 28 V) ระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด โดยปกติในการขึ้นรูปนั้นจะใช้ของเหลวไดอิเล็กทริกรักษาความต้านทานไฟฟ้าระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดหรือความเป็นฉนวนให้มีค่าสูงขึ้น ทำให้สามารถลดระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าช่องว่างการสปาร์คให้แคบลงได้ ซึ่งจะมีผลดีในการขึ้นรูปที่มีความละเอียดสูง

2.3.2 สูญเสียความเป็นฉนวน เมื่อลดระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับขั้วไฟฟ้าให้เข้าใกล้กันเรื่อย ๆ จนถึงระยะห่างของค่าหนึ่งของเหลวไดอิเล็กทริกจะเกิดการสูญความเป็นฉนวนประจุไฟฟ้าลบจะถูกดึงไปสู่ขั้วไฟฟ้าบวก

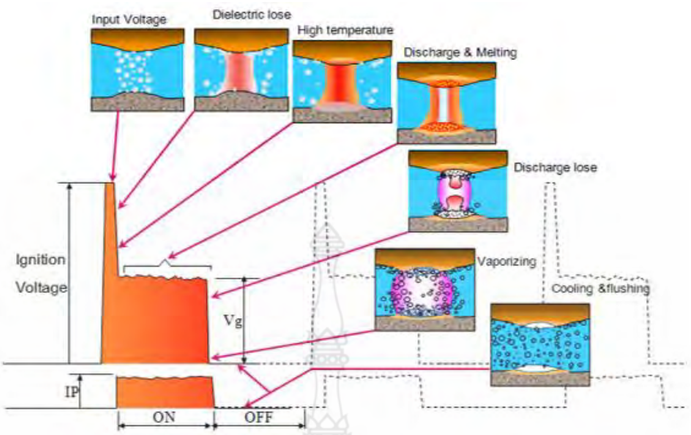
2.3.3 สปาร์คหลอมละลาย เมื่อเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวนขึ้นแล้ว อิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุไฟฟ้าลบจะเริ่มไหลเป็นจำนวนมากอย่างรุนแรง ซึ่งก็คือการสปาร์คนั่นเองบริเวณที่เกิดการสปาร์คนี้จะมีกระแสไฟฟ้าที่มีความหนาแน่นสูงมากเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ทำให้บริเวณที่เกิดการสปาร์คมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากจนบางส่วนของชิ้นงานจะถูกหลอมละลายนอกจากนั้นของเหลวไดอิเล็กทริกในบริเวณที่เกิดจะการสปาร์คก็จะถูกความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้กลายเป็นแก๊สและเกิดความดันที่สูงมาก

2.3.4 เย็นตัวความดันที่เกิดขึ้นระหว่างการสปาร์คจะทำให้ส่วนที่เกิดหลอมละลายของชิ้นงานหลุดกระเด็นไป ซึ่งส่วนที่หลอมละลายของชิ้นงานจะระบายความร้อนไปสู่ของเหลวไดอิเล็กทริกรอบข้างและเย็นลงอย่างรวดเร็วกลายเป็นเศษผงชิ้นเล็ก ๆ

2.3.5 กลับสู่ความเป็นฉนวน หลังจากที่สปาร์คหนึ่งครั้งจบลงแล้วไม่มีการใส่แรงดันไฟฟ้าเข้าไปจนกว่าของเหลวไดอิเล็กทริกจะกลับคืนสู่สภาพความเป็นฉนวน ซึ่งจะเกิดการรอในช่วงนี้จะช่วยในการป้องกันไม่ให้เกิดการสปาร์คแบบผิด เช่น การสปาร์คซ้ำภายหลังที่ของเหลวไดอิเล็กทริกกลับคืนสู่ความเป็นฉนวนแล้วทำการสปาร์คเช่นเดิม

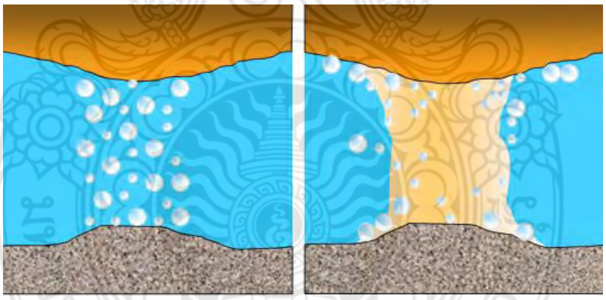
สำหรับการสปาร์คซ้ำ คือ การสปาร์คที่เกิดขึ้นโดยไม่เกี่ยวข้องกับการควบคุมของระบบ NC ในกรณีที่สภาวะแวดล้อมของการสปาร์คลดลง อาจจะเกิดการสปาร์คขึ้นได้โดยไม่สัมพันธ์กับช่วงจังหวะของพัลส์ (Pulse) ของการสปาร์คที่ถูกส่งมาจากวงจรการสปาร์ค เนื่องจากการสปาร์คประเภทนี้เป็นปรากฏ การณ์นอกเหนือการควบคุมจนไม่อาจถือได้ว่าการสปาร์คที่เหมาะสมได้

2.4 กระบวนการ Discharge ตามลักษณะของแรงเคลื่อน [5]



รูปที่ 2.4 กระบวนการ Discharge ตามลักษณะของแรงเคลื่อน

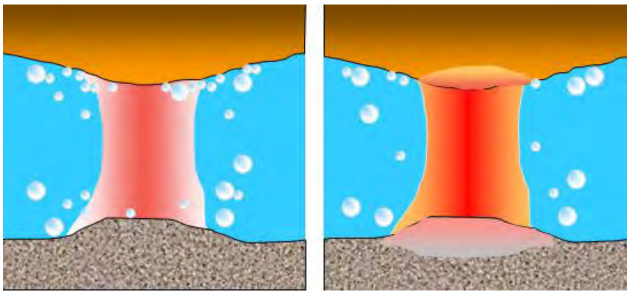
2.4.1 เมื่อขั้วอิเล็กโทรดเคลื่อนที่เข้าใกล้กันภายใต้ของเหลวฉนวน เริ่มเกิดแรงเคลื่อนและอุณหภูมิสูงขึ้น (ก) ของเหลวเริ่มสูญเสียความเป็นฉนวนในตำแหน่งจุดปลายนั้น ๆ (ข) แสดงดังรูปที่ 2.5



ก ข

รูปที่ 2.5 ขั้วอิเล็กโทรดเคลื่อนที่เข้าใกล้กันภายใต้ของเหลวฉนวน

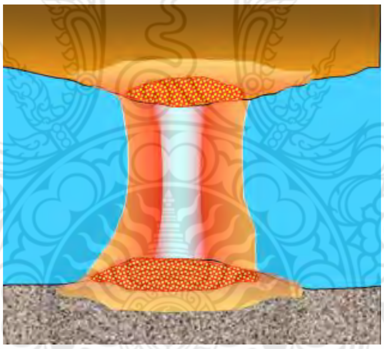
2.4.2 อุณหภูมิสูงขึ้นมากขึ้นเรื่อย ๆ (ก) ในขณะเดียวกัน ณ จุด 2 จุดบนวัสดุเกิดความร้อนที่สูงมากเช่นเดียวกันในขณะที่แรงเคลื่อนลดลงจนของเหลวเริ่มเปลี่ยนคุณสมบัติให้สามารถนำไฟฟ้าได้ (ข) แสดงดังรูปที่ 2.6



ก ข

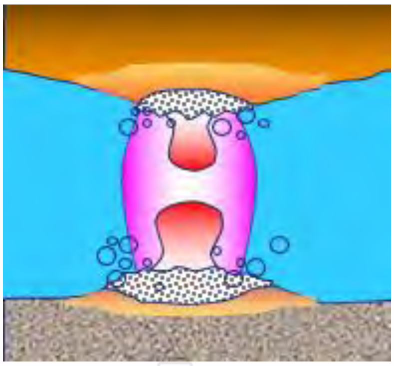
รูปที่ 2.6 วัสดุเกิดความร้อนที่สูงมาก

2.4.3 กระแสมากขึ้นในขณะนั้น คือ เกิดการเคลื่อนตัวของประจุไฟฟ้า (Discharge) ในช่วงเสี้ยวเวลาสั้น ๆ ในทิศทางจากขั้วลบไปบวกในจุด 2 จุดของวัสดุ การเคลื่อนของอนุภาคบนวัสดุนี้เองทำให้เกิดการหลอมละลายเป็นของเหลวในที่สุด และพลังความร้อนนี้เกิดเป็น Plasma channel ที่เกิดแรงดันขึ้นได้อย่างมหาศาล แสดงดังรูปที่ 2.7



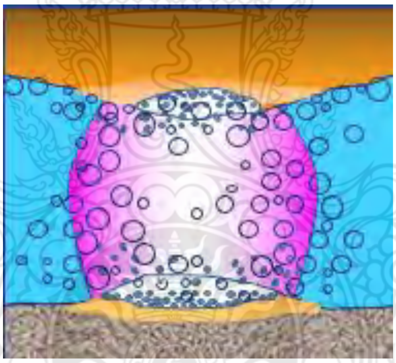
รูปที่ 2.7 การเคลื่อนตัวของประจุไฟฟ้า (Discharge)

2.4.4 เมื่อกระแสของไฟฟ้าสิ้นสุดลงพลังงานต่อเนื่องจากปฏิกิริยา Plasma ซึ่งเป็นความร้อนและแรงดันสูง (Vaporizing) กระตุ้นให้สูญเสียพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างกันและการหลอมละลายจากของเหลวเป็นของแข็งเริ่มเกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.8



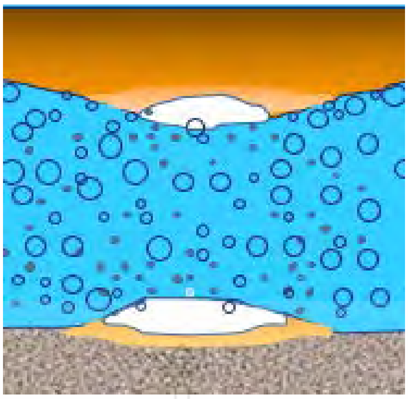
รูปที่ 2.8 กระแสของไฟฟ้าสิ้นสุดลงพลังงานต่อเนื่องจากปฏิกิริยา Plasma

2.4.5 เมื่อแรงดันขยายตัวออกเป็นวงกว้างมากขึ้น อุณหภูมิเริ่มลดลงพร้อมกันกับผงวัสดุที่แตกกระจายออก แรงดันจากของเหลวและฟองก๊าซพาเอาเศษผงจากการหลอมละลายเคลื่อนที่ออกเป็นหลุมบนผิววัสดุ แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แรงดันขยายตัวออกเป็นวงกว้างมากขึ้น

2.4.6 ของเหลวคืนความเป็นฉนวนอย่างสมบูรณ์ เศษผงเย็นตัวลงเป็นเขม่าของแข็งฟองก๊าซเคลื่อนที่ขึ้นและออกจากจุดนั้น เกิดเป็นหลุมที่จุดทั้งสอง และพร้อมที่จะเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวอีกครั้งเมื่อมีการจ่ายพลังงานครั้งใหม่ หรือเกิดรูปคลื่นลูกใหม่ แสดงดังรูปที่ 2.10

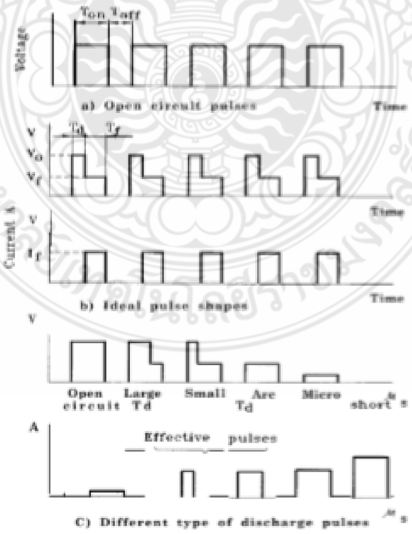


รูปที่ 2.10 ของเหลวคืนความเป็นฉนวนอย่างสมบูรณ์

2.5 อุปกรณ์ของกรรมวิธี EDM [6]

กรรมวิธี EDM จะเกี่ยวข้องกับการใช้ความร้อนที่มีความเข้มสูงทำให้ชิ้นงานโลหะหลอมละลายหรือกลายเป็นไอเฉพาะที่จะมีอุปกรณ์ประกอบดังนี้

2.5.1 แหล่งจ่ายพลังงานดิสชาร์จ ทำหน้าที่ผลิตพลังงานดิสชาร์จเพื่อใช้ในการแยกอนุภาคโลหะ เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของเครื่องอีดีเอ็ม คือ แหล่งจ่าย พลังงานไฟฟ้า (Electrical Discharge Pulse Control) ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการจ่ายเป็นแรงเคลื่อนที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมอย่างเป็นจังหวะ (Pulse) ที่ต่อเนื่องกัน แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รูปคลื่นจินตภาพของแรงเคลื่อนดิสชาร์จและกระแสดิสชาร์จ

2.5.2 ระบบไดอิเล็กทริค (Dielectric system) ทำหน้าที่เป็นฉนวนพัดพาเศษอนุภาคที่ถูกกัดเซาะออกมาและระบายความร้อนที่เกิดขึ้น

หน้าที่ของสารไดอิเล็กทริก

2.5.2.1 ฉนวน (Insulation) จุดประสงค์หลักของสารไดอิเล็กตริกคือการทำหน้าที่เป็นฉนวนระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน การดิสชาร์จไม่ควรจะเกิดขึ้นจนกว่าระยะช่องว่างจะน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อให้ได้ความละเอียดถูกต้องมากที่สุด

2.5.2.2 ไอออน (Ionisation) สารไดอิเล็กตริกควรที่จะสร้างเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการดิสชาร์จเร็วที่สุดและเมื่อสวิตซ์ออฟ (off) สารไดอิเล็กตริกจำเป็นต้องกำจัดไอออนในเส้นทางดิสชาร์จเพื่อให้เกิดการดิสชาร์จใหม่ในตำแหน่งอื่นต่อไป

2.5.2.3 การหล่อเย็น (Cooling) อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในช่องว่างประมาณ 10,000 °c ภายในเวลาเศษส่วนล้านของวินาทีความร้อนที่เกิดขึ้นต้องระบายออก ดังนั้นสารไดอิเล็กตริกจึงทำหน้าที่ระบายความร้อนจากชิ้นงานและอิเล็กโทรดความร้อนที่สูงเกินไปจะทำให้อิเล็กโทรดสึกหรอมากในเวลาเดียวกันไอของความร้อนจะกลั่นตัวในสารไดอิเล็กตริกด้วย

2.5.2.4 การพัดพาอนุภาคโลหะ อนุภาคโลหะจากกระบวนการอีดีเอ็มในช่องว่างดิสชาร์จจะถูกสารไดอิเล็กตริกพัดพาออกมา จึงช่วยกระบวนการให้ดำเนินไปได้ปกติมีประสิทธิภาพ ถ้าการไหลเอาอนุภาคโลหะไม่ดีจะทำให้เกิดการหยุดนิ่งของสารไดอิเล็กตริกทำให้มีอนุภาคโลหะในช่องว่างและอาจจะเกิดการลัดวงจรได้ เนื่องจากสารไดอิเล็กตริกที่ใช้แล้วต้องผ่านการทำความสะอาดโดยเครื่องกรองกรองเอาอนุภาคโลหะออกจากสารไดอิเล็กตริกแล้วจึงนำกลับมาใช้งานใหม่ต่อไป

2.5.2.5 คุณสมบัติของสารไดอิเล็กตริก

1) มีความหนืดต่ำ
2) มีจุดเดือดสูง และจุดวาบไฟสูง
3) มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนสูง
4) ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายและผิวหนัง
5) ต้องไม่เกิดแก๊สที่เป็นอันตรายจากการแตกตัวหรือสลายตัวเนื่องจากความร้อน
6) ไม่กัดกร่อนชิ้นงาน
7) มีความสามารถในการระบายความร้อนได้ดี มีราคาถูกหรือประหยัด

2.5.3 อิเล็กโทรด (Electrode) ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างแบบให้กับชิ้นงานเพื่อใช้สปาร์คกัดเซาะชิ้นงาน

การขึ้นรูปโดยการตัดเจาะด้วยการปล่อยประจุไฟฟ้าด้วยวิธีการสปาร์ค จำเป็นต้องมีเครื่องมือในการขึ้นรูปเรียกอิเล็กโทรด ตามทฤษฎีแล้ววัสดุที่นำไฟฟ้าทุกชนิด สามารถนำมาใช้เป็นแท่งอิเล็กโทรด

ได้ ดังนั้นการเลือกใช้อิเล็กโทรดอย่างเหมาะสม จะเป็นผลดีกับการใช้งานของเครื่อง EDM โดยการแปรรูปอิเล็กโทรดจะมีรูปทรงเหมือนกับผลิตภัณฑ์ และชิ้นงานในการขึ้นรูป แต่จะมีรูปทรงตรงกันข้าม คือ ส่วนที่ยื่นออกมาของอิเล็กโทรด จะตรงกับส่วนที่เป็นหลุมลงไปของชิ้นงาน วัสดุที่นิยมนำมาใช่เป็นอิเล็กโทรด ได้แก่ ทองแดง-ทังสเตน ทองแดง-แกรไฟต์ แกรไฟต์ ทองเหลือง ทองแดง เงิน-ทังสเตน สังกะสีผสม วัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน จึงทำให้อิเล็กโทรดสามารถสร้างขึ้นจากวัสดุหลายชนิดตามความเหมาะสมกับวัสดุงานที่ทำการสปาร์ค [8,9]

2.5.3.1 คุณสมบัติของอิเล็กโทรดในกรรมวิธี EDM [8]

1) เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี
2) เป็นตัวนำความร้อนที่ดี
3) มีจุดหลอมละลายและจุดเดือดสูง
4) ต่อต้านการกัดเซาะจากไฟฟ้าหรือการสึกหรอต่ำ
5) มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ
6) มีความสามารถทำงานได้ดีราคาควรจะประหยัดและมีความหนาแน่นต่ำเพื่อให้มีน้ำหนักเบา

2.5.3.2 วัตถุที่ทำอิเล็กโทรด สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม

1) โลหะ เช่น ทองแดง ทองแดง ผสมทังสเตน อลูมิเนียมผสม ทองเหลืองและเหล็ก เป็นต้น
2) อโลหะ เช่น กราไฟท์เกรดต่างๆ
3) โลหะและอโลหะผสมกัน เช่น ทองแดงผสมกับกราไฟท์

2.5.3.3 การลดการสึกหรอของอิเล็กโทรดทำได้โดยการเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานการสึกหรอจากการดิสชาร์จ เช่น ซิลเวอร์ทังสเตน และทองแดงทังสเตน จะมีอัตราส่วนการสึกหรอประมาณ 10-50% โดยทั่วไปการสึกหรอของอิเล็กโทรดจะเกิดขึ้นเร็วที่บริเวณขอบและมุม การกำหนดการสึกหรอของอิเล็กโทรดสามารถ พิจารณาได้ดังนี้

1) อัตราการสึกหรอที่ปลาย (End wear ratio)
2) อัตราการสึกหรอด้านข้าง (Side wear ratio)
3) อัตราการสึกหรอที่มุม (Corner wear ratio)

2.5.3.4 การสึกหรอน้ำหนักสัมพัทธ์ (Weight relative wear) คืออัตราส่วนของน้ำหนักอิเล็กโทรดที่สึกกร่อนต่อน้ำหนักของชิ้นงานที่ถูกกัดออกมา

2.5.3.5 การสึกหรอปริมาณสัมพัทธ์ (Volume relative wear) คืออัตราส่วนของปริมาณอิเล็กโทรดที่สึกกร่อนต่อปริมาตรของชิ้นงานที่ถูกกัดออกมา

การที่เศษสปาร์คไปทับถมบนผิวของอิเล็กโทรดจะทำให้จุดดิสชาร์จขยายขึ้น ความหนาแน่นของกระแสจะลดลง การสึกหรอของอิเล็กโทรดจึงลดลงด้วย และควรปรับไดอิเล็กตริกให้ไหลโดยไม่ต้องใช้แรงบังคับ เพื่อว่าการดิสชาร์จจะช่วยส่งเสริมการทับถมของคาร์ไบด์บนผิวของอิเล็กโทรดและทำให้อุณหภูมิบนผิวอิเล็กโทรดคงที่

สรุปทองแดงและกราไฟท์ถือได้ว่าเป็นอิเล็กโทรดที่มีการสึกหรอต่ำในกรณีที่ต้องการการสึกหรอต่ำจะต้องใช้ช่วงพัลส์ยาวกระแสต่ำและอิเล็ดโทรดเป็นขั้วบวกคุณสมบัติของอิเล็กโทรดในกรรมวิธี EDM

2.5.4 ระบบเซอร์โว (Servo system) คือ ระบบควบคุมบังคับกลไกการป้อนอิเล็กโทรดโดยอาศัยสัญญาณความแตกต่างของโวลต์เทจจากช่องว่างดิสชาร์จกับโวลต์เทจอ้างอิงเป็นตัวเปรียบเทียบเพื่อทำการควบคุมกลไกการป้อนอิเล็กโทรดให้เหมาะสมกับอัตราการกัดเนื้องานโลหะ เนื่องจากช่องว่างจะมีเศษอนุภาคโลหะจากการดิสชาร์จแก๊สและทาร์ (Tar) ที่เกิดจากการแตกตัวของไดอิเล็กตริกเนื่องจากความร้อนจะทำให้การเกิดดิสชาร์จครั้งต่อไปขาดเสถียรภาพและอาจทำให้เกิดลัดวงจรการสัมผัสโดยตรงระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานจะทำให้เกิดการลัดวงจรด้วยทำให้การดิสชาร์จจะขาดหายไป ประสิทธิภาพการกัดเซาะจึงลดลง เมื่อช่องว่างมีความพอเหมาะปริมาณการกัดเนื้อโลหะจะคงที่ แต่เมื่อช่องว่างแคบลงพลังงานดิสชาร์จที่ช่องว่างก็จะลดลงทำให้ประสิทธิภาพการกัดเนื้อโลหะต่ำลง เพื่อที่จะรักษาการกัดเนื้อโลหะให้เหมาะสม จะต้องทำการควบคุมกลไกการป้อนอิเล็กโทรดให้มีระยะช่องว่างคงที่ ในขณะเดียวกันก็ป้องกันการสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานขณะที่อิเล็กโทรดและชิ้นงานจะสึกไปด้วย เนื่องจากช่องว่างนี้จะแคบมากจึงไม่สามารถรักษาให้คงที่ได้ตามอัตราส่วนของการสึกหรอ

2.5.5 โอเวอร์คัต (Overcut) จากรูปแสดงการเกิดช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานหรือโอเวอร์คัตแสดงดังรูปที่ 2.12 ในระหว่างการสปาร์คทำงานของเครื่องซึ่งจะเรียกว่า โอเวอร์คัต สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังนี้

2.5.5.1 โอเวอร์คัตด้านหน้า (Frontal Overcut)

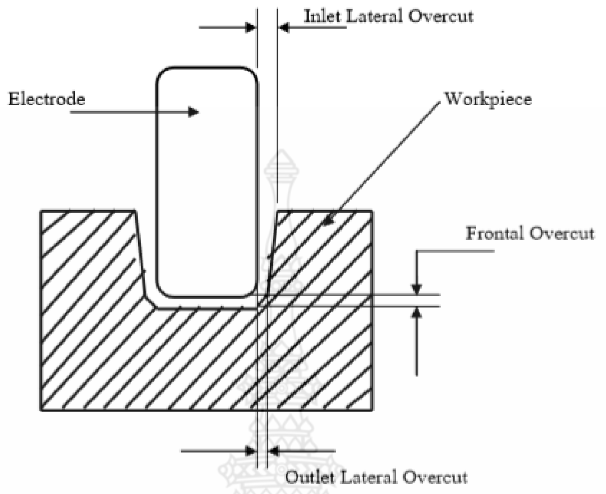
2.5.5.2 โอเวอร์คัตด้านข้าง (Lateral Overcut)

1) โอเวอร์คัตด้านเข้า (Inlet Overcut)

2) โอเวอร์คัตด้านออก (Outlet Overcut)

โอเวอร์คัตด้านหน้าและโอเวอร์คัตด้านออก จะมีขนาดความกว้างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้ คือ เริ่มจุดถ้าหากโวลต์เทจเริ่มจุดสูงค่าของโอเวอร์คัตก็จะกว้างขึ้น ความหยาบของผิวถ้าผิวงานหยาบโอเวอร์คัตก็จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของอนุภาคเศษโลหะ ถ้าหากมีอนุภาคเศษโลหะมากขึ้นโอเวอร์คัตก็จะกว้างขึ้นโอเวอร์คัตด้านเข้าจะมีขนาดความกว้างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบด้วยความลึกในการแปรรูปถ้าแปรรูปชิ้นงานลึกโอเวอร์คัตก็จะกว้างขึ้น ถ้าการไหลไม่เพียงพอก็จะส่งผล

ให้โอเวอร์คัตกว้างขึ้นและเสถียรภาพของดิสชาร์จ ถ้าการเกิดดิสชาร์จไม่เสถียรแต่ถ้าการเกิดดิสชาร์จเสถียรตลอดเวลาโอเวอร์คัตก็จะลดลง



รูปที่ 2.12 แสดงการเกิดช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานในระหว่างการสปาร์คทำงานของเครื่อง ซึ่งจะเรียกว่า โอเวอร์คัด

2.6 เหล็กกล้าเครื่องมือ [4]

สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยอธิบายว่าเหล็กกล้าเครื่องมือ คือ เหล็กกล้าที่ใช้สำหรับงานเครื่องมือขึ้นรูปโลหะเป็นส่วนใหญ่ เช่น แบบหล่อโลหะในขบวนการอัดฉีดโลหะร้อน (Die easting) แม่พิมพ์สำหรับตีขึ้นรูปหรือตัดวัสดุต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงเหล็กโลหะนอกกลุ่มเหล็ก และพลาสติก เหล็กกล้าเครื่องมือจัดเป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนและธาตุผสมอื่น ๆ ในปริมาณสูง เพื่อให้มีความสามารถในการชุบแข็งสูง และเพื่อสร้างคาร์ไบด์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการสึกหรอ

2.6.1 คุณสมบัติของเหล็กกล้าเครื่องมือ ความสามารถในการชุบแข็ง คือคุณสมบัตินี้จะขึ้นกับส่วนผสมทางเคมีและขนาดเกรนของเหล็กกล้าโดยเหล็กกล้าที่มีความสามารถในการชุบแข็งสูงจะสามารถทำการชุบแข็งได้ง่ายด้วยลม แต่เหล็กกล้าที่มีความสามารถในการชุบแข็งต่ำ การชุบแข็งด้วยลมจะไม่สามารถทำให้ได้เฟสมาร์เทนไซต์จึงอาจต้องทำการชุบแข็งด้วยน้ำหรือของเหลวอื่น ซึ่งมีผลต่อการบิดตัวของชิ้นงานที่ทำการชุบ คุณสมบัตินี้เพิ่มขึ้นตามปริมาณธาตุผสม ดังนั้นการทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงสูงตลอดชิ้น หรือสามารถชุบแข็งได้ลึก จึงควรใช้เหล็กกล้าที่มีธาตุผสมสูงโดยโคบอลต์เป็นเพียงธาตุเดียวที่ลดคุณสมบัตินี้

2.6.2 เหล็กที่ใช้ผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก [4]

2.6.2.1 NAK55เป็นเหล็ก Pre-Hardened Mold Steels ที่มีคุณสมบัติ (Machinability) สามารถทำการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า (Weld ability) ได้ดี เหล็ก NAK ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทน เหล็กเกรด P20 สำหรับสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเหล็ก NAK55 เป็นเหล็กแม่พิมพ์ที่มีคุณสมบัติในการขัดเงา (Mirror Finish) ได้เช่นการสร้างเลนส์แว่นตาและสามารถทำการเชื่อมผิวโลหะที่เกิดความผิดพลาดจากการแปรรูปได้ดีกว่าเหล็กเกรด P20

2.6.2.2 P20 และ P21 นิยมใช้สำหรับสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกกันมานานเป็นเหล็กเกรด Low Carbon Mold Steel ซึ่งมีคุณลักษณะที่เป็นการผสมผสานของความแข็งความสามารถในการกลึง กัด และความเหนียวแต่คุณสมบัติของมันไม่คงที่สม่ำเสมอทั่วทั้งก้อน และเป็นเหล็กแม่พิมพ์ที่ยุ่งยากในการเชื่อมโลหะเพื่อแก้ไขข้อบกพร่อง

2.6.2.3 NAK80 ใช้สำหรับผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีความทนทานสูง มีราคาต้นทุนต่อหน่วยสูง มีคุณสมบัติที่สามารถขัดผิวให้เงาแบบกระจกได้ดี เมื่อได้รับความร้อนสูงเกรน ของโลหะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

2.6.2.4 NAK55 และ NAK80 ถูกนำมาใช้สร้างแม่พิมพ์ในประเทศญี่ปุ่นมากกว่า 90% ที่ต้องผ่านวิธีการอบผิวแข็ง และเป็นวัสดุแม่พิมพ์ทีกลายเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความนิยมสำหรับผู้ผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในประเทศญี่ปุ่น และทั่วโลก

2.6.3 คุณลักษณะทั่วไปจัดเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มงานแม่พิมพ์พลาสติกจำหน่ายในสภาพผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวมีความแข็งอยู่ในช่วง 280-325 HB (29-34 HRC) จึงมีความแข็งแรงสูง และไม่มีปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานภายหลังจากการชุบแข็งเหมาะสำหรับใช้ทำแม่พิมพ์พลาสติกที่มีความหนาไม่เกิน 400 mm มีความสามารถในการขัดเงาดีมากเหมาะกับงานแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้อง การให้มีผิวมันเงา หรือต้องการทำลวดลายที่ผิว

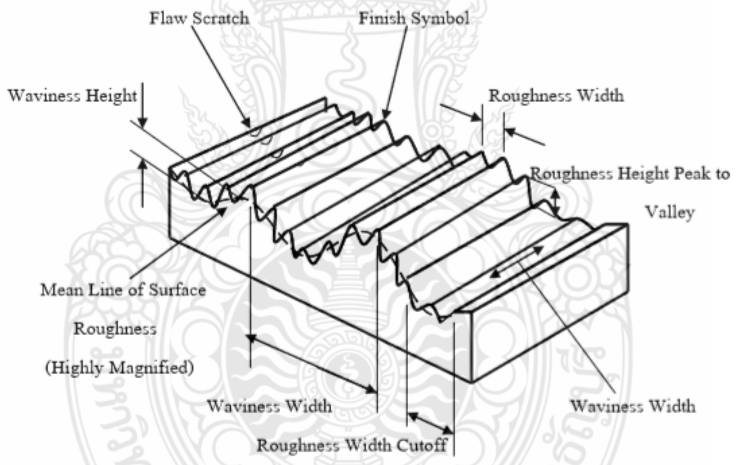
2.6.4 การใช้งาน NAK80 จะมีความแข็งแรงประมาณ 1,000 N/mm2 จึงเหมาะที่จะใช้ในงานแม่พิมพ์พลาสติกและชิ้นส่วนเครื่องมือในงานขึ้นรูปโลหะตัวอย่างของการใช้งาน ได้แก่ ทำแม่พิมพ์ฉีด หรือ เป่าพลาสติกโดยเฉพาะ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกประเภทที่ไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อนแม่พิมพ์ทำไกรอบแม่พิมพ์ (Mold frames) สำหรับแม่พิมพ์พลาสติก และแม่พิมพ์ไดคาสติ้งปริมาณการผลิตน้อย ปลอก สวม (Sleeves) และเบ้าสวมดายส์ (Die holder) สำหรับงานอัดขึ้นรูปโลหะ (Extrusion)

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80 [12]

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.4	0.4	1.5	1.9	0.2

2.7 ทฤษฎีพื้นผิว [10]

2.7.1 พื้นผิว (Surface) เป็นส่วนของชิ้นงานที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก มีกระบวนการต่าง ๆ หลายกระบวนการที่ใช้ในการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงพื้นผิวให้เหมาะสมกับการใช้งาน ในส่วนนี้จะกล่าวถึงพื้นผิวสองประเภทด้วยกันคือ พื้นผิวระบุ (Nominal Surfaces) หมายถึง พื้นผิวที่ต้องการให้เกิดขึ้นกับชิ้นงานและพื้นผิวลักษณะนี้ถูกกำหนดโดยเส้นต่าง ๆ ที่อยู่ในแบบเป็นพื้นผิวในอุดมคติพื้นผิวจริง (Actual Surfaces) หมายถึง พื้นผิวที่เกิดขึ้นจริงกับชิ้นงานเนื่องจากกรรมวิธีการผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนออกมาดังนั้นพื้นผิวจะมีลักษณะที่ปรากฏและมักจะเบี่ยงเบนไปจากพื้นผิวระบุในทาง วิศวกรรมพื้นผิวมีความสำคัญหลายประการ เช่น มีความเกี่ยวข้องกับความเสียดทานและการสึกหรอมี อิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพ เช่น รอยร้าว (Crack) มีอิทธิผลต่อการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น กรณีของการประสานด้วยการบัดกรีหรือด้วยการยึดติดและมีอิทธิพลต่อความต้านทานทาง ไฟฟ้าที่หน้าสัมผัสระหว่างชิ้นงาน นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อความพอใจของลูกค้าในการเลือกซื้อ ผลิตภัณฑ์ลักษณะของพื้นผิว เมื่อพิจารณาลักษณะของพื้นผิวของชิ้นงานต่าง ๆ จะพบว่าประกอบไป ด้วยความไม่ปกติและความบกพร่องต่าง ๆ ลักษณะของพื้นผิว แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของพื้นผิวภายนอก [11]

2.7.2 แสดงรูปจำลองที่เป็นรูปขยายทางด้านข้างของชิ้นงานโลหะ เนื้อโลหะส่วนใหญ่ของชิ้นงานเป็นเนื้อเดิม (Substrate) ของชิ้นงานโลหะนี้ก่อนที่จะผ่านกระบวนการผลิตอย่างใดอย่างหนึ่ง ส่วนที่สองเป็นเนื้อโละที่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากได้รับผลกระทบจากกระบวนการผลิตเป็นชั้นที่ได้รับผลกระทบจากพลังงานรูปแบบต่าง ๆ แล้วทำให้โครงสร้างจุลภาคในชั้นนี้เปลี่ยนแปลงไปจากเนื้อเดิมและส่วนสุดท้าย คือ พื้นผิวภายนอก (Surface Texture) ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกระบวนการผลิต

โดยตรงและเป็นส่วนที่มีการเบี่ยงเบนไปจากพื้นผิวระบุของชิ้นงานพื้นผิวภายนอกประกอบไปด้วย ลักษณะ 4 อย่างดังต่อไปนี้

2.7.2.1 ความหยาบเป็นส่วนเบี่ยงเบนจากพื้นผิวระบุมีขนาดเล็กละเอียดวางตัวเป็นระยะห่างระหว่างกันค่อนข้างน้อยและถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานรวมทั้งกระบวนการต่าง ๆ ที่มากระทำกับพื้นผิวนั้น ๆ

2.7.2.2 ความเป็นคลื่น เป็นส่วนเบี่ยงเบนจากพื้นผิวระบุเช่นเดียวกัน แต่มีขนาดใหญ่และหยาบกว่าความหยาบ ซึ่งเป็นคลื่นเกิดขึ้นเนื่องมาจากการแอ่นของชิ้นงานการสั่นสะเทือนหรือกระ บวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ความหยาบจะวางตัวอยู่บนความเป็นคลื่นของชิ้นงาน

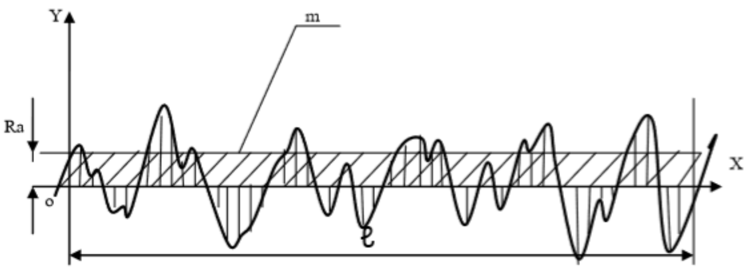
2.7.2.3 รูปแบบผิว เป็นลักษณะของทิศทางหรือรูปแบบที่ปรากฏบนผิวของชิ้นงานรูปแบบผิวจะถูกกำหนดโดยกระบวนการผลิตที่มากระทำบนพื้นผิวของวัสดุ โดยปกติแล้วจะมาจากการกระทำของเครื่องมือตัด (Cutting Tool)

2.7.2.4 รอยตำหนิ หมายถึง ความบกพร่องที่เกิดขึ้นบนผิวของชิ้นงาน เช่น รอยร้าว (Crack) สาร ฝังใน (Inclusions) รอยขีดข่วน หรือ ความบกพร่องอื่น ๆ ในลักษณะที่คล้ายกันนอกจากนี้แล้วบนพื้นผิวภายนอกของโลหะโดยส่วนใหญ่จะมีชั้นออกไซด์ปกคลุมอยู่ ซึ่งชั้นออกไซด์นี้เกิดขึ้นมาจากการกระ ทำปฏิกิริยากันระหว่างเนื้อโลหะกับออกซิเจนในอากาศ เช่นชิ้นงานอลูมิเนียมก็จะมีชั้นอลูมิเนียมออกไซด์ปกคลุมอยู่เป็นต้น และบนผิวภายนอกอาจจะมีสสารอื่น ๆ ปกคลุมอยู่ได้อีกเช่นกัน เช่น คราบน้ำมัน ความชื้นหรือสารปนเปื้อนต่าง ๆ

2.7.3 ความหยาบผิว คือ การวัดความเรียบของผิวชิ้นงาน [11] ซึ่งถูกกำหนดด้วยความเบี่ยงเบนด้านบนของพื้นผิวเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่สมบรูณ์ ถ้าค่าความเบี่ยงเบนนี้มีมากแสดงว่าผิวชิ้นงานจะมีความขรุขระถ้ามีความเบี่ยงเบนน้อยแสดงว่าชิ้นงานมีความเรียบวัสดุที่มีความขรุขระแสดงว่าความถี่สูงมีความยาวคลื่นสั้นวัสดุที่มีความขรุขระต่างกันจะมีปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อมต่างกัน วัสดุที่มีพื้นผิว หยาบมักจะรับแรงเสียดทานมากและสึกหรอเร็วมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงกว่าพื้นผิวเรียบความหยาบผิวมักส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยที่ความไม่เรียบนั้นจะทำให้เกิดการฟอร์มตัวของการแตก

2.7.3.1 ความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต (Ra)

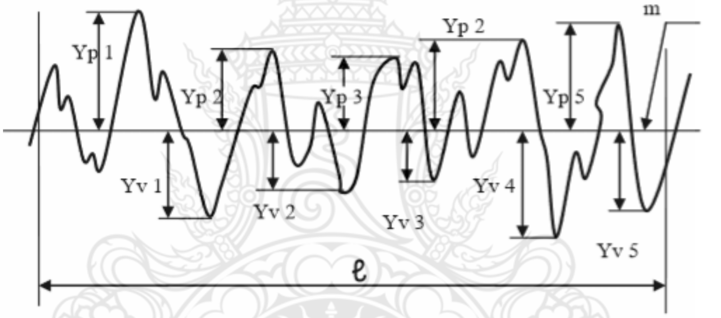
ค่าเฉลี่ยสามารถวัดจากกราฟความหยาบผิวที่อยู่บนเส้นอ้างอิงระยะค่าเฉลี่ยนี้จะอยู่บนกราฟตามแนวแกน x ของเส้นอ้างอิงและแนวแกน y จะเป็นขนาดความหยาบผิวค่า Ra แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต (Ra) [12]

2.7.3.2 ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสิบจุด (Rz)

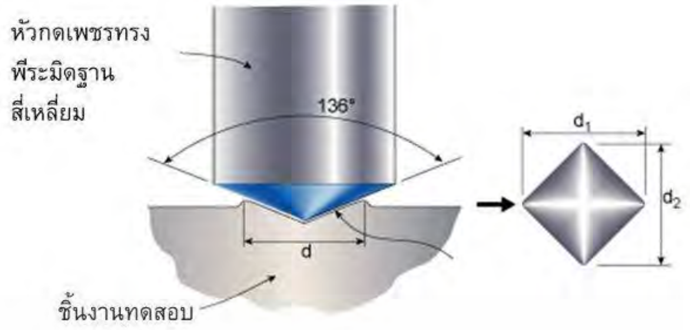
ค่าเฉลี่ยนี้วัดจากกราฟความหยาบผิวที่อยู่บนเส้นอ้างอิง โดยคำนวณจากความสูงของยอดกราฟ 5 จุดบนและจุดล่างมารวมกันมีหน่วยเป็นไมครอน (μm) แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสิบจุด (Rz) [11]

2.8 การทดสอบความแข็งของชิ้นงาน [17]

2.8.1 การทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test) เป็นการวัดค่าความแข็งที่ใช้หัวกดเพชรทรงพีรามิดมุม 136 c° ฐาน สี่เหลี่ยมจัตุรัส กดลงบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยแรงกด F ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 - 120 kgf โดยกดลงตั้งฉากกับผิวชิ้นงาน การเคลื่อนที่ของหัวกดที่กดลงบนชิ้นงานจะใช้เวลา 15 S แต่จะคงค่าแรงกดไว้อีกระยะหนึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุ เช่น เหล็กกล้าจะคงแรงกดไว้ประมาณ 10 S ในขณะที่วัสดุอ่อนจะคงแรงกดไว้นานกว่า เมื่อหัวกดถูกยกขึ้นรอยกดที่เกิดขึ้นจะถูกวัดขนาดโดยการวัดเส้นทแยงมุม d1 และ d2 ด้วย ความละเอียดการวัด 0.002 mm ดังรูป ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุม (d) จะถูกนำไปคำนวณค่าความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test) [17]

ความแข็งวิกเกอร์ = แรงกด/พื้นที่ผิวรอยกด

$$= \frac{0.102\mathrm{F} \text{ x } 2\cos 22°}{\mathrm{d}^2} \tag{2.1}$$

$$= \frac{0.189\mathrm{F}}{\mathrm{d}^2} \tag{2.2}$$

เช่นเดียวกับการวัดความแข็งแบบบริเนลล์ ค่าความแข็งจะถูกคำนวณไว้แล้วที่ความยาวรอยกดและแรงกดขนาดต่าง ๆ ในรูปของตารางหรืออาจมีการแสดงค่าความแข็งด้วยระบบอัตโนมัติเป็นตัวเลขจากเครื่องทดสอบโดยตรง หน่วยความแข็งคือ HV หรือ VHN

2.8.2 ข้อดี หัวกดมีขนาดเล็กและแรงที่ใช้กดต่ำรอยกดจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าเกรนของโลหะจึงสามารถวัดความแข็งได้ถึงระดับโครงสร้างจุลภาคเหมาะกับงานทดสอบที่ต้องการความละเอียดของค่าความแข็งสูงสามารถทดสอบได้ทั้งวัสดุอ่อนและวัสดุแข็ง

2.8.3 ข้อเสีย ต้องเตรียมผิวชิ้นงานให้เรียบและสะอาดมากในระดับที่สามารถส่องดูผิวเรียบภายใต้กำลังขยาย 40x ได้ต้องไม่มีคราบน้ำมัน รอยขีดข่วนหรือฟิล์มออกไซด์อยู่บนผิวชิ้นงานทดสอบ

2.8.4 ข้อจำกัด

2.8.4.1 ความหนาของชิ้นงานทดสอบไม่ควรน้อยกว่า 1.2 เท่าของเส้นทแยงมุมรอยกด

2.8.4.2 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางรอยกดกับขอบชิ้นงานทดสอบหรือขอบของรอยกดควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 3 เท่าของความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S.H.Lee และ X.P.Li [13] ได้เสนอแนวคิดว่าการแปรรูป ทั้งสเตนคาร์ไบด์ ด้วย EDM จะทำให้ มีค่าความแข็งมากขึ้น โดยมีสมมติฐานว่า การแปรรูปชิ้นงานโลหะด้วยเครื่อง EDM จะเกิดกระบวนการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติที่พื้นผิวของชิ้นงาน ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งอิเล็กโทรด คือ ทองแดง-ทังสเตน ผลที่ได้รับคือ การแปรรูปด้วยเครื่อง EDM ไม่ทำให้ความแข็งของทั้งสเตนคาร์ไบค์เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด รวมทั้งยังมีรอยแตกร้าวขนาดเล็ก เกิดขึ้นบริเวณผิวที่ทำการสปาร์คด้วย อย่างไรก็ตามรอยแตกนี้จะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับสภาพเงื่อนไขต่าง ๆ ของ EDM

สิทธิชัย แก้วเกื้อกูล และคณะ [14] ได้ศึกษาปัจจัยการตัดเจาะโลหะที่มีผลต่อการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรดต่อการตัดเจาะด้วยไฟฟ้าของโลหะ AISI 01 การวิจัย เป็นการวิจัยเชิงทดลองแบบ Factorial Design ที่มีปัจจัยในการศึกษา ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าระยะห่างและเวลาดิสชาร์จซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วยปัจจัยละ 3 ระดับ ผลการทดลองพบว่าปัจจัยการร่วมระหว่างแรงดันไฟฟ้าระยะห่างและเวลาดิสชาร์จ ส่งผลต่ออัตราการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรดสูงสุด คือ แรงดันไฟฟ้ากับเวลาดิสชาร์จ พบว่า เวลาดิสชาร์จที่ 300 μs แรงดันไฟฟ้าที่ 30 V จะส่งผลต่ออัคราการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรดมากที่สุดที่ระดับโดยเฉลี่ย 0.05405 g

สุชาติ มั่นหมาย และ อนวัช เครือจันทร์ [15] ทำการศึกษาการแปรรูปด้วย EDM โดยใช้อิเล็กโทรดแกรไฟต์เกรด HK-1 ทำการหาเงื่อนไขหรือสภาพการสปาร์คที่ดีที่สุด เพื่อศึกษาหาอัตราการแปรรูปชิ้นงานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรค จากตัวแปรกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาการปล่อยกระแสไฟฟ้าและความลึกในการขึ้นรูป สรุปได้ว่า ระยะเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า จะมีอิทธิพลมากกว่ากระแสไฟฟ้า

R.A.Mahdavinejad และ A.Mahdavinejad [16] ทำการศึกษาการแปรรูปวัสดุด้วย EDM สำหรับทังสเตนคาร์ไบด์ ใช้ทองแดงเป็นวัสดุอิเล็กโทรค โดยศึกษาผลกระทบจากชิ้นงานทดสอบด้วยทังสเตนคาร์ไบด์ 4 เกรด ที่มีผลต่อการแปรรูป, อัตราการแปรรูปชิ้นงาน และอัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโทรด อาศัยเทคนิคทางสถิติเพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของผลกระทบจากปัจจัยหลัก แล้วนำไปกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแปรรูป ของเครื่อง EDM ผลการทดลองพบว่าอัตราการแปรรูปค่ามากเป็นผลมาจากส่วนผสมทั้งสเตนและปริมาณโคบอลค์ค่ามาก เพราะปัจจัยสำคัญอัตราการขจัดเนื้อเป็นจากการหลอมละลายของสารจับยึดคือ โคบอลต์

กรรณชัย [18] ได้ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการตัดด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรดหมุนโดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์โดยศึกษาตัวแปรการตัดคือระยะเวลาในการสปาร์คของอิเล็กโทรดกับชิ้นงานกระแสสูงสุดในการสปาร์คของอิเล็กโทรดกับชิ้นงานและความเร็วรอบในการหมุนของ

อิเล็กโทรดสำหรับลักษณะเฉพาะของการตัดที่พิจารณาเป็นผลตอบสนองในการศึกษานี้คืออัตราการตัดเนื้อวัสดุและความหยาบผิวของชิ้นงานโดยเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษานี้คือช่วงเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า (ON) เท่ากับ 350 µsec กระแสไฟฟ้าสูงสุดใน การสปาร์ค (IP) เท่ากับ 20 A และความเร็วในการหมุนอิเล็กโทรด (SP) เท่ากับ 15 rpm ซึ่งทำให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น 101% และให้ความหยาบผิวของชิ้นงานลดลง 18. 2%

อภิวัฒน์ [29] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการกัดโลหะด้วย EDM โดยการใช้อิเล็กโทรดชนิดทองแดง ทองเหลือง และกราไฟต์ โดยมีตัวแปรที่สนใจ คือ ขั้วของอิเล็กโทรด ค่ากระแสไฟฟ้า เวลาเปิดกระแสไฟฟ้า และค่าปัจจัยประสิทธิภาพ ปัจจัยเหล่านี้เป็นตัวกำหนดอัตราการตัดเนื้อวัสดุ อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด และคุณภาพของผิวชิ้นงาน ผลการทดลองพบว่าค่าปัจจัยที่ให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุมากที่สุดขึ้นอยู่กับชนิดของอิเล็กโทรดประสิทธิภาพการตัดจะดีเมื่ออิเล็กโทรดทองแดงเป็นขั้ว (+) ส่วนอิเล็กโทรดทองเหลือง และกราไฟต์จะให้ประสิทธิภาพดีกว่าเลือกเป็นขั้ว (-) อิเล็กโทรดทองเหลืองให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุสูงที่สุดถึง 300 mm/min ที่ค่าปัจจัยประสิทธิภาพเท่ากับ 94% ตามด้วยกราไฟต์ที่ค่าปัจจัยประสิทธิภาพเท่ากับ 6% และทองแดงที่ค่าปัจจัยประสิทธิภาพเท่ากับ

กมลพงค์ และ พิชัย [20] ได้ศึกษาพารามิเตอร์พื้นฐานที่มีผลต่อการ EDM เหล็กกล้าคาร์บอนผสม AISI P20 เป็นการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ เวลาเปิด – เวลาปิด กระแสไฟฟ้า และเวลางาน อัตราการตัดเนื้อวัสดุ และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด จากการทดลองพบว่าพารามิเตอร์เวลาเปิดให้อัตราตัดเนื้อวัสดุสูงสุดที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 76% มีค่า 0. 04 mm^3/min และมีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 6. 97 µm ในทางกลับกันพารามิเตอร์เวลาปิดต่ำอัตราการตัดเนื้อวัสดุสูงโดยที่ปัจจัยประสิทธิภาพ 94% ให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุ 5. 83 mm^3/min ถ้ากระแสเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุอัตราการสึกหรอ และความหยาบผิวเพิ่มสูงขึ้นพารามิเตอร์เวลางานเป็นพารามิเตอร์เสริมที่ทำให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุสูงขึ้นโดยที่เวลางาน 4 s ปัจจัยประสิทธิภาพ 94% ให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุสูงถึง 12.33 mm^3/min และมีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดและคุณภาพผิวน้อยมาก

นิวัฒน์ และ ปิยะวรรณ [21] ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการตัดด้วยวิธี EDM ที่มีผลต่อลักษณะเฉพาะของการตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 จากการตัวแปรที่พิจารณาคือระยะเวลาในการสปาร์คของอิเล็กโทรดกับชิ้นงานกระแสไฟฟ้าสูงสุดในการของอิเล็กโทรดกับชิ้นงานและปริมาณผงกราไฟต์ที่เติมในของเหลวไดอิเล็กทริกสำหรับลักษณะเฉพาะของการตัดที่พิจารณา ได้แก่ อัตราการตัดเนื้อวัสดุอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดและความเรียบผิว ในการศึกษาทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป 20 ทดลองซ้ำ 3 ครั้งและใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อเลือกตัวแปรที่มีต่อลักษณะเฉพาะของการตัดมาแสดงอยู่ในรูปแบบการถดถอยเชิงเส้นซึ่งสมการที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสำหรับ MRR, EWR และ Ra เท่ากับ 3. 43, 6. 05 และ 3. 64% ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาวิจัยปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อสมบัติวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก เพื่อศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิว Surface Roughness : Ra อัตราการตัดเนื้อชิ้นงาน Material Removal Rate : MRR และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด Electrode Wear Rate : EWR ด้วยวิธีอีดีเอ็ม สำหรับใช้ในงานที่มีความแข็งมาก ๆ ที่ไม่สามารถทำการกลึง การกัด และการเจาะได้ เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยเป็นไปด้วยความถูกต้อง และบรรลุตามวัตถุประสงค์มากที่สุด ผู้ทำวิจัยจึงได้วางแผนกำหนดขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย โดยมีลำดับดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องเลื่อยใช้ในการตัดชิ้นงานทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 เครื่องเลื่อยสายพาน

3.1.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP 2245 สำหรับชั่งน้ำหนังชิ้นงานก่อนทดลองการและหลังการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับชั่งน้ำหนักก่อนทดลองและหลังทดลอง

3.1.3 เครื่อง EDM ยี่ห้อ CHMER EDM รุ่น CMA 64 C ซึ่งมีโต๊ะงานขนาด 800 x 500 มิลลิเมตร สามารถจับยึดงานอิเล็กโทรดได้สูงสุด 100 กรัม และรับน้ำหนักของชิ้นงานได้สูงสุด 1,500 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 เครื่อง EDM ยี่ห้อ CHMER EDM รุ่น CMA 64 C

3.1.4 เครื่องตัด ยี่ห้อ LABOTOM ใช้ในการเตรียมอิเล็กโทรดในการสปาร์คและตัดชิ้นงานหลังการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องตัดใช้ตัดชิ้นงานทดสอบ

3.1.5 เครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Machine) ยี่ห้อ Mitotoyo รุ่น SJ 301 ใช้ในการวัดความหยาบผิวของชิ้นงานทดลอง เหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80 โดยในการวัดค่าความหยาบผิวจะใช้ค่าคัตออฟ 2.5mm และค่าความยาวสุ่มที่ 2.5 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.5

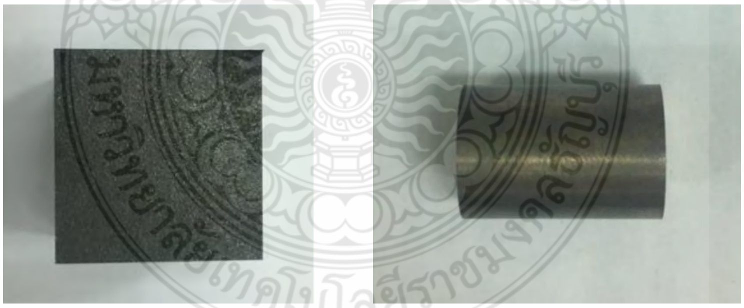
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความหยาบผิวใช้ในการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน

3.1.6 เครื่อง Hardness testing ยี่ห้อ Tukon 1102 มีความถี่ 50/60 Hz แรงดันไฟฟ้า 110-220 โวลต์ ช่วงการวัด 200 ไมโครเมตร ถึง 10x กำลังขยายภาพทั้งหมด 100x ถึง 500x ใช้ในการทดสอบ Hardness เพื่อดูความแข็งของผิวชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความแข็งของชิ้นงาน

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุสำหรับวัสดุที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรในการกัดเซาะด้วยกระบวนการ EDM ที่มีผลต่อความหยาบผิว อัตราการขจัดเนื้องาน และการสึกหรอของอิเล็กโทรด ในงานวิจัยฉบับนี้ คือ เหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80 ขนาด 25x25x25 มิลลิเมตร และอิเล็กโทรดใช้ทองแดงผสม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ความยาว 20 มิลลิเมตร ซึ่งในการสปาร์คชิ้นงานระหว่างวัสดุทั้งสองนี้เป็นวัสดุที่มีการใช้มากในงานแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เพื่อนำไปสปาร์คอีดีเอ็ม



ก. ข.

รูปที่ 3.7 (ก.) ชิ้นงานเหล็ก NAK80 (ข.) ทองแดงผสม

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80

เหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80					
Al	Si	Mn	Fe	Ni	Cu
2.80	1.41	1.19	83.55	9.41	1.63

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของอิเล็กโทรดทองแดงผสม

ทองแดงผสม	
Cu	W
14.30	85.70

3.3 หลักการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองที่ใช้เครื่อง EDM เป็นเครื่องในการทดสอบนั้น จะต้องเป็นไปตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้วางแผนไว้แล้วจากการกำหนดค่าความหยาบผิว อัตราการตัดเนื้อชิ้นงาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดลองจะนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความสามารถในการตัดเจาะด้วยไฟฟ้าที่ตัวแปรต่างชนิดกัน โดยในการทดลองนี้มีปัจจัยภายในที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ เวลาเปิด (On-time) กระแสไฟฟ้า (Discharge Current) และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (Gap) โดยแต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ

3.3.1 ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้

ในการออกแบบการทดลองจึงต้องหาปัจจัยที่สามารถควบคุมได้มาใช้ในการทดลองเพื่อป้องกันความผิดพลาดของผลการทดลอง โดยปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ได้แก่ เวลาเปิด (On-time) กระแสไฟฟ้า (Discharge Current) ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (Gap) ขนาดของชิ้นงานและอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2 ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้เป็นปัจจัยที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในการทดลอง เพราะเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะส่งผลต่อผลการทดลองทำให้ผลการทดลองผิดพลาดและสร้างความไม่น่าเชื่อถือให้กับรูปแบบ (Model) ของการทดลอง ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ ความผิดพลาดของเครื่องอีดีเอ็มความผิดพลาดจากผู้ทำการทดลองและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ในการทดลอง

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ควบคุมในการทดลอง [24]

ตัวแปร	ค่าที่ใช้
ขั้วอิเล็กโตรด (Polarity)	+
เวลาปิด (μs)	37
ค่าความต่างศักย์ (V)	140 1.2 A
เวลางาน W.T (S)	0.5
ระยะยก J.T (μm)	0.5
ปัจจัยประสิทธิภาพ	50%

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	ระดับ		
	1	2	3
เวลาเปิด (μs)	12	18	25
กระแสไฟฟ้า (A)	10	16	22
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (μm)	5	10	15

ตารางที่ 3.5 ออกแบบการทดลอง

ชิ้นที่	เวลาเปิด (μs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (μm)
1	12	10	5
2	12	10	10
3	12	10	15
4	12	16	5
5	12	16	10
6	12	16	15
7	12	22	5
8	12	22	10
9	12	22	15
10	18	10	5
11	18	10	10

ตารางที่ 3.5 ออกแบบการทดลอง (ต่อ)

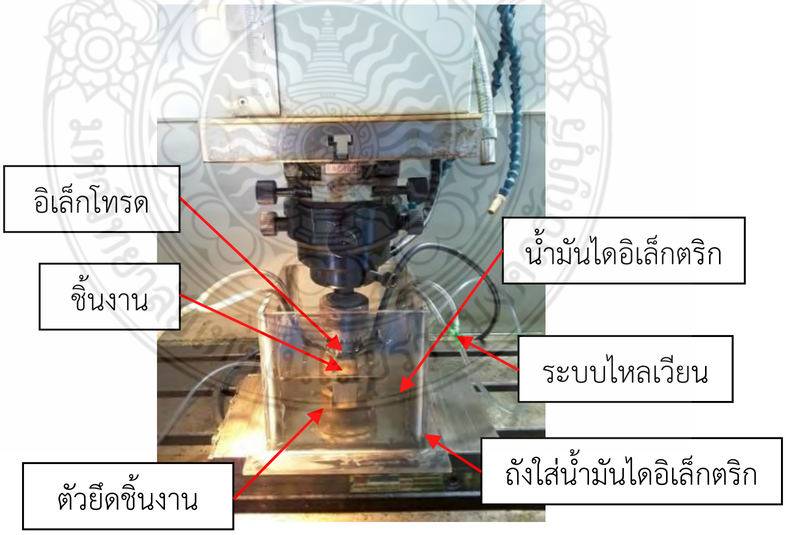
ชิ้นที่	เวลาเปิด (μs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (μm)
12	18	10	15
13	18	16	5
14	18	16	10
15	18	16	15
16	18	22	5
17	18	22	10
18	18	22	15
19	25	10	5
20	25	10	10
21	25	10	15
22	25	16	5
23	25	16	10
24	25	16	15
25	25	22	5
26	25	22	10
27	25	22	15

3.4 การดำเนินการทดลอง

3.4.1 กระบวนการอีดีเอ็มในงานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบการทดลอง ให้ชิ้นงานอยู่ด้านบนของตัวจับยึดชิ้นงานแล้วจับยึดด้วยน๊อต และอิเล็กโทรดอยู่ด้านบนจับยึดด้วยหัวจับ ซึ่งได้ประยุกต์ใช้เครื่องอีดีเอ็ม (Electrical Discharged Machine) ในการสปาร์คโดยมีขั้นตอน คือ เลื่อนหัวจับอิเล็กโทรดมาอยู่ในแนวกึ่งกลางของชิ้นงานโดยให้มีระยะความห่างของชิ้นงานและอิเล็กโทรดประมาณ 3-4 มิลลิเมตร จากนั้นทำการเซ็ทค่าแกน X,Y เพื่อหาศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบเมื่อหาศูนย์กลางได้แล้วให้ทำการเซ็ทแกน Z เพื่อให้อิเล็กโทรดสัมผัสกับชิ้นงานทดสอบ เพื่อเตรียมทำการสปาร์คชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.8

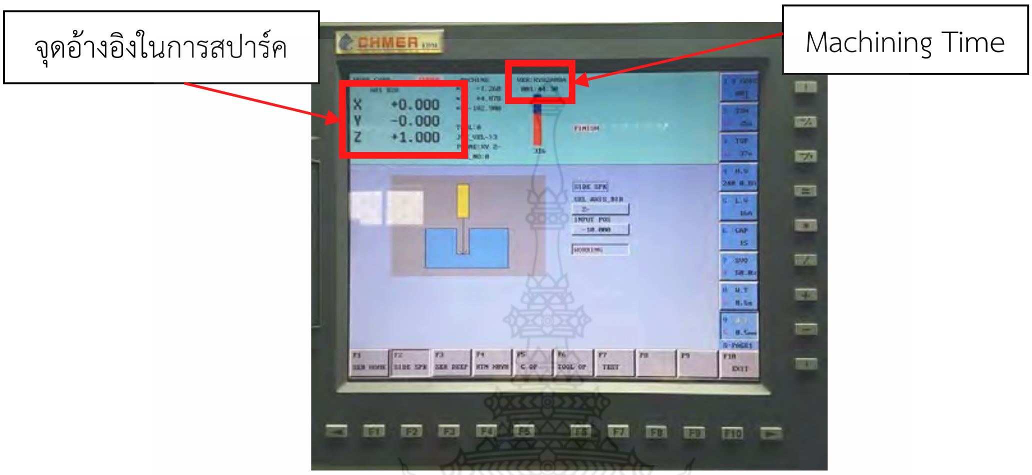
รูปที่ 3.8 การจับยึดชิ้นงานกับแท่งอิเล็กโทรดในถังน้ำมันไดอิเล็กตริก

3.4.2 ก่อนทำการสปาร์คจำเป็นต้องใส่ค่าต่างๆ ที่ตัวเครื่องอีดีเอ็ม โดยมีค่าตัวแปรคงที่และค่าที่มีการกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้ เวลาเปิด 12 18 และ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 16 และ 22 แอมป์ ระยะห่าง 5 10 และ 15 ไมโครเมตร จากนั้นเทน้ำมันไดอิเล็กตริกลงไปยังถังน้ำมันจนถึงระดับหัวจับอิเล็กโทรด ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เทน้ำมันลงไปยังถังน้ำมันไดอิเล็กตริก

3.4.3 เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการ Run โปรแกรม เริ่มทำการสปาร์คชิ้นงานโดยกำหนดความลึกที่ 10 มิลลิเมตร ต่อหนึ่งชิ้นงาน เมื่อสปาร์คเสร็จนำน้ำมันไดอิเล็กตริกออกจากถัง แล้วทำการถอดชิ้นงานและแท่งอิเล็กโทรดออก จากหัวจับ แล้วทำการจดค่าเวลาในการสปาร์คชิ้นงานเพื่อบันทึกผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.10

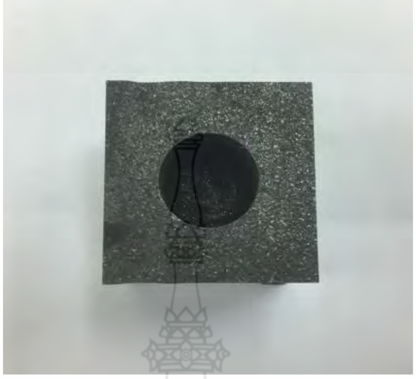


รูปที่ 3.10 แสดงหน้าจอการทำงานของเครื่อง

3.4.4 การตรวจสอบความหยาบผิว ซึ่งอยู่ในรูปแบบ Ra โดยใช้เครื่องวัดความหยาบผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ301 โดยทำการวัดซ้ำชิ้นละ 3 ตำแหน่ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.11

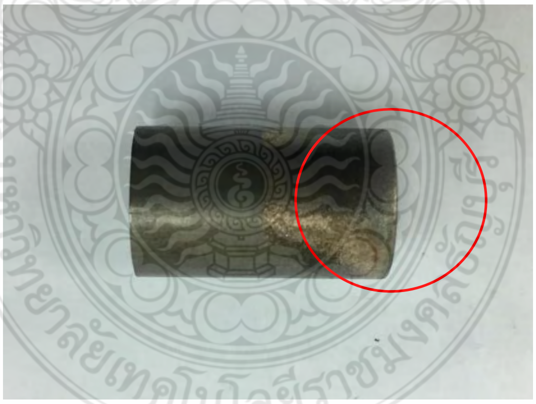
รูปที่ 3.11 ทดสอบความหยาบผิวของชิ้นงาน

3.4.5 การตรวจสอบอัตราการขจัดเนื้องาน เมื่อได้ชิ้นงานเหล็ก NAK80 ที่ผ่านการทดลอง นำมาชั่งน้ำหนักหลังการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าอัตราการขจัดเนื้องาน และบันทึกผล ดังแสดงในรูปที่ 3.12



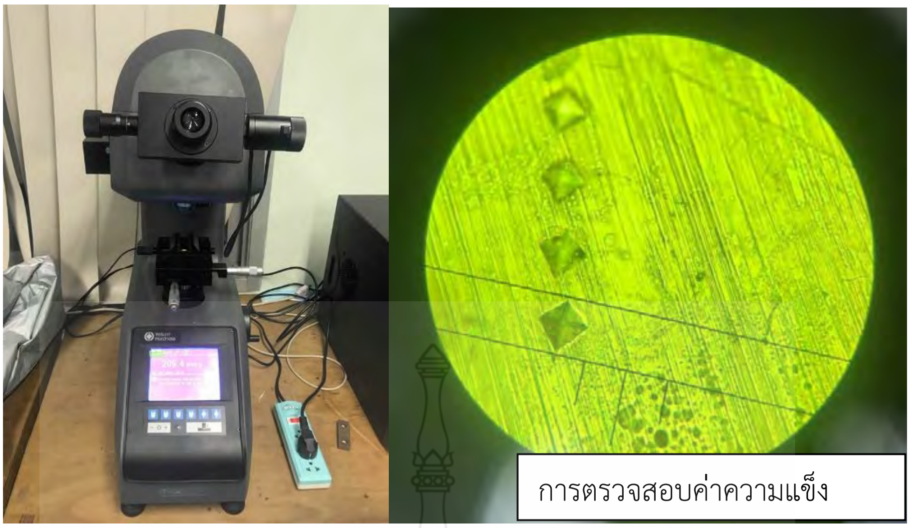
รูปที่ 3.12 แสดงรูปชิ้นงานที่ใช้ในการหาค่าอัตราการขจัดเนื้องาน

3.4.6 การตรวจสอบการสึกหรอของอิเล็กโทรดเมื่อได้อิเล็กโทรดที่ผ่านการทดลองนำมาชั่งน้ำหนักหลังการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าการสึกหรอของอิเล็กโทรดและบันทึกผล ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการสึกหรอของอิเล็ดโทรด

3.4.7 การตรวจสอบค่าความแข็ง (Hardness testing) นำชิ้นงานมาทำการทดสอบความแข็ง เพื่อดูค่าความแข็งของชิ้นงานหลังการสปาร์ค EDM ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการตรวจสอบค่าความแข็ง

3.5 ขั้นตอนหลังการทดลอง

3.5.1 บันทึกค่าความเรียบผิว (Ra) นำชิ้นงานที่ผ่านการสปาร์คมาวัดค่าความเรียบผิว 3 จุด และมาคำนวณหาค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน ดังสมการที่ 3.1

$$Ra = \frac{Ra_1+Ra_2+Ra_3}{3} \qquad 3.1$$

3.5.2 บันทึกค่าอัตราการตัดเนื้อวัสดุ (MRR) ดังสมการที่ 3.2

$$MRR = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดลอง (g)} - \text{น้ำหนักชิ้นงานหลังการทดลอง (g)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการทดลอง } (min)} \qquad 3.2$$

3.5.3 บันทึกค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ดังสมการที่ 3.3

$$EWR = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดลอง } (g)}{\text{น้ำหนักชิ้นงานหลังการทดลอง } (g)} x100 \qquad 3.3$$

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการดำเนินการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ ทำได้โดยการกำหนดปัจจัยที่จะให้ในการทดลอง จำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ เวลาเปิด (On-time) กระแสไฟฟ้า (Discharge Current) และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (Gap) ปัจจัยในการตัดเฉือนแต่ละตัวแปรแบ่งเป็น 3 ระดับ โดยทำการศึกษาค่าความหยาบผิว (Surface Roughness : Ra), อัตราการขจัดเนื้องาน (Materials Removal Rate : MRR) และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Electrode Wear Rate : EWR) ของชิ้นงานที่ตัดด้วยวิธีอีดีเอ็มชนิดตัดเจาะด้วยไฟฟ้าด้วยแท่งอิเล็กโทรด

4.1 ผลการทดลอง

ข้อมูลผลการทดลองตามแผนการทดลองที่วางไว้สามารถเก็บค่าน้ำหนักของชิ้นงานและอิเล็กโทรดโดยแสดงดังตารางที่ 4.1 และผลการวัดค่าความหยาบผิว ผลการคำนวนอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการเก็บค่าน้ำหนักก่อนและหลังการทดลองของอิเล็กโทรดและชิ้นงาน

ชิ้นที่	เวลาเปิด (ไมโครวินาที)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (µm)	น้ำหนักของอิเล็กโทรด (g)		น้ำหนักของชิ้นงาน (g)	
				ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
1	12	10	5	33.5777	32.7450	135.8812	127.0422
2	12	10	10	33.9295	32.8173	138.6223	127.1842
3	12	10	15	33.8126	33.0183	135.5519	127.7807
4	12	16	5	33.5073	32.4560	135.0330	126.1174
5	12	16	10	33.0753	32.0986	131.9244	123.1394
6	12	16	15	33.7136	32.5009	134.9811	126.2953
7	12	22	5	33.5730	32.4079	137.0112	128.3944
8	12	22	10	34.0561	32.7103	134.6012	125.5673
9	12	22	15	33.7951	32.3963	134.3929	125.8416
10	18	10	5	33.7105	33.0885	136.3406	127.0021

ตารางที่ 4.1 ผลการเก็บค่าน้ำหนักก่อนและหลังการทดลองของอิเล็กโทรดและชิ้นงาน (ต่อ)

ชิ้นที่	เวลาเปิด (μs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (μm)	น้ำหนักของอิเล็กโทรด (g)		น้ำหนักของชิ้นงาน (g)	
				ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
11	18	10	10	33.4297	32.7709	134.7989	125.5948
12	18	10	15	33.8230	33.0934	135.0366	125.9006
13	18	16	5	32.7576	32.0872	136.4391	126.8908
14	18	16	10	33.5276	32.7162	133.4363	123.7474
15	18	16	15	34.6012	33.7532	135.4887	126.4553
16	18	22	5	33.5542	32.8172	134.6794	125.4546
17	18	22	10	33.6626	32.8238	134.9938	126.4165
18	18	22	15	33.3131	32.4229	135.2788	125.9251
19	25	10	5	34.1359	33.5972	136.5852	127.3983
20	25	10	10	33.5935	33.0529	138.3083	129.0094
21	25	10	15	33.7488	33.1833	132.6328	123.6195
22	25	16	5	33.9338	33.1756	134.2247	124.8280
23	25	16	10	33.5427	32.9004	133.9650	124.6227
24	25	16	15	33.1967	32.6048	134.4812	125.0721
25	25	22	5	32.6902	31.7423	136.1798	125.9670
26	25	22	10	34.1286	33.3611	134.1480	125.2487
27	25	22	15	32.3336	31.7485	135.7621	126.7475

ตารางที่ 4.2 ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเหล็ก NAK80

ชิ้นที่	เวลาเปิด (μs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (μm)	ความหยาบผิว (μm)			ค่าเฉลี่ย
				1	2	3	
1	12	10	5	2.893	2.771	2.742	2.802
2	12	10	10	2.768	2.859	2.899	2.842
3	12	10	15	2.912	2.972	2.841	2.908
4	12	16	5	3.028	3.035	3.079	3.047

ตารางที่ 4.2 ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเหล็ก NAK80 (ต่อ)

ชิ้นที่	เวลาเปิด (μs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (μm)	ความหยาบผิว (μm)			ค่าเฉลี่ย
				1	2	3	
5	12	16	10	3.326	3.267	3.310	3.301
6	12	16	15	3.681	3.683	3.628	3.664
7	12	22	5	3.248	3.249	3.310	3.269
8	12	22	10	3.439	3.351	3.350	3.380
9	12	22	15	3.700	3.706	3.729	3.712
10	18	10	5	2.690	2.654	2.636	2.660
11	18	10	10	2.835	2.811	2.822	2.823
12	18	10	15	3.299	3.285	3.240	3.275
13	18	16	5	3.475	3.438	3.435	3.449
14	18	16	10	3.539	3.533	3.542	3.538
15	18	16	15	3.709	3.706	3.722	3.712
16	18	22	5	3.521	3.532	3.597	3.550
17	18	22	10	3.645	3.628	3.645	3.639
18	18	22	15	3.959	3.963	3.975	3.966
19	25	10	5	2.644	2.641	2.678	2.654
20	25	10	10	2.997	2.798	2.787	2.861
21	25	10	15	3.348	3.437	3.477	3.421
22	25	16	5	3.366	3.301	3.323	3.330
23	25	16	10	3.541	3.571	3.558	3.557
24	25	16	15	3.584	3.564	3.587	3.578
25	25	22	5	3.493	3.507	3.500	3.500
26	25	22	10	3.664	3.649	3.646	3.653
27	25	22	15	3.905	3.990	3.994	3.963

ตารางที่ 4.3 อัตราการขจัดเนื้อของชิ้นงานเหล็ก NAK80

ชิ้นที่	เวลาเปิด (μs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (μm)	อัตราการขจัดเนื้อ (g/min)			ค่าเฉลี่ย
				1	2	3	
1	12	10	5	0.057	0.055	0.056	0.056
2	12	10	10	0.100	0.054	0.053	0.069
3	12	10	15	0.029	0.041	0.028	0.033
4	12	16	5	0.100	0.091	0.087	0.093
5	12	16	10	0.082	0.081	0.075	0.079
6	12	16	15	0.063	0.071	0.066	0.067
7	12	22	5	0.093	0.088	0.091	0.091
8	12	22	10	0.115	0.115	0.115	0.115
9	12	22	15	0.071	0.088	0.082	0.080
10	18	10	5	0.091	0.085	0.083	0.086
11	18	10	10	0.084	0.084	0.084	0.084
12	18	10	15	0.066	0.065	0.067	0.066
13	18	16	5	0.110	0.129	0.132	0.124
14	18	16	10	0.133	0.126	0.130	0.130
15	18	16	15	0.100	0.108	0.104	0.104
16	18	22	5	0.118	0.134	0.132	0.128
17	18	22	10	0.140	0.124	0.125	0.130
18	18	22	15	0.144	0.106	0.125	0.125
19	25	10	5	0.105	0.111	0.102	0.106
20	25	10	10	0.091	0.087	0.086	0.088
21	25	10	15	0.088	0.090	0.088	0.089
22	25	16	5	0.150	0.125	0.138	0.137
23	25	16	10	0.127	0.123	0.126	0.125
24	25	16	15	0.138	0.139	0.136	0.138
25	25	22	5	0.173	0.141	0.135	0.150

ตารางที่ 4.3 อัตราการขจัดเนื้อของชิ้นงานเหล็ก NAK80 (ต่อ)

ชิ้นที่	เวลาเปิด (μs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (μm)	อัตราการขจัดเนื้อ (g/min)			ค่าเฉลี่ย
				1	2	3	
26	25	22	10	0.116	0.146	0.128	0.130
27	25	22	15	0.144	0.147	0.136	0.142

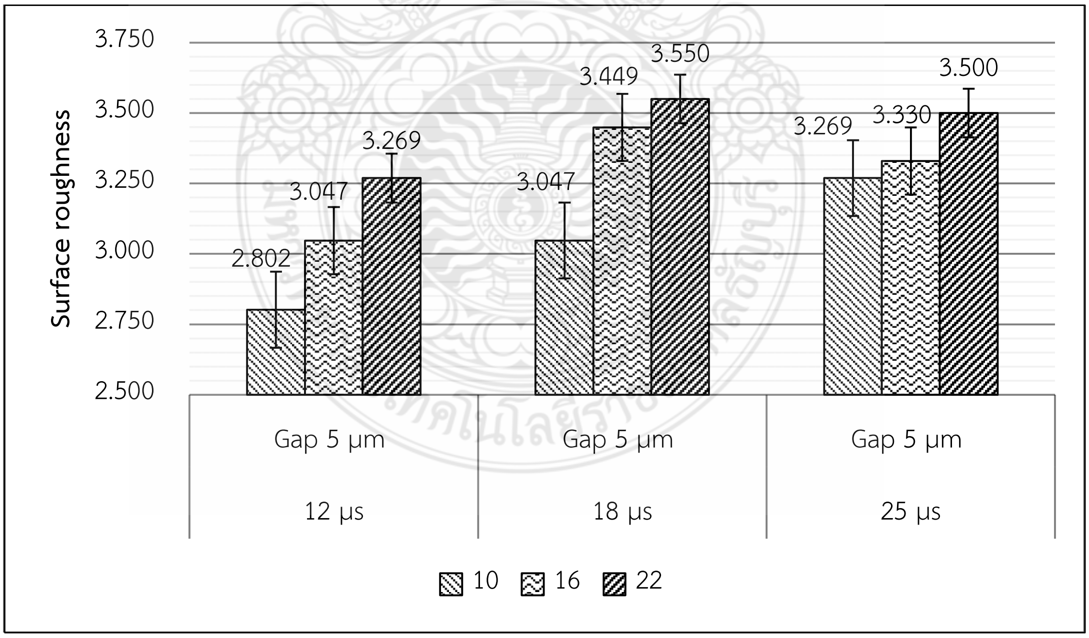
ตารางที่ 4.4 อัตราการสึกหรออิเล็กโทรดของชิ้นงานเหล็ก NAK80

ชิ้นที่	เวลาเปิด (μs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (μm)	อัตราการสึกหรออิเล็กโทรด (g/min)			ค่าเฉลี่ย
				1	2	3	
1	12	10	5	9.515	10.515	8.282	9.437
2	12	10	10	8.338	12.647	9.508	10.164
3	12	10	15	9.100	9.158	13.526	10.595
4	12	16	5	14.242	11.018	10.059	11.773
5	12	16	10	12.421	11.138	9.711	11.090
6	12	16	15	15.121	12.448	14.353	13.974
7	12	22	5	15.590	10.585	14.309	13.495
8	12	22	10	16.374	15.895	12.433	14.901
9	12	22	15	18.623	14.977	15.500	16.366
10	18	10	5	6.108	6.877	7.001	6.662
11	18	10	10	7.193	7.125	7.156	7.158
12	18	10	15	7.983	7.500	8.462	7.982
13	18	16	5	5.253	7.320	8.245	6.939
14	18	16	10	7.464	10.378	7.281	8.374
15	18	16	15	10.325	9.675	8.178	9.393
16	18	22	5	8.000	8.079	7.890	7.990
17	18	22	10	7.669	7.200	14.670	9.846
18	18	22	15	10.034	9.113	9.400	9.516
19	25	10	5	6.012	5.774	5.807	5.864

ตารางที่ 4.4 อัตราการสึกหรออิเล็กโทรดของชิ้นงานเหล็ก NAK80

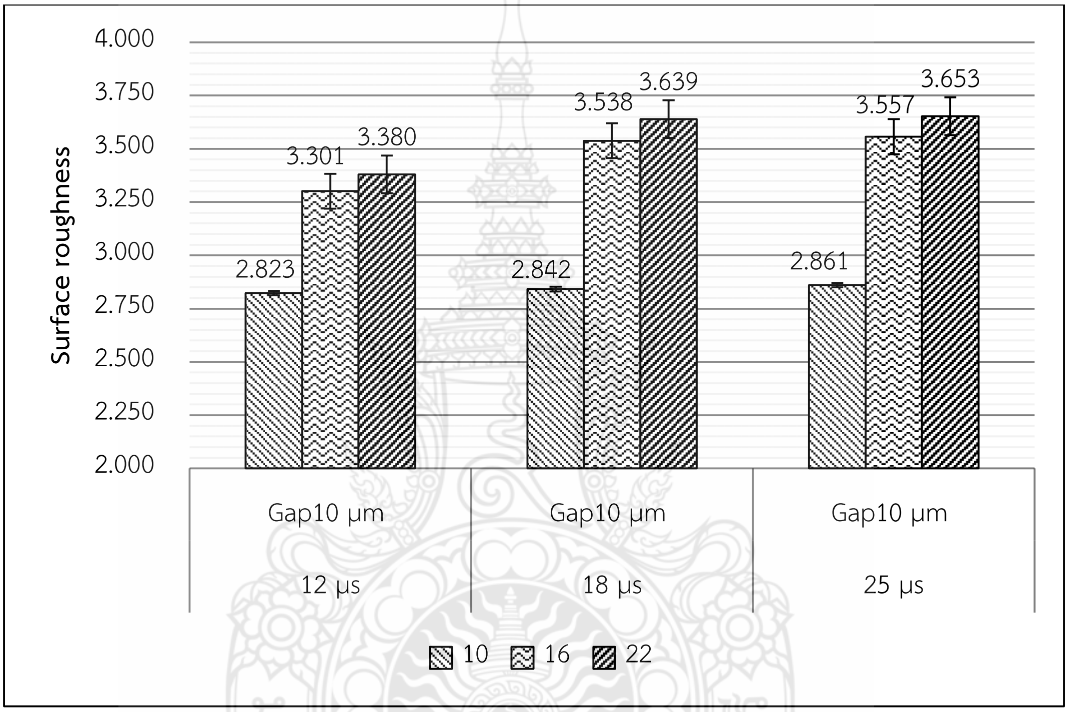
ชิ้นที่	เวลาเปิด (µs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (µm)	อัตราการสึกหรออิเล็กโทรด (g/min)			ค่าเฉลี่ย
				1	2	3	
20	25	10	10	6.118	5.557	5.758	5.811
21	25	10	15	5.984	6.488	6.364	6.279
22	25	16	5	6.837	9.675	7.773	8.095
23	25	16	10	8.802	5.635	6.142	6.859
24	25	16	15	6.098	6.142	6.633	6.291
25	25	22	5	9.488	10.443	7.894	9.275
26	25	22	10	13.236	6.045	6.600	8.627
27	25	22	15	6.873	6.807	5.776	6.485

4.1.1 ผลการทดลองหาพารามิเตอร์ เวลาเปิด กระแสไฟฟ้า ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่เหมาะสมกับความหยาบผิว



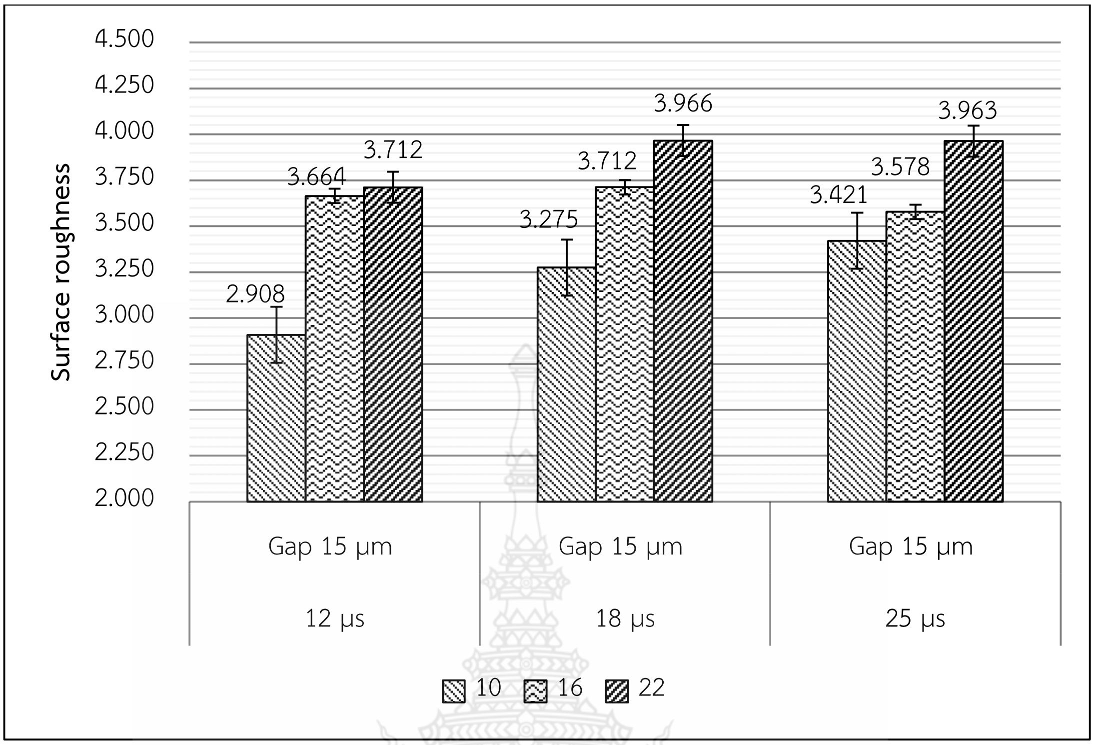
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวชิ้นงานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 5 ไมโครเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Surface roughness) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์ เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น [23] ซึ่งเวลาเปิดที่ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหยาบผิวมากขึ้นตาม [23,24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 12 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 2.802 Ra ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าเวลาเปิดและกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหยาบผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวชิ้นงานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 10 ไมโครเมตร

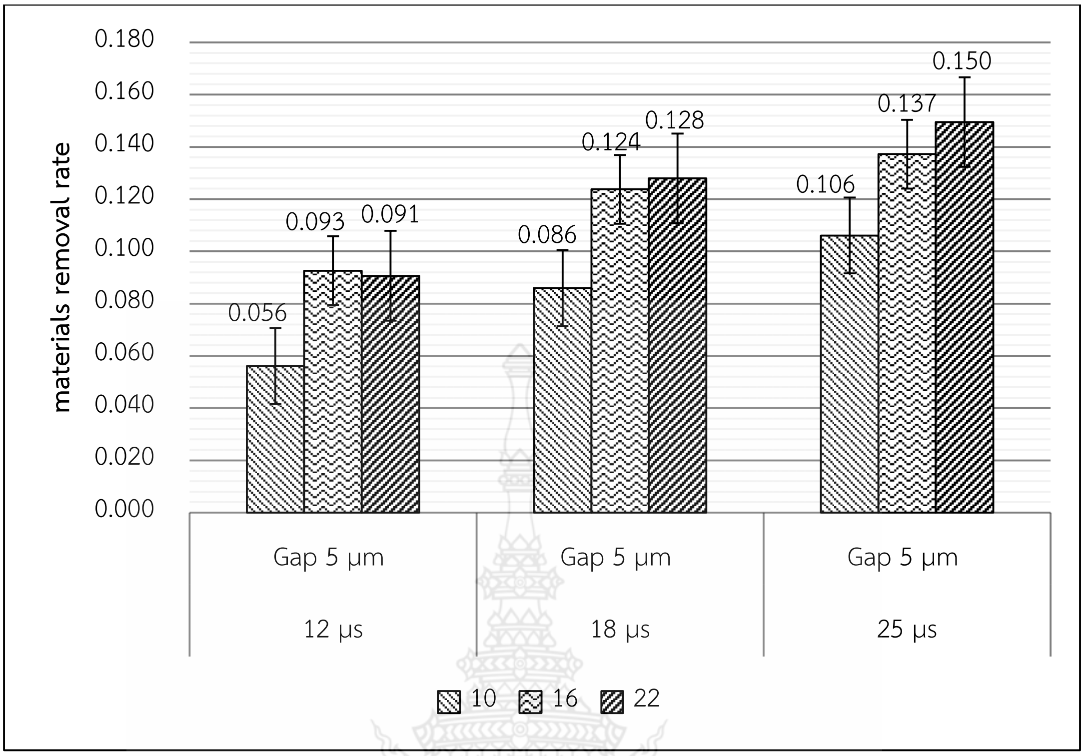
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Surface roughness) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์ เวลาเปิด เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น [23] ซึ่งเวลาเปิดที่ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 18 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหยาบผิวมากขึ้นตาม [23,24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 12 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 2.823 Ra ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าเวลาเปิดและกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหยาบผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวชิ้นงานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 15 ไมโครเมตร

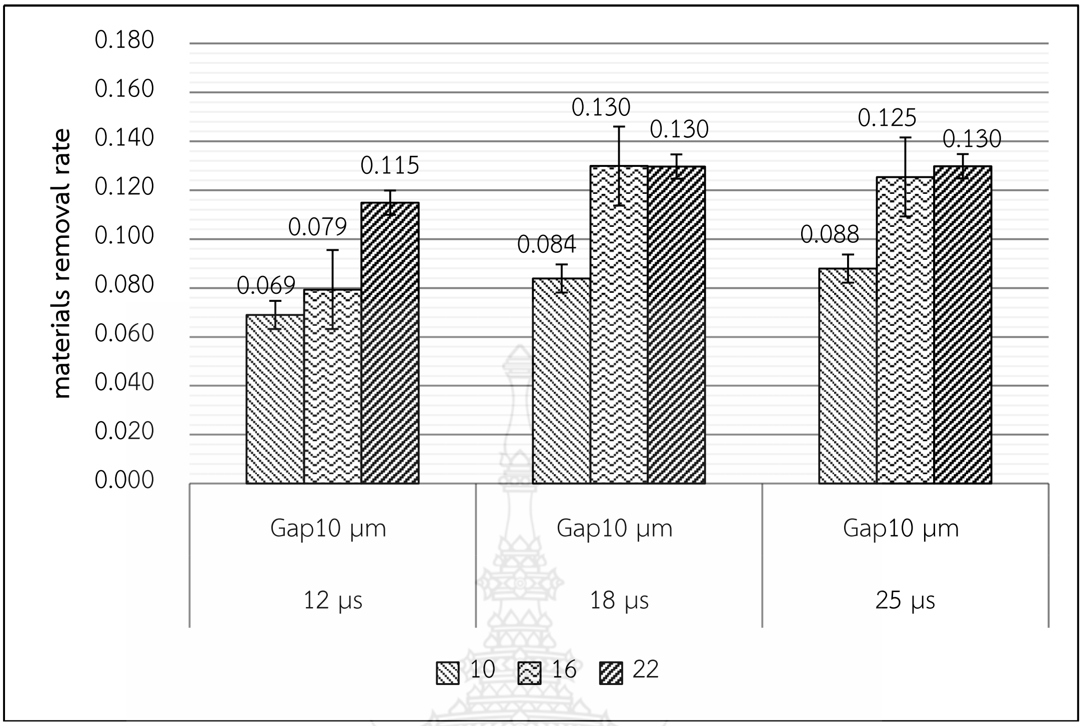
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Surface roughness) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์ เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น [23] ซึ่งเวลาเปิดที่ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหยาบผิวมากขึ้นตาม [23,24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 12 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 2.908 Ra ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าเวลาเปิดและกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหยาบผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น

4.1.2 ผลการทดลองหาพารามิเตอร์ เวลาเปิด กระแสไฟฟ้า ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด ที่เหมาะสมกับอัตราการขจัดเนื้องาน



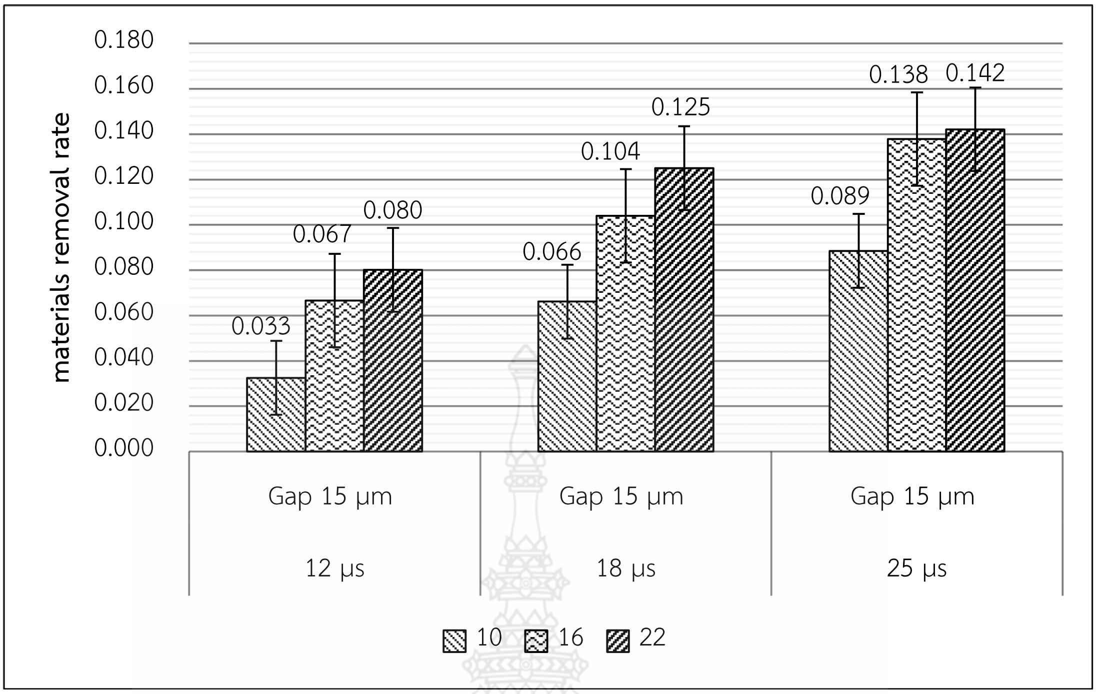
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบอัตราการขจัดเนื้องานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 5 ไมโครเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบอัตราการขจัดเนื้องาน (Materials removal rate) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์ เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มขึ้น ซึ่งเวลาเปิดที่ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุดคือ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานมากขึ้นตาม [23,24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 25 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุด คือ 0.150 g/min ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าเวลาเปิด และกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าอัตราการขจัดเนื้องานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 10 ไมโครเมตร

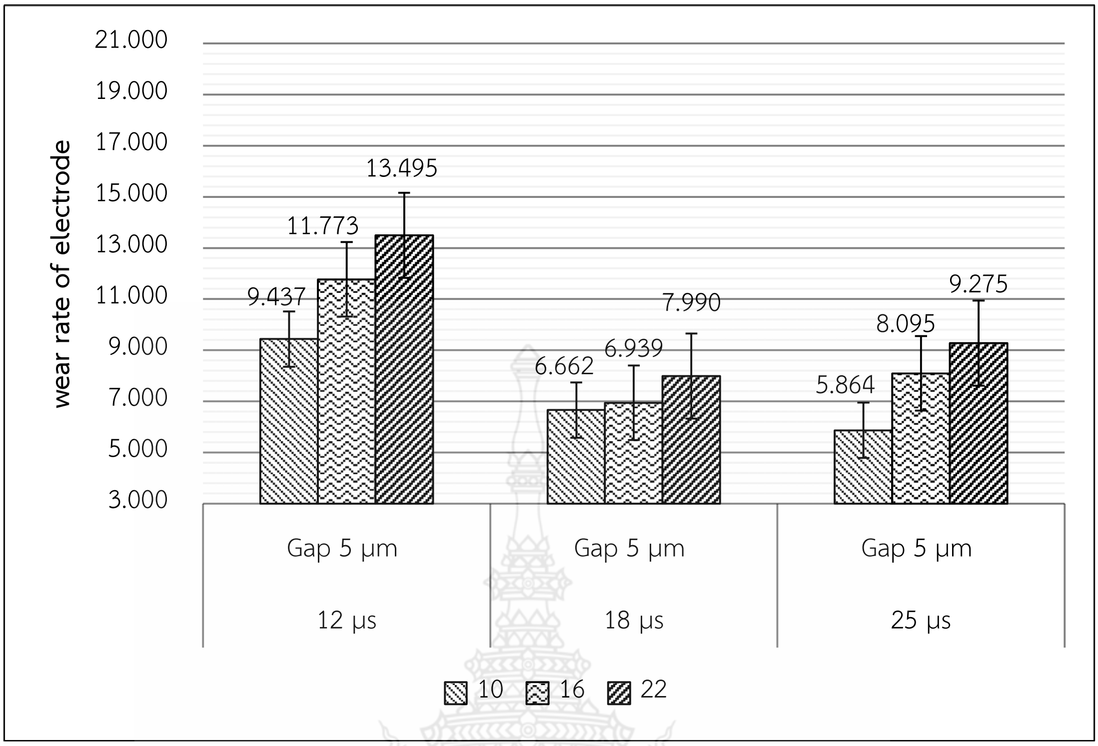
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบอัตราการขจัดเนื้องาน (Materials removal rate) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์ เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มขึ้น ซึ่งเวลาเปิดที่ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุดคือ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานมากขึ้นตาม [23,24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 25 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุด คือ 0.130 g/min ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าเวลาเปิด และกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าอัตราการขจัดเนื้องานเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 15 ไมโครเมตร

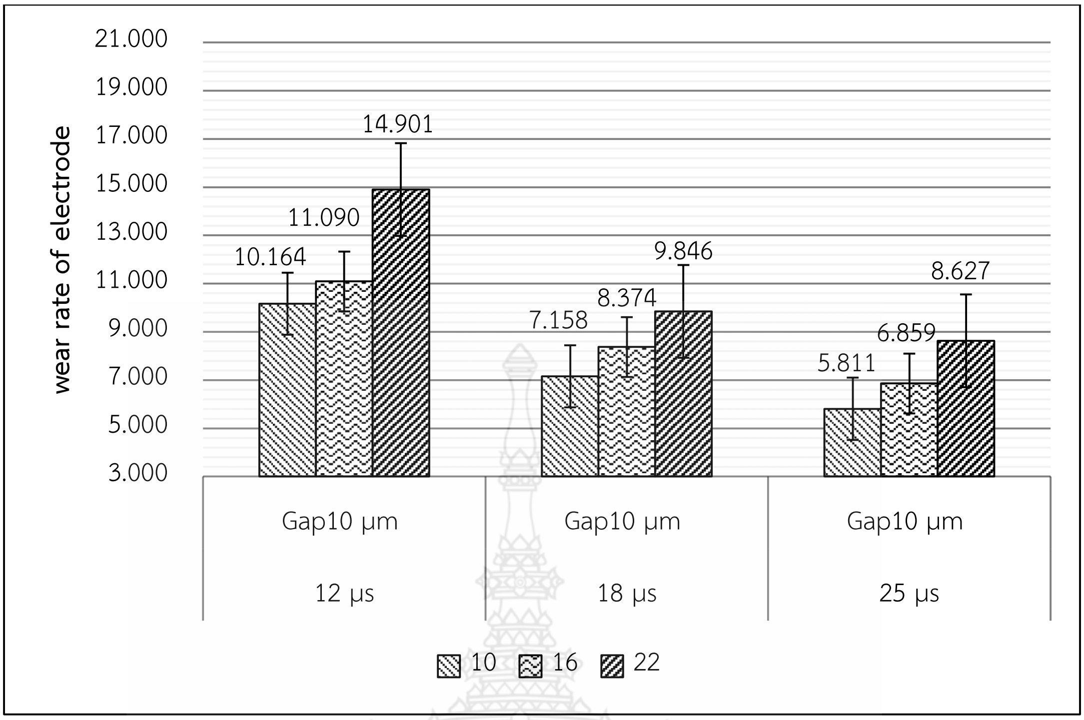
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบอัตราการขจัดเนื้องาน (Materials removal rate) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์ เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มขึ้น ซึ่งเวลาเปิดที่ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุดคือ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานมากขึ้นตาม [23,24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 25 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุด คือ 0.142 g/min ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าเวลาเปิด และกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มขึ้น

4.1.3 ผลการทดลองหาพารามิเตอร์ เวลาเปิด กระแสไฟฟ้า ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด ที่เหมาะสมกับกับการสึกหรอของอิเล็กโทรด



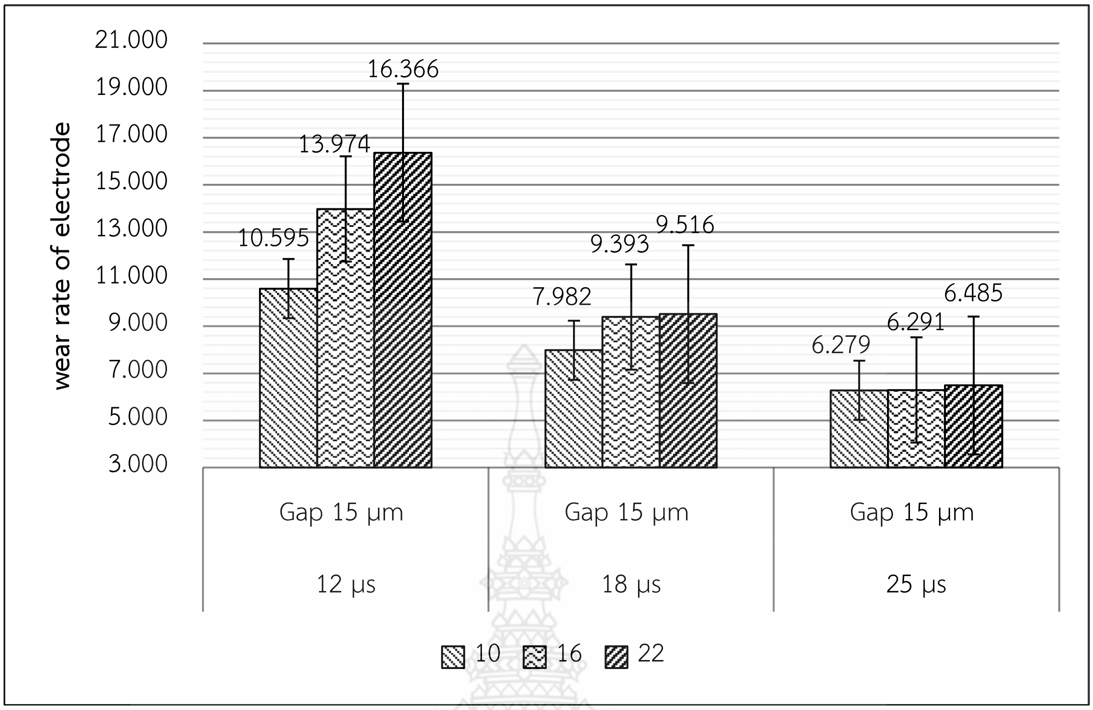
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 5 ไมโครเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Wear rate of electrode) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์ เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง [23] ซึ่งเวลาเปิดที่ทำให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุดคือ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดมากขึ้นตาม [24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 25 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 5.864 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าเวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง และกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 10 ไมโครเมตร

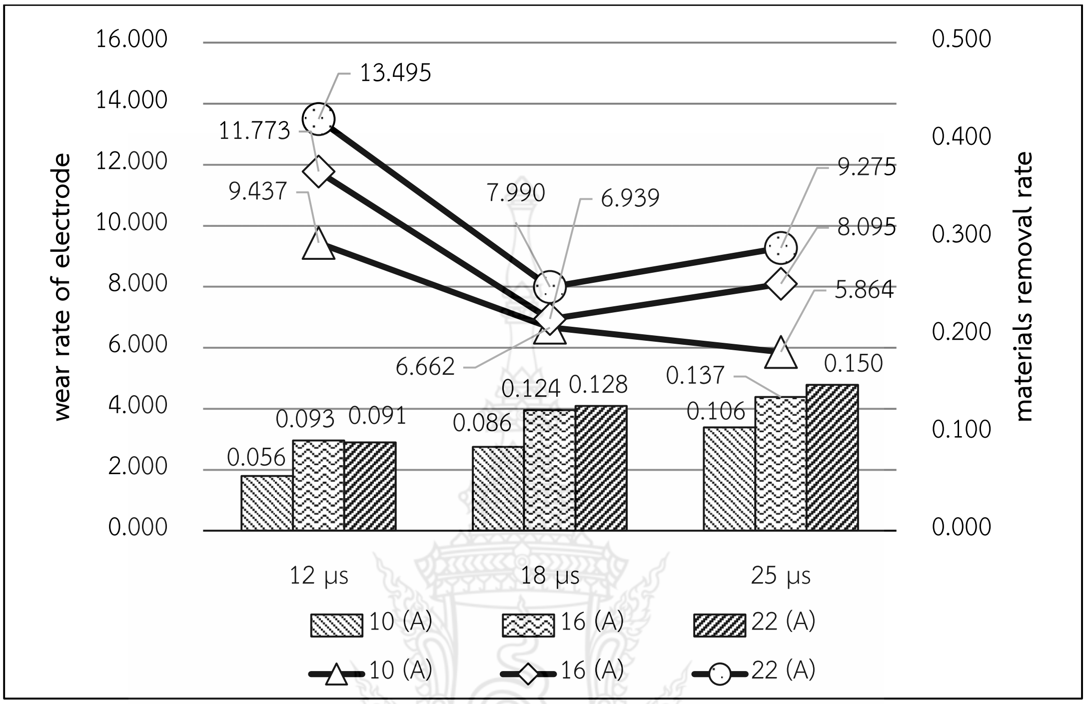
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Wear rate of electrode) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์ เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง [23] ซึ่งเวลาเปิดที่ทำให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุดคือ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดมากขึ้นตาม [24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 25 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 5.811 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าเวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง และกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 15 ไมโครเมตร

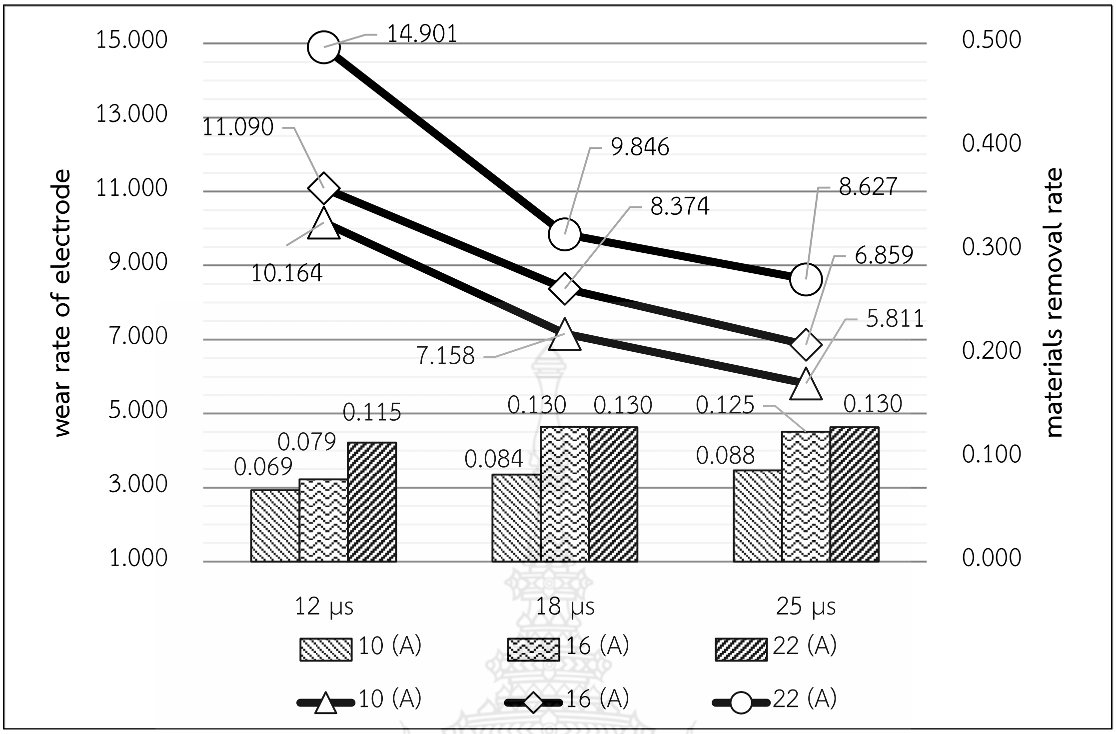
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Wear rate of electrode) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์ เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง [23] ซึ่งเวลาเปิดที่ทำให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุดคือ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดมากขึ้นตาม [24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 25 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ ให้ค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 6.279 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าเวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง และกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น

4.1.4 การเปรียบเทียบปัจจัยร่วมระหว่างอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดกับอัตราการขจัดเนื้องาน



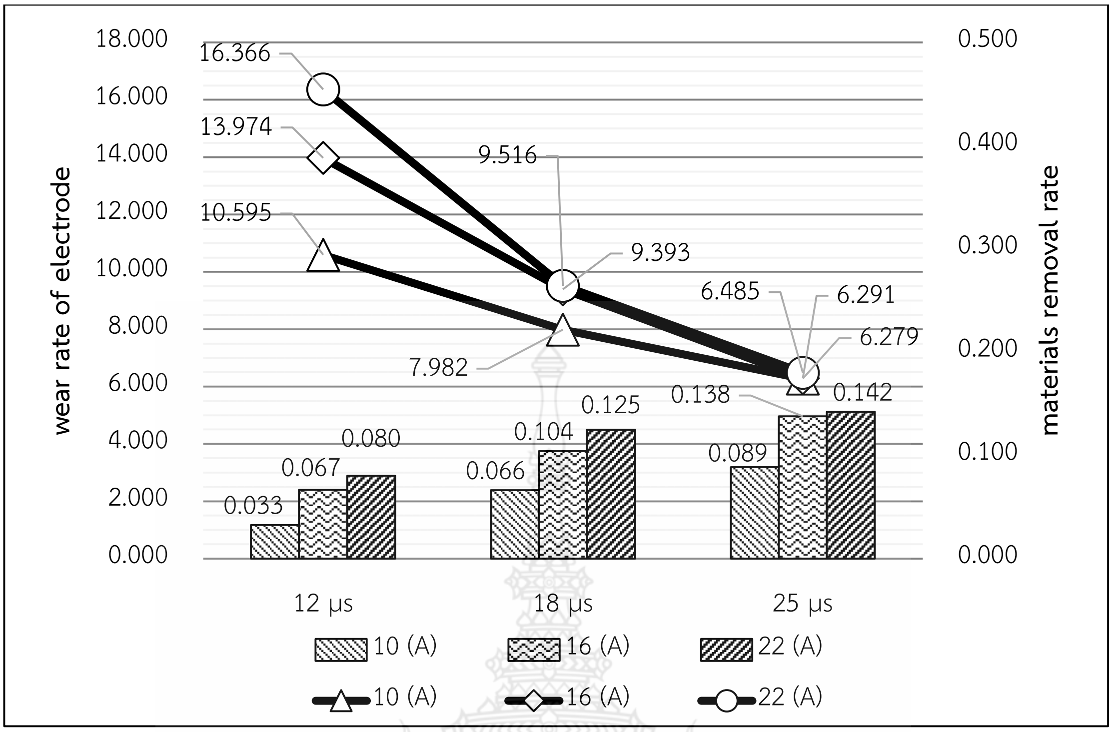
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบปัจจัยร่วมระหว่างสึกหรอของอิเล็กโทรดกับอัตราการขจัดเนื้องาน โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 5 ไมโครเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Wear rate of electrode) กับอัตราการขจัดเนื้องาน (Materials removal rate) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง [23] แต่จะทำให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดและอัตราการขจัดเนื้องานมากขึ้นตาม [24] ซึ่งเวลาเปิดกับกระแสไฟฟ้าที่ทำให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุด คือ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ มีค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 5.864 และเวลาเปิดกับกระแสไฟฟ้าที่ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุด คือ 25 ไมโครวินาที ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ มีค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุดอยู่ที่ 0.150 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบปัจจัยร่วมระหว่างสึกหรอของอิเล็กโทรดกับอัตราการขจัดเนื้องาน โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 10 ไมโครเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Wear rate of electrode) กับอัตราการขจัดเนื้องาน (Materials removal rate) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารมิเตอร์ เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง [23] แต่จะทำให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดและอัตราการขจัดเนื้องานมากขึ้นตาม [24] ซึ่งเวลาเปิดกับกระแสไฟฟ้าที่ทำให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุด คือ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ มีค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 5.811 และเวลาเปิดกับกระแสไฟฟ้าที่ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุด คือ 25 ไมโครวินาที ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ มีค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุดอยู่ที่ 0.130 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบปัจจัยร่วมระหว่างสึกหรอของอิเล็กโทรดกับอัตราการขจัดเนื้องาน โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 15 ไมโครเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (Wear rate of electrode) กับอัตราการขจัดเนื้องาน (Materials removal rate) จากผลการทดลองเมื่อค่าพารามิเตอร์เวลาเปิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลง [23] แต่จะทำให้อัตราการขจัดเนื้องาสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดและอัตราการขจัดเนื้องานมากขึ้นตาม [24] ซึ่งเวลาเปิดกับกระแสไฟฟ้าที่ทำให้อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุด คือ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ มีค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 6.279 และเวลาเปิดกับกระแสไฟฟ้าที่ทำให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุด คือ 25 ไมโครวินาที ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ มีค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุดอยู่ที่ 0.142 กรัมต่อนาที

4.2 ตรวจสอบความแข็งชิ้นงานก่อนและหลังทำการทดลอง

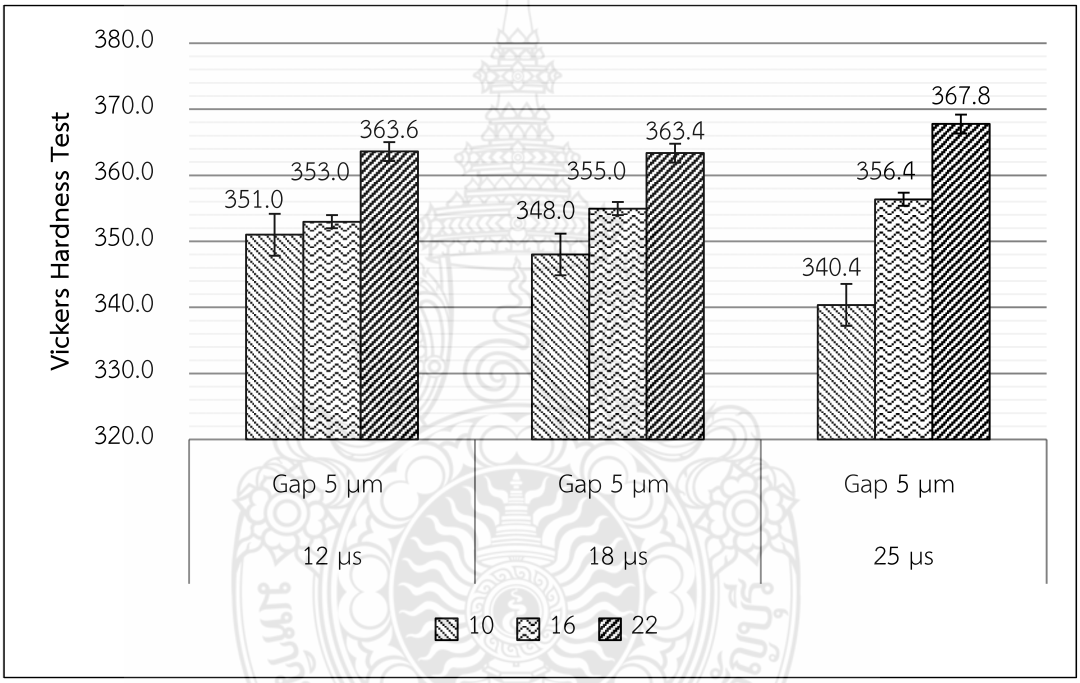
ข้อมูลผลการทดลองตามแผนการทดลองที่วางไว้สามารถเก็บค่าความแข็งของชิ้นงานได้หลังการกดบนพื้นผิวชิ้นงาน 5 จุด แล้วคิดค่าเฉลี่ย โดยแสดงตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบความแข็งชิ้นงาน

ชิ้นที่	เวลาเปิด (µs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (µm)	ค่าความแข็ง (HV) กดครั้งที่ 1	2	3	4	5	ค่าความแข็งเฉลี่ย (HV)
1	12	10	5	313.3	369.7	362	342.5	367.5	351.0
2	12	10	10	369.2	363.6	339.8	350.6	380.9	360.8
3	12	10	15	358.3	352.7	286.4	350.4	358.4	341.2
4	12	16	5	365.6	305	332.8	372.3	389.1	353.0
5	12	16	10	367.4	357.7	372.3	361.1	349.5	361.6
6	12	16	15	354.9	355.4	351.6	349.7	332.4	348.8
7	12	22	5	348.8	374.8	380.7	377.3	336.4	363.6
8	12	22	10	343.1	359.4	386.4	388.4	365	368.5
9	12	22	15	354.0	374.2	348.0	354.0	348.3	355.7
10	18	10	5	327.7	366.9	363.9	343	338.5	348.0
11	18	10	10	360.4	338.9	343.4	336.8	366.3	349.2
12	18	10	15	364.4	345.3	298.9	344.8	350.1	340.7
13	18	16	5	336.3	369.3	349.5	361.1	358.6	355.0
14	18	16	10	356.6	377.7	359.5	373.9	335.8	360.7
15	18	16	15	353.2	340.7	356.3	308.3	351.6	342.0
16	18	22	5	376	361.6	361.7	369.3	348.2	363.4
17	18	22	10	374.5	371.5	352.7	375.4	369.3	368.7
18	18	22	15	348.3	343.1	359.6	357.3	343.0	350.3
19	25	10	5	337.6	337.7	344.6	351.1	330.9	340.4
20	25	10	10	347.7	369.9	345.5	356.1	339.9	351.8
21	25	10	15	365.3	354.6	376.8	326.4	328.3	350.3
22	25	16	5	357.3	364	348	343.4	369.1	356.4
23	25	16	10	351.9	372.9	343.7	341.3	368.2	355.6
24	25	16	15	342.8	352.8	350.5	336.6	375.5	351.6

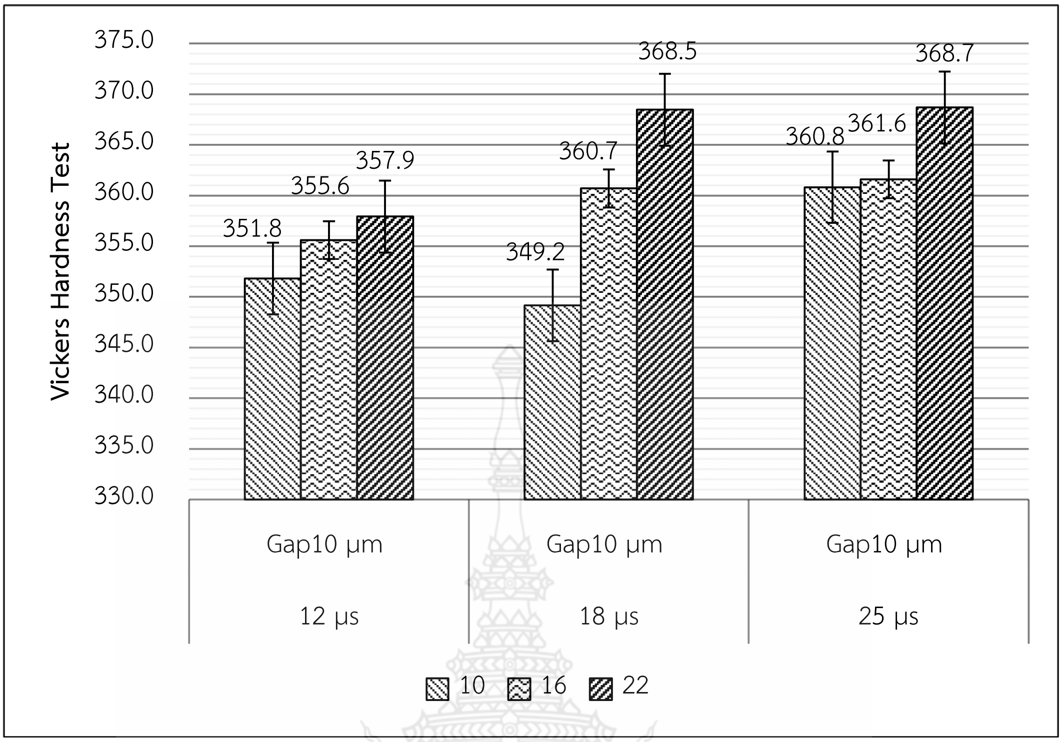
ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบความแข็งชิ้นงาน (ต่อ)

ชิ้นที่	เวลาเปิด (µs)	กระแสไฟฟ้า (A)	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด (µm)	ค่าความแข็ง (HV) กดครั้งที่					ค่าความแข็งเฉลี่ย (HV)
				1	2	3	4	5	
25	25	22	5	386.1	363.8	367.9	361.7	359.3	367.8
26	25	22	10	363.1	344.2	354.0	343.5	384.8	357.9
27	25	22	15	352.7	358.3	348.8	349.7	357.7	353.4



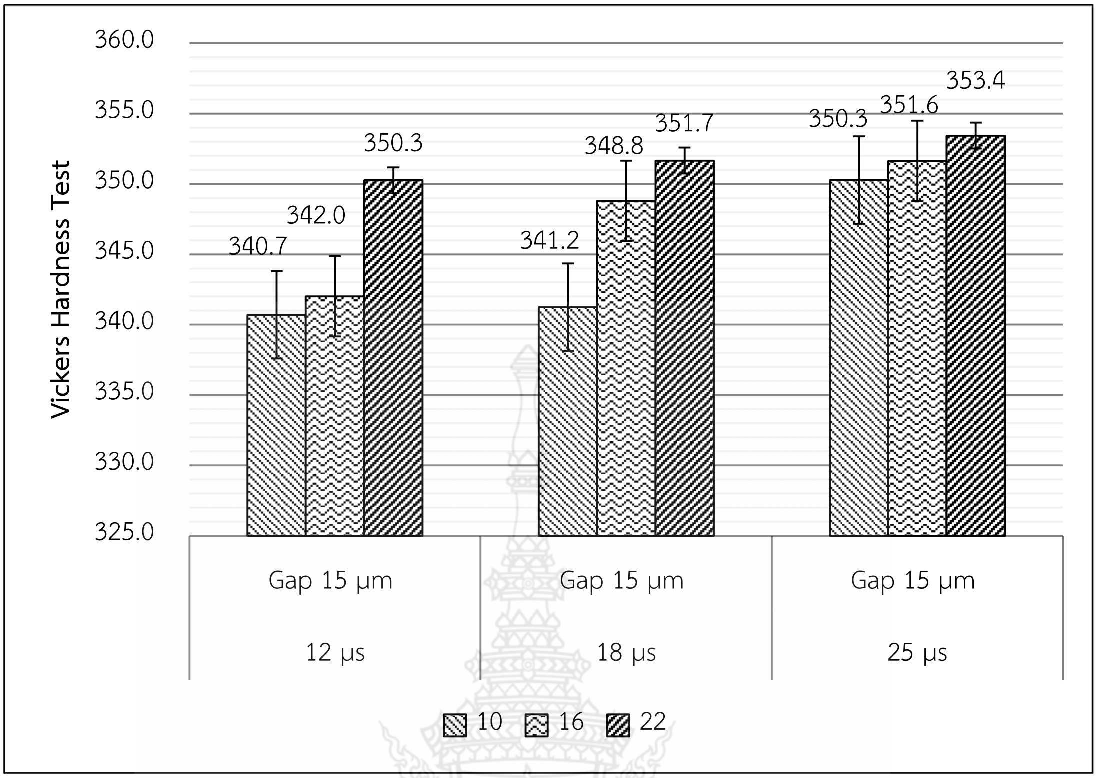
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบความแข็งชิ้นงานหลังทำการทดลองของเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 5 ไมโครเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานเหล็ก NAK80 (Vickers Hardness Test) จากผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น คือ กระแสไฟฟ้า เมื่อมีการปรับค่ากระแสเพิ่มขึ้นตามลำดับ จะส่งผลให้ค่าความแข็งของชิ้นงานมากขึ้น [24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าความแข็งของชิ้นงานสูงที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 25 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าค่าความแข็งของชิ้นงานสูงที่สุดอยู่ที่ 367.8



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบความแข็งชิ้นงานหลังทำการทดลองของเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 10 ไมโครเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานเหล็ก NAK80 (Vickers Hardness Test) จากผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น คือ กระแสไฟฟ้า เมื่อมีการปรับค่ากระแสเพิ่มขึ้นตามลำดับ จะส่งผลให้ค่าความแข็งของชิ้นงานมากขึ้น [24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าความแข็งของชิ้นงานสูงที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 25 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าค่าความแข็งของชิ้นงานสูงที่สุดอยู่ที่ 368.7



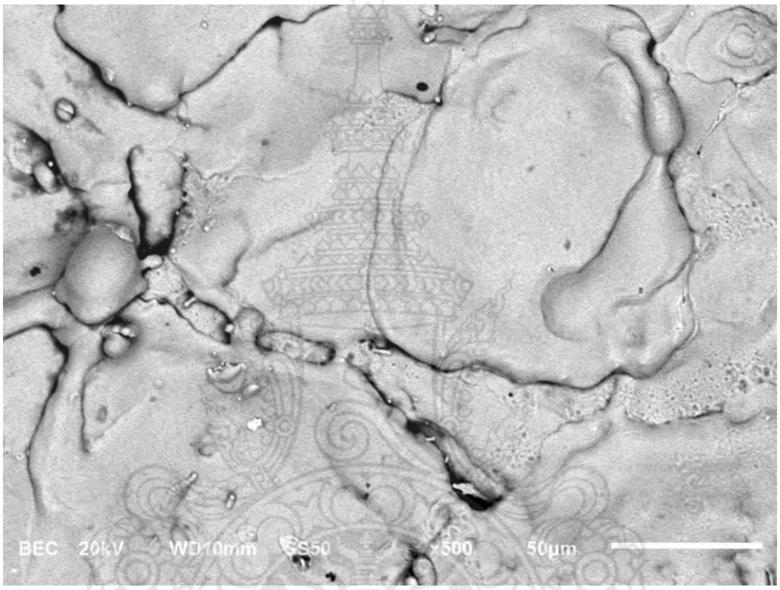
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบความแข็งชิ้นงานหลังทำการทดลองของเหล็ก NAK80 โดยตั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ระยะ 15 ไมโครเมตร

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานเหล็ก NAK80 (Vickers Hardness Test) จากผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น คือ กระแสไฟฟ้า เมื่อมีการปรับค่ากระแสเพิ่มขึ้นตามลำดับ จะส่งผลให้ค่าความแข็งของชิ้นงานมากขึ้น [24] ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าความแข็งของชิ้นงานสูงที่สุด จากผลการทดลองเวลาเปิดที่ 25 ไมโครวินาที และกระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ ให้ค่าค่าความแข็งของชิ้นงานสูงที่สุดอยู่ที่ 353.4

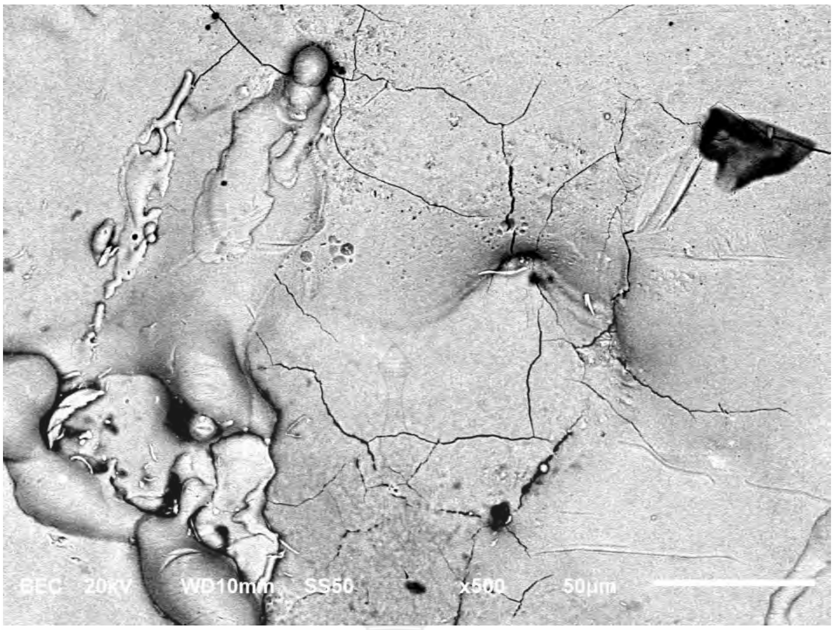
4.3 ผลการตรวจสอบรอยแตกร้าวในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลการวิเคราะห์รอยแตกร้าวในระดับจุลภาค (Micro-crack) จากการศึกษาปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อสมบัติวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ด้วยกระบวนการตัดเจาะด้วยไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโทรด (EDM) แสดงผลดังรูปที่ 4.16 และ รูปที่ 4.17 ซึ่งจะพบว่า เมื่อปรับเวลาเปิด กระแสไฟฟ้า และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานเกดรอยแตกร้าวในระดับจุลภาคมากขึ้น สาเหตุ

ของการเกิดรอยแตกร้าวในระดับจุลภาค คือ อิทธิพลทางความร้อนที่เกิดจากการเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการตัด จะมีผลให้ความร้อนในการตัดเพิ่มสูงขึ้น เมื่อได้รับความร้อนสูงและเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วจะทำให้เหล็กเปลี่ยนสถานะจากเหนียวเป็นแข็ง แต่ถ้าอัตราการเย็นตัวนั้นรวดเร็วเกินไปจะทำให้เหล็กนั้นเกิดความเครียดแข็งเปลี่ยนสถานะจากแข็งเป็นเปราะ นอกจากนี้กระบวนการนี้เป็นวิธีการตัดโลหะใต้น้ำดังนั้นกระบวนการนี้จึงเป็นกระบวนการตัดที่โลหะมีอัตราการเย็นตัวสูง ยิ่งใช้กระแสไฟฟ้าในการตัดเพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้อัตราการเย็นตัวยิ่งสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้การใช้กระแสไฟฟ้าในการตัด 22 แอมป์ จึงเกิดรอยแตกร้าวหรือ Micro-crack มากที่สุด



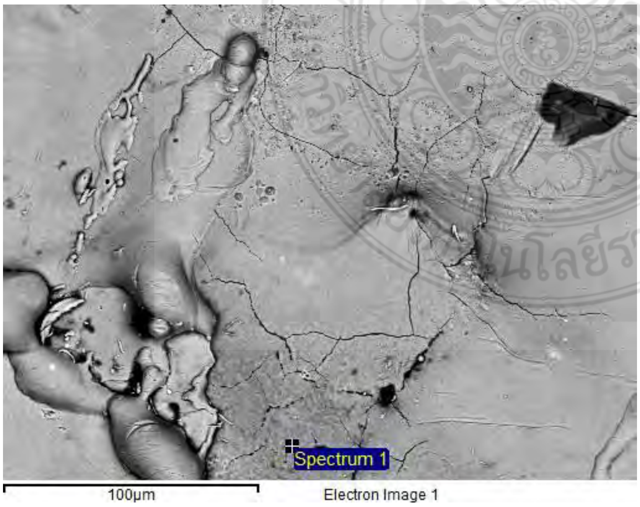
รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของการศึกษาเวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของการศึกษาเวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร

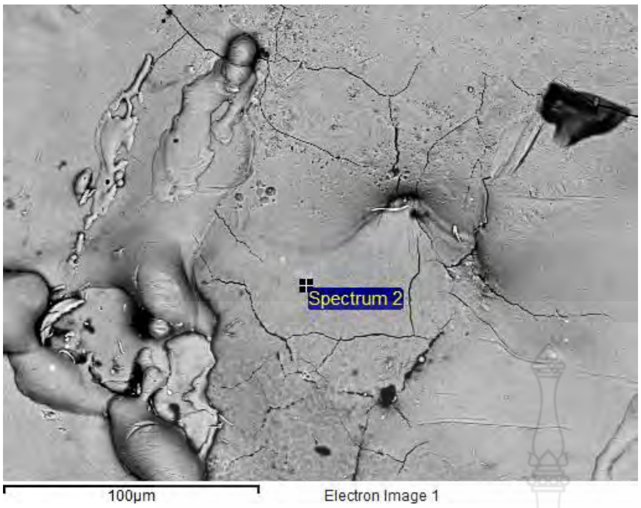
4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชั้นสารประกอบเชิงโลหะด้วยเทคนิคการตรวจวัดรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงานของธาตุ (EDS) สามารถสรุปผลได้ดังนี้

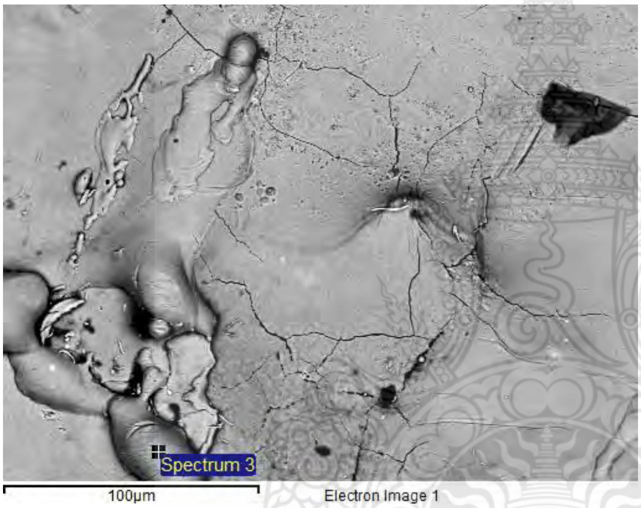


Element	Weight%	Atomic%
Al K	1.36	2.83
Mn K	1.94	1.98
Fe K	88.92	88.96
Ni K	2.92	2.78
Cu K	3.44	3.03
W M	1.41	0.43
Totals	100.00	

รูปที่ 4.18 ผลวิเคราะห์ EDS สเปกตรัมที่ 1



Element	Weight%	Atomic%
Al K	0.77	1.64
Mn K	1.96	2.03
Fe K	88.02	90.06
Ni K	2.75	2.67
Cu K	2.69	2.42
W M	3.81	1.19
Totals	100.00	



Element	Weight%	Atomic%
Al K	1.39	2.84
Si K	1.17	2.29
Cr K	0.25	0.27
Mn K	1.66	1.66
Fe K	89.59	88.08
Ni K	3.09	2.89
Cu K	1.99	1.72
W M	0.84	0.25
Totals	100.00	

รูปที่ 4.19 ผลวิเคราะห์ EDS สเปกตรัมที่ 2 และ สเปกตรัมที่ 3

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อสมบัติวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก เพื่อหาค่าตัวแปรในการตัดเจาะด้วยประจุไฟฟ้าชิ้นงาน เพื่อหาพารามิเตอร์ที่ให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด โดยการกำหนดปัจจัยในการทดลองจำนวน 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ เวลาเปิด 12 18 และ 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 16 และ 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 10 และ 15 ไมโครเมตร ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ค่าปัจจัยในการตัดเฉือนที่ดีที่สุด คือ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 2.802 ไมโครเมตร อัตราการขจัดเนื้องาน 0.056 กรัมต่อนาที และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดร้อยละ 9.437

5.1.2 ผลการทดลองค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด เท่ากับ 2.802 ไมโครเมตร ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวต่ำ คือ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร

5.1.3 ผลการทดลองค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงที่สุด เท่ากับ 0.150 กรัมต่อนาที ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูง คือ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร

5.1.4 ผลการทดลองค่าสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำที่สุด เท่ากับ 5.811 % ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูง คือ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 ไมโครเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นแท่งอิเล็กโทรดควรมีคุณสมบัติด้านการนำไฟฟ้าที่ดีและมีจุดหลอมเหลวสูง จึงจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการกัดเจาะด้วยประจุไฟฟ้าได้ และยังสามารถช่วยลดต้นทุนหรือลดเวลาในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย นอกจากนี้ควรศึกษาค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการทำงานระหว่างแท่งอิเล็กโทรดกับชิ้นงานทุกครั้งก่อนการปฏิบัติงาน เพื่อให้งานที่ออกมามีคุณภาพมากขึ้น

บรรณานุกรม

[1] E.Bud Guitrau.,The EDM Handbook. Handser Gardener publication Cincinati, pp. 19-54, 1997.

[2] Thomas, B., Technology of Electrical Discharge Machining. Druckerei Helene,6102 Pfun stste pp. 11-53.

[3] พิชัย จันทร์มณี, การศึกษาเพื่อลดรอยแตกร้าวขนาดเล็กในกระบวนกัดอาร์กด้วยไฟฟ้าสำหรับทังสเตนคาร์ไบด์, วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี, 2554.

[4] Copyright 1980 Daido Steel Co. Ltd, NAK55 NAK80 40 HRC Pre-hard Type High Perform ance, High Precision Plastic Mold Steel, 1980 Daido Steel Co. Ltd

[5] Thomas, B., Technology of Electrical Discharge Machining. Druckerei Helene,6102 Pfun stste pp. 11-53.

[6] Lien Sheng Mechanical & Electrical Co., LTD, Instruction Manual Aristech 3D-CNC EDM. 2.Ta-Li City,2004.

[7] เทคโนโลยีการกัดเซาะโลหะด้วยตัวนำไฟฟ้า, http://app.eng.ubu.ac.th.1 กันยายน. 2555

[8] ศักดา ฉายพุดซา และคณะ, การศึกษาการสึกหรอของทองแดงที่ได้จากการทำ Electroforming ในการกัดแม่พิมพ์โดยวิธี Electrical Discharge Machine (EDM), ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้านบุรี, 2548.

[9] อภิวัฒน์ มุตตามระ, อนันต์ เพ็ชรผึ้ง. 2550. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ “การศึกษาการกัดขึ้นรูปโลหะด้วยไฟฟ้าด้วยอิเล็กโทรดหายชนิด” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ.

[10] ปวุฒิ เพชรไพรินทร์, 2549, การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความสึกหรอของคมตัดในการกัดทองเหลืองผสม, วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหาการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[11] เฉลิมพล คล้ายนิล. การศึกษาอิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสแตนเลสด้วยใบมีดคาร์ไบต์ที่มีผลต่อการสึกหรอใบมีดตัดและความขรุขระของผิว,วิทยานิพนธ์ปริญญาศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.2549.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[12] ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า และเหล็กหล่อต่าง ๆ. http://heattreatment.sut.ac.th/

[13] Soo Hiong Lee and Xiaoping Li. 2003 “Study of the surface integrity of the machined workpiece in the EDM of tungsten carbide” Journal of Materials Processing Technology

[14] สิทธิชัย แก้วเกื้อกูล. และคณะ “ศึกษาปัจจัยการตัดเจาะโลหะที่มีผลต่อการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรดต่อ การตัดเจาะด้วยไฟฟ้าของโลหะ AISI 01 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

[15] สุชาติ มั่นนหมาย, อนวัช เครือจันทร์. 2537. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. การศึกษาการสึก หรอของอิเล็กโทรดชนิดแกรไฟต์ของเครื่อง EDM. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[16] R.A.Mahdavinejad and A.Mahdavinejad. 2005 “EDM machining of WC-Co” Journal of Materials Processing Technology

[17] สมนึก วัฒนศรียกุล. การทดสอบวัสด, กรุงเทพฯ: กรีนเวิลด์ มีเดียร์ (14 มีนาคม 2549) http://personal.sut.ac.th/heattreatment/context/Measurement of Hardness.html

[18] กรรณชัย กัลยาศิริ, การปรับปรุงกระบวนการตัดด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรดหมุนโดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์, การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ, ครั้งที่ 19, 2552

[19] อภิวัฒน์ มุตตามระ, การศึกษาเปรียบเทียบการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการใช้อิเล็กโทรดชนิดทองแดง ทองเหลือง และกราไฟต์, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปีที่ 17 ฉบับที่ 2, 2552.

[20] กมลพงศ์ แจ่มกมล พิชัย จันทร์มณี, พารามิเตอร์พื้นฐานที่มีผลต่อการ EDM เหล็กกล้าคาร์บอนผสม AISI P20, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8. 2553, หน้า 579 - 620.

[21] นิวัฒน์ มูเก็ม และ ปิยะวรรณ สูนาสวน, ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการตัดด้วยวิธี EDM ที่มีผลต่อลักษณะเฉพาะของการตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 2555.

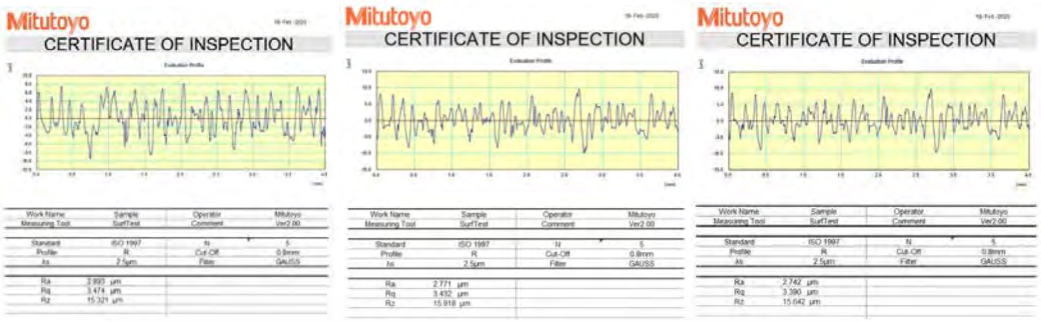
บรรณานุกรม (ต่อ)

[22] กมลพงค แจมกมล พิชัย จันทรมณี และดลธรรม เอฬกานนท์, ผลกระทบพารามิเตอรในการอีดีเอ็มวัสดุแมพิมพ AISI P20 ด้วยทองแดงอิเล็กโทรด, การประชุมวิชาการ “ธนบุรีวิจัย ครั้งที่ 2” 17 ตุลาคม 2552.

[23] กมลพงศ์ แจ่มกมล และ พิชัย จันทร์มณี, การศึกษาพารามิเตอร์การตัดเฉือนไฟฟ้าสำหรับเหล็กแม่พิมพ์ AISI P20 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มข. มกราคม – มีนาคม 2556 : หน้า 95 - 103

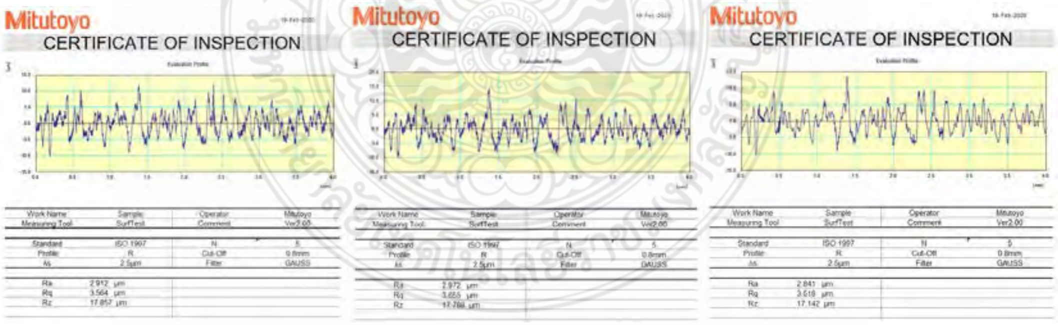
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลวัดค่าความหยาบผิวชิ้นงานและผลการตรวจสอบค่าความแข็งชิ้นงาน

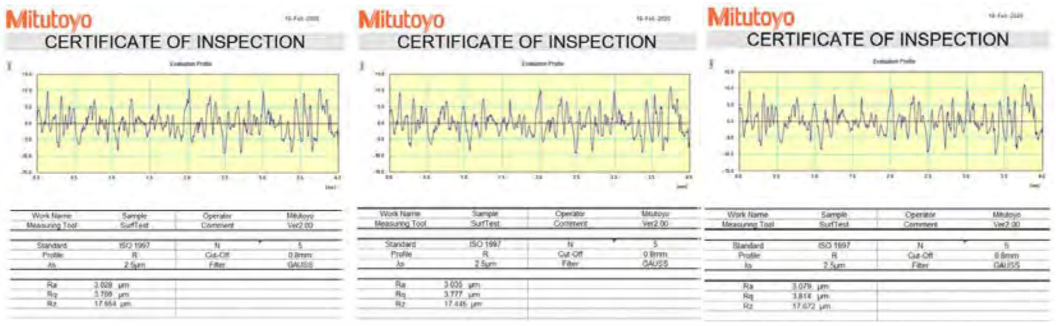


รูปที่ ก.1 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร

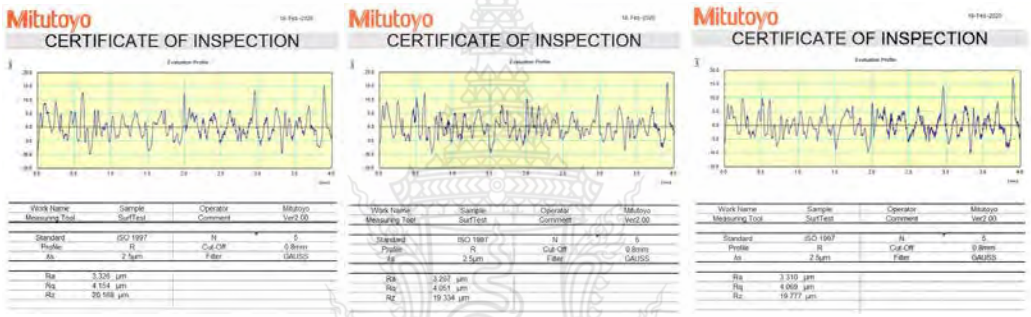
รูปที่ ก.2 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 ไมโครเมตร



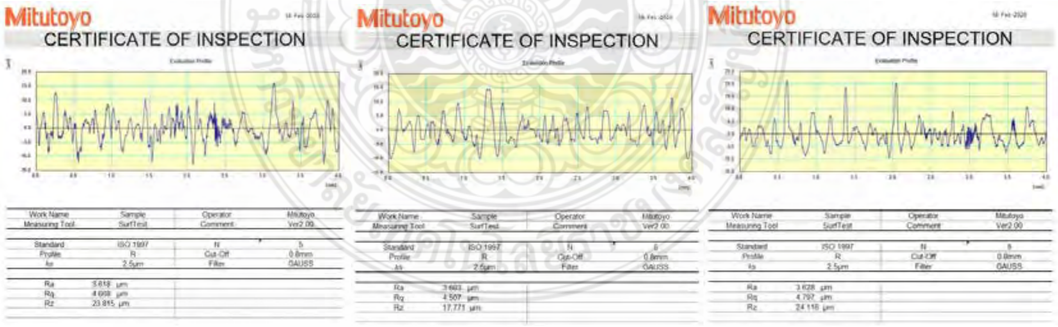
รูปที่ ก.3 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร



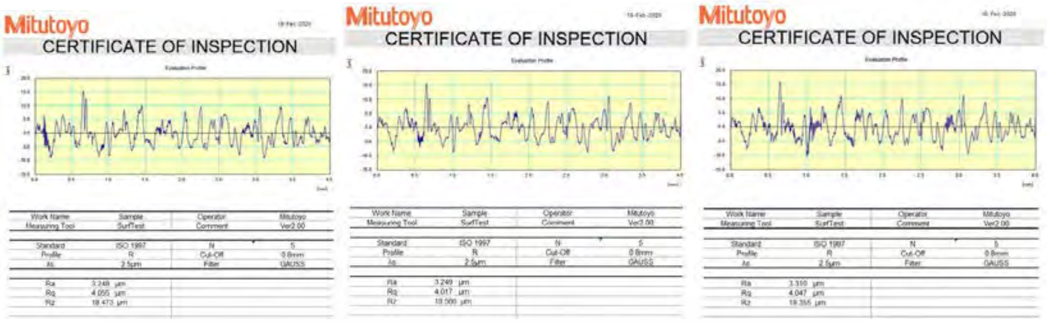
รูปที่ ก.4 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 16 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร



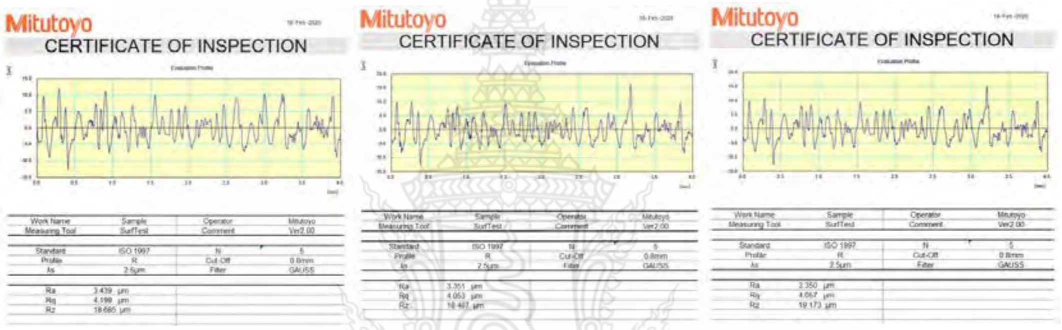
รูปที่ ก.5 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 16 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 ไมโครเมตร



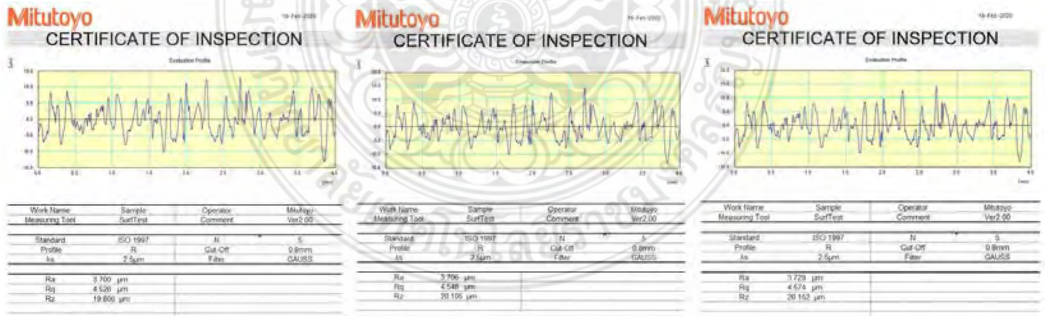
รูปที่ ก.6 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 16 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร



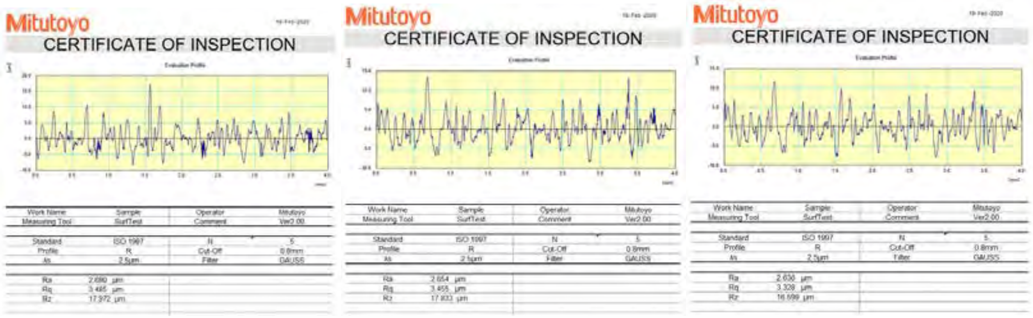
รูปที่ ก.7 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร



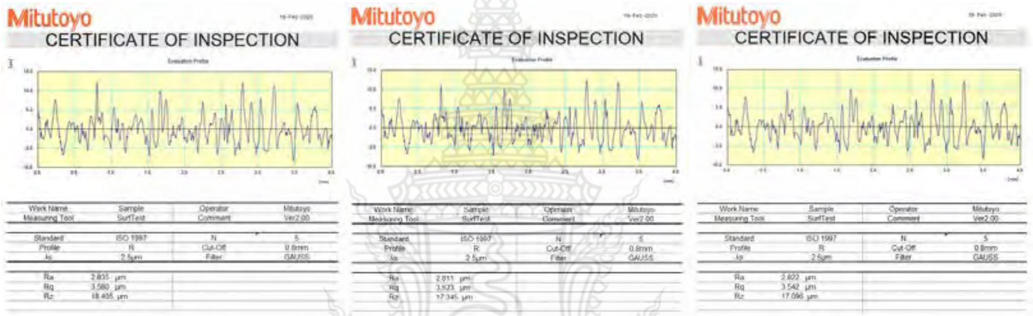
รูปที่ ก.8 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 ไมโครเมตร



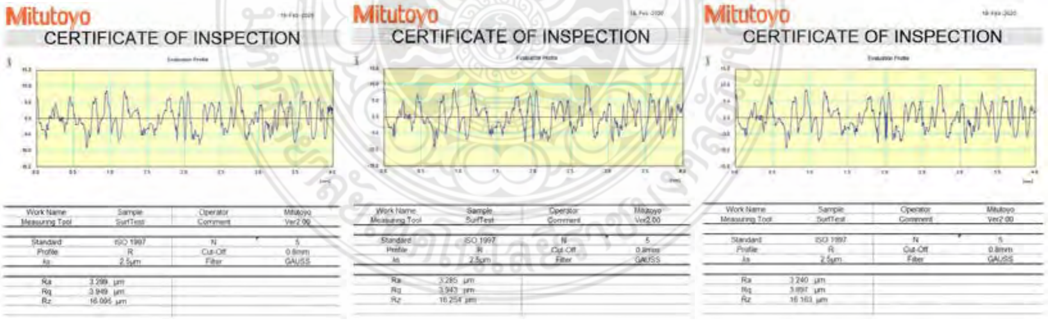
รูปที่ ก.9 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 12 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร



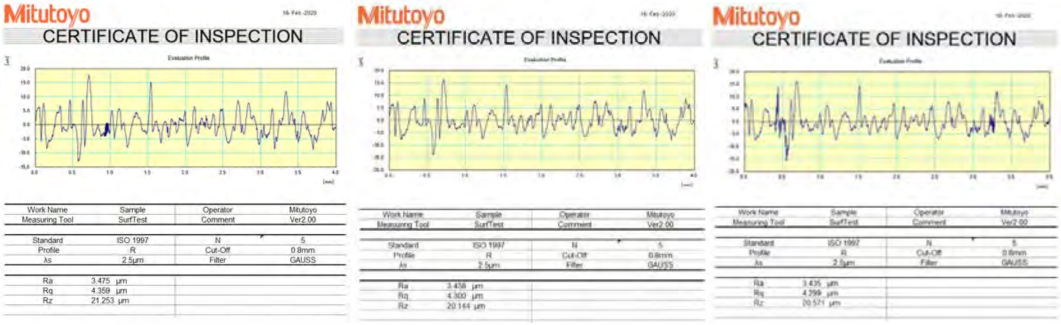
รูปที่ ก.10 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 18 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร



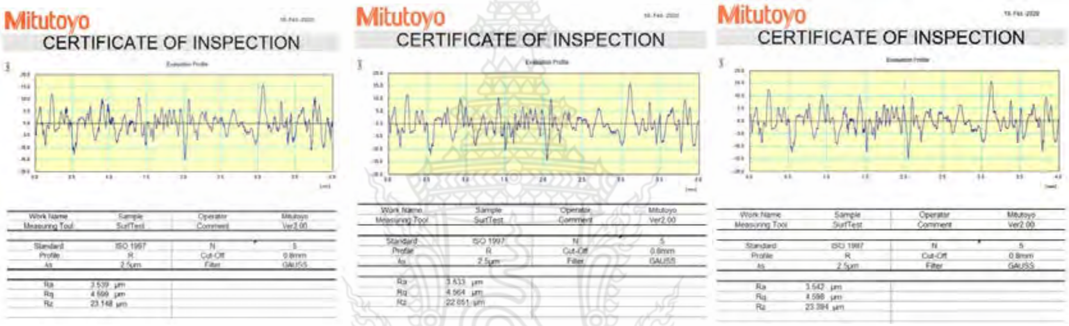
รูปที่ ก.11 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 18 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 ไมโครเมตร



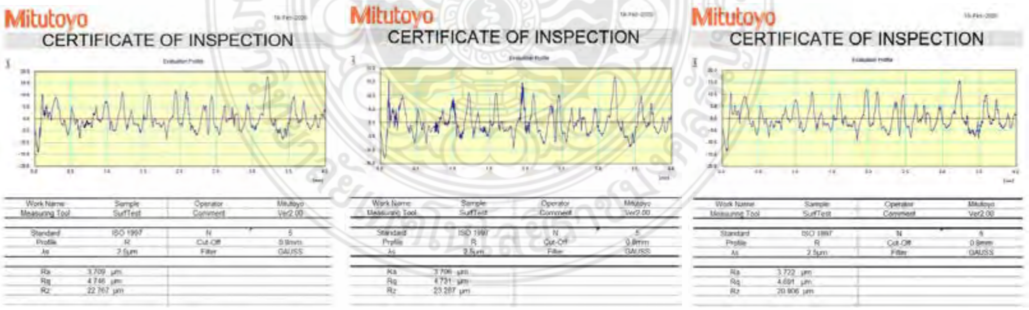
รูปที่ ก.12 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 18 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร



รูปที่ ก.13 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 18 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 16 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร

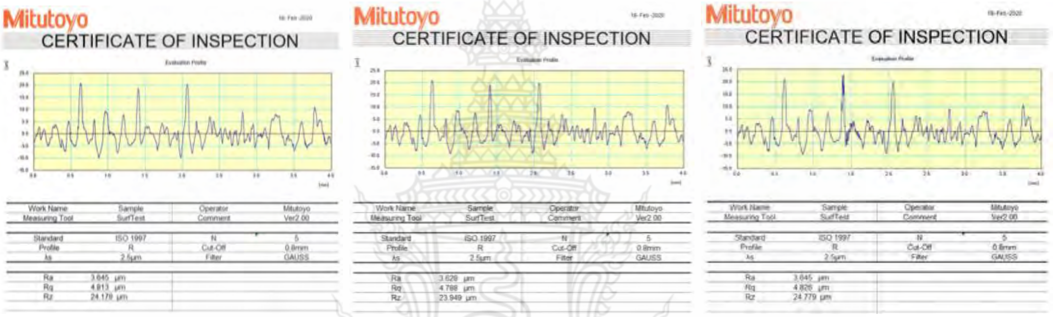


รูปที่ ก.14 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 18 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 16 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 ไมโครเมตร

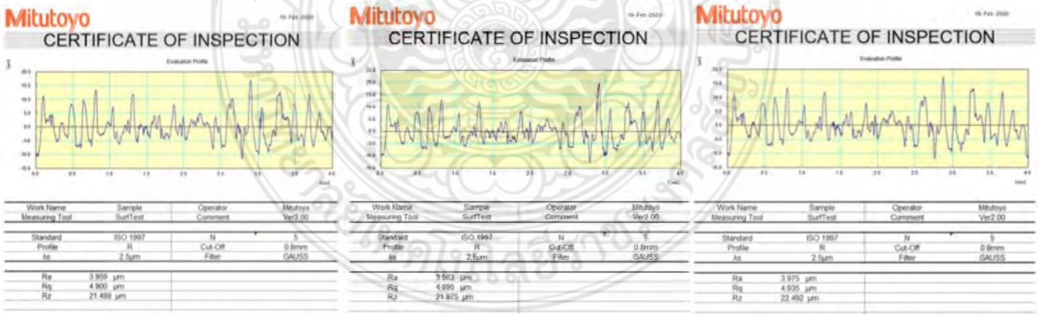


รูปที่ ก.15 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 18 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 16 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร

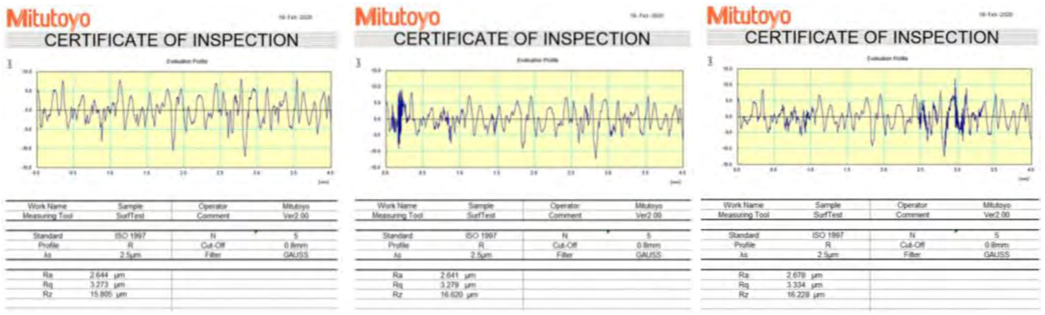
รูปที่ ก.16 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 18 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร



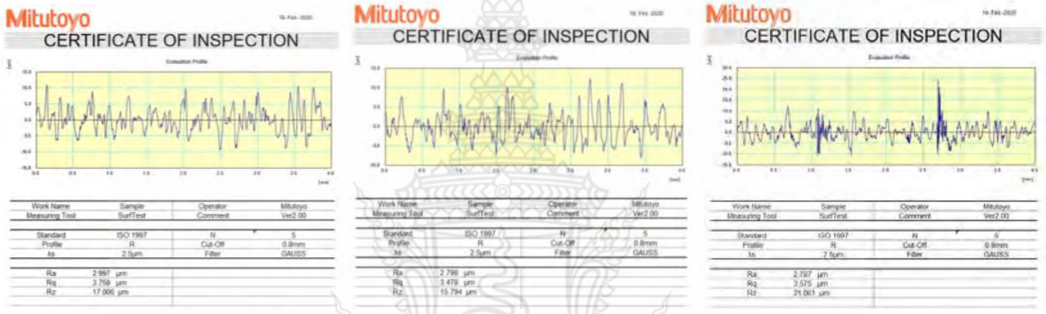
รูปที่ ก.17 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 18 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 ไมโครเมตร



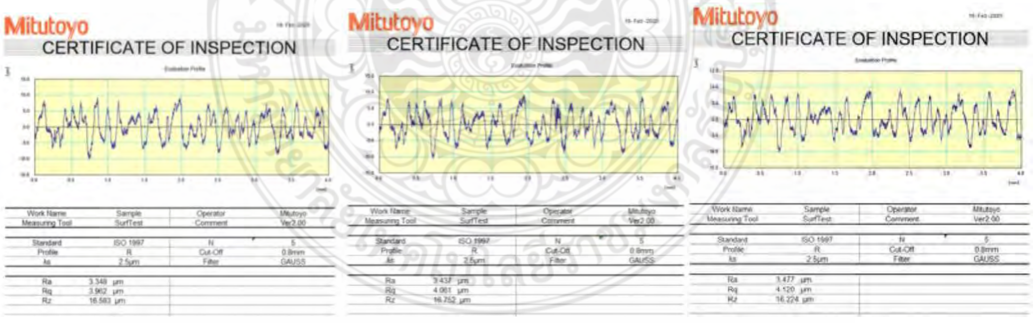
รูปที่ ก.18 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 18 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร



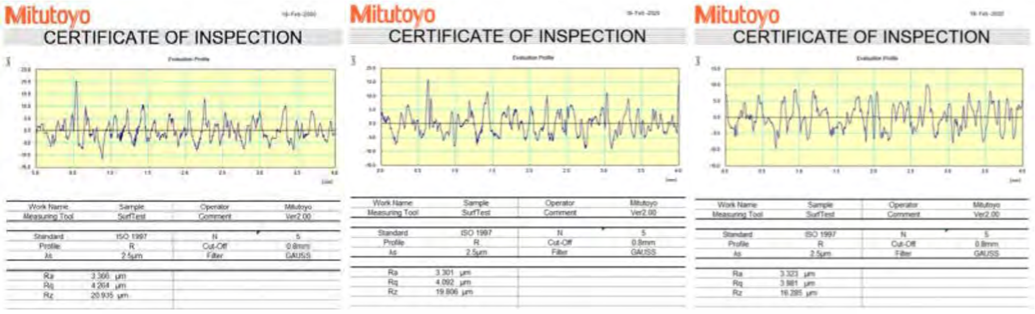
รูปที่ ก.19 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร



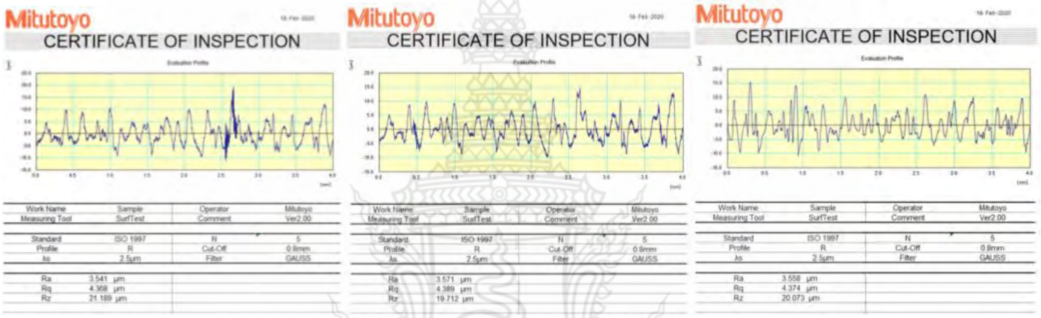
รูปที่ ก.20 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 ไมโครเมตร



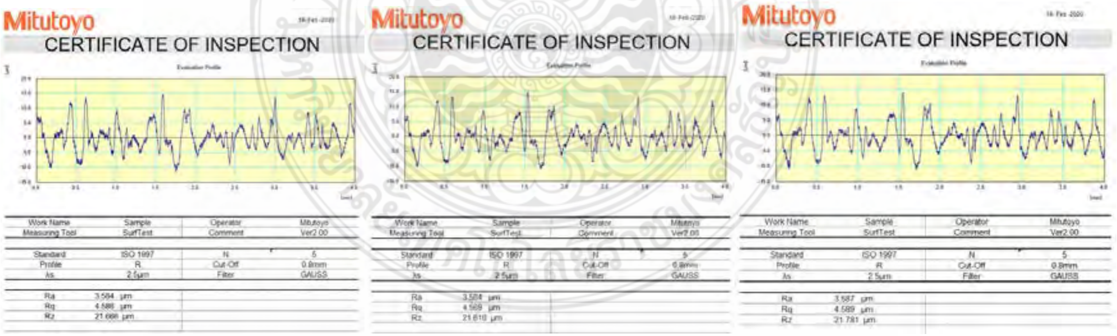
รูปที่ ก.21 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร



รูปที่ ก.22 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 16 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร

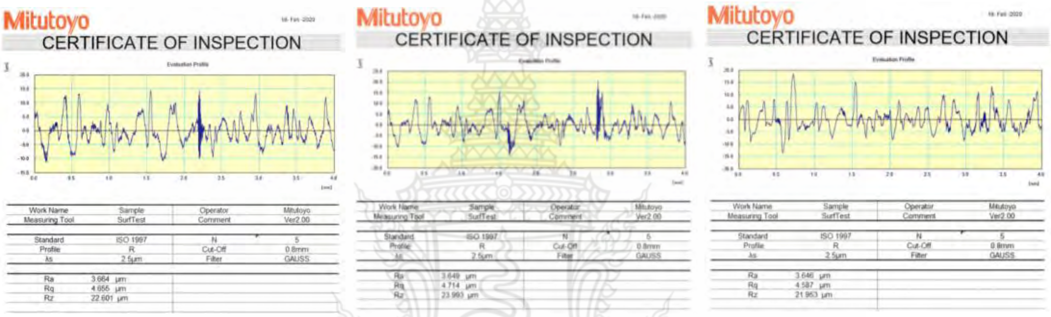


รูปที่ ก.23 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 16 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 ไมโครเมตร

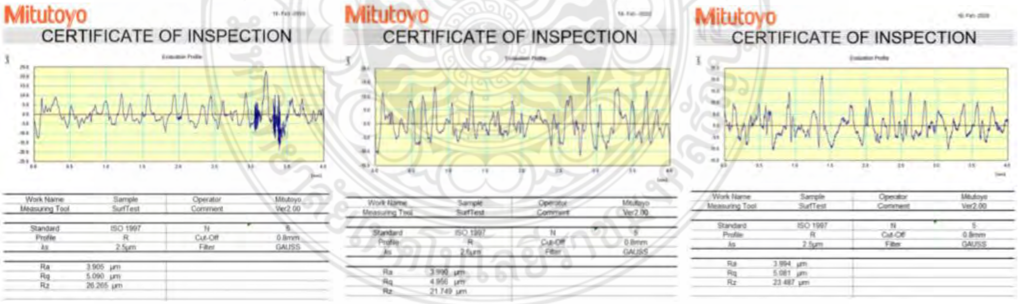


รูปที่ ก.24 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 16 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร

รูปที่ ก.25 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 ไมโครเมตร



รูปที่ ก.26 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 ไมโครเมตร



รูปที่ ก.27 ผลการวัดความหยาบผิวชิ้นงานที่ เวลาเปิด 25 ไมโครวินาที กระแสไฟฟ้า 22 แอมป์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 ไมโครเมตร

รูปที่ ก.28 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 12 µs กระแสไฟฟ้า 10 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 µm

รูปที่ ก.29 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 12 µs กระแสไฟฟ้า 10 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 µm

รูปที่ ก.30 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 12 µs กระแสไฟฟ้า 10 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 µm

รูปที่ ก.31 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 12 µs กระแสไฟฟ้า 16 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 µm

รูปที่ ก.32 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 12 µs กระแสไฟฟ้า 16 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 µm

รูปที่ ก.33 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 12 µs กระแสไฟฟ้า 16 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 µm

รูปที่ ก.34 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 12 µs กระแสไฟฟ้า 22 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 µm

รูปที่ ก.35 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 12 µs กระแสไฟฟ้า 22 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 µm

รูปที่ ก.36 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 12 µs กระแสไฟฟ้า 22 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 µm

รูปที่ ก.37 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 18 µs กระแสไฟฟ้า 10 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 µm

รูปที่ ก.38 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 18 μs กระแสไฟฟ้า 10 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 μm

รูปที่ ก.39 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 18 μs กระแสไฟฟ้า 10 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 μm

รูปที่ ก.40 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 18 μs กระแสไฟฟ้า 16 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 μm

รูปที่ ก.41 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 18 μs กระแสไฟฟ้า 16 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 μm

รูปที่ ก.42 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 18 µs กระแสไฟฟ้า 16 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 µm

รูปที่ ก.43 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 18 µs กระแสไฟฟ้า 22 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 µm

รูปที่ ก.44 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 18 μs กระแสไฟฟ้า 22 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 μm

รูปที่ ก.45 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 18 μs กระแสไฟฟ้า 22 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 μm

รูปที่ ก.46 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 25 µs กระแสไฟฟ้า 10 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 µm

รูปที่ ก.47 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 25 µs กระแสไฟฟ้า 10 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 µm

รูปที่ ก.48 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 25 µs กระแสไฟฟ้า 10 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 µm

รูปที่ ก.49 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 25 µs กระแสไฟฟ้า 16 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 µm

รูปที่ ก.50 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 25 µs กระแสไฟฟ้า 16 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 µm

รูปที่ ก.51 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 25 µs กระแสไฟฟ้า 16 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 µm

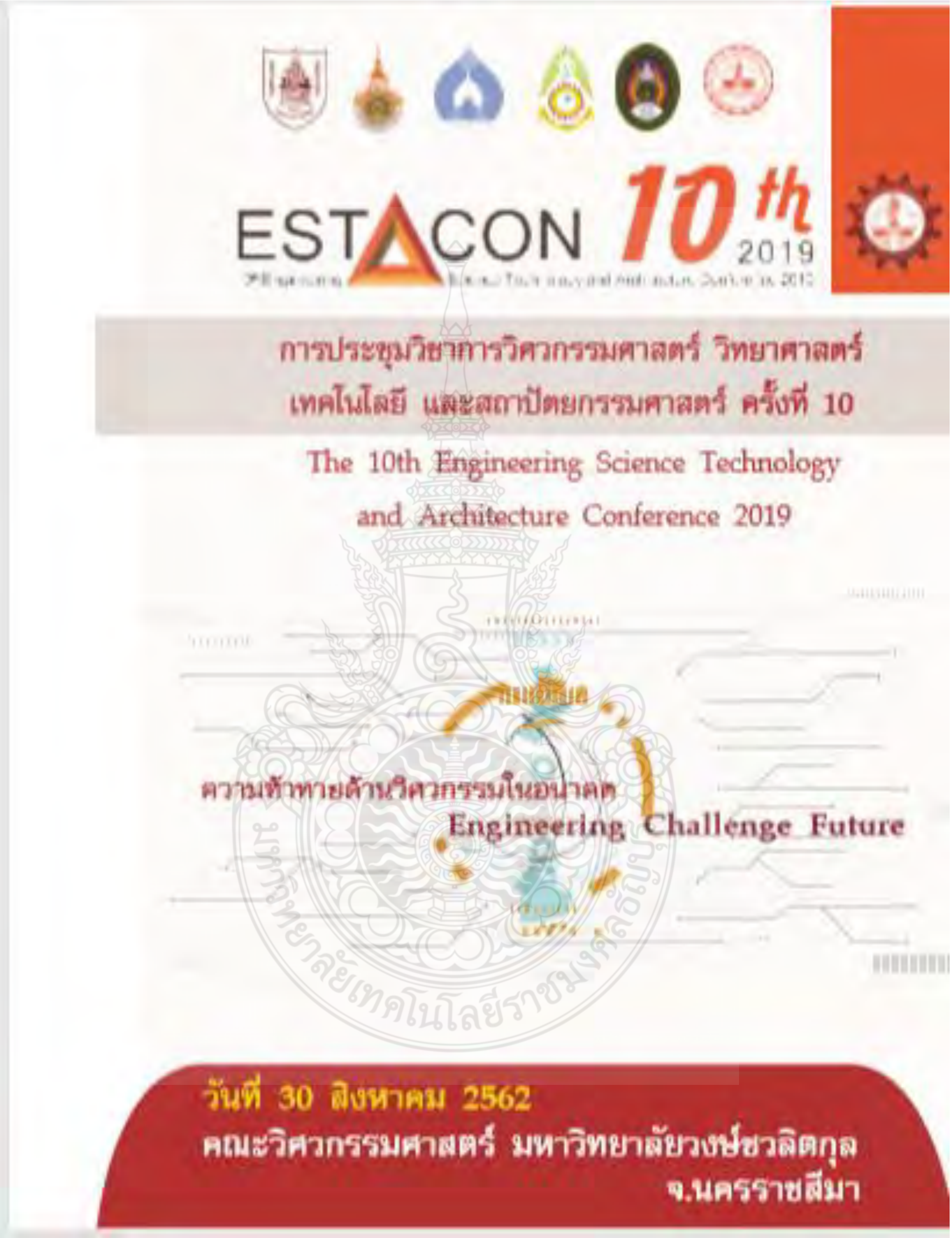
รูปที่ ก.52 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 25 µs กระแสไฟฟ้า 22 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 5 µm

รูปที่ ก.53 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 25 µs กระแสไฟฟ้า 22 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 10 µm

รูปที่ ก.54 ผลการวัดค่าความแข็งชิ้นงานที่ตัดเจาะด้วยกระแสไฟฟ้า เวลาเปิด 25 µs กระแสไฟฟ้า 22 A ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด 15 µm

ภาคผนวก ข

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่


ESTACON 10th 2019
การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์
เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 10
The 10th Engineering Science Technology
and Architecture Conference 2019
ความท้าทายด้านวิศวกรรมในอนาคต
Engineering Challenge Future
วันที่ 30 สิงหาคม 2562
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
จ.นครราชสีมา

ESTACON 10th

บทความวิจัยแบบโปสเตอร์ กลุ่มวิศวกรรมเครื่องกล

ME24	ศึกษาและออกแบบเครื่องตัดท่อนพันธุ์และสับย่อยต้นมันสำปะหลัง	319
ME25	ศึกษาและออกแบบพัฒนาเครื่องผสมอาหารสุกรแบบถังนอน	328

บทความวิจัยแบบบรรยาย กลุ่มวิศวกรรมอุตสาหการและสถาปัตยกรรมศาสตร์

IE&AR07	พอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตรีไซเคิล/พอลิบิวทิลีนเทเรฟทาเลต: สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา	335
IE&AR09	อิทธิพลความเร็วรอบเครื่องสลัดน้ำมันออกจากกล้วยฉาบต่อน้ำหนักที่ลดลงของกล้วยฉาบ	342
IE&AR10	พอลิเมอร์ผสมรีไซเคิลพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต/เทอร์โมพลาสติก พอลิเอสเทอร์อีลาสโตเมอร์: สมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยา	349
IE&AR12	การพัฒนาต้นแบบในการจัดเส้นทางในการขนส่งวัคซีนที่เหมาะสม กรณีศึกษา: เขตสุขภาพที่ 9	354
IE&AR13	การศึกษาอิทธิพลของ[illegible]ที่มีผลต่อการ[illegible]เหล็กกล้าไร้สนิม SUS420	362
IE&AR15	การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล สำหรับการสั่งน้ำเกลือของหอผู้ป่วยในที่เหมาะสม	369
IE&AR16	ปัจจัยที่ส่งเสริมศักยภาพการแข่งขันของธุรกิจการขนส่งพัสดุด่วนสำหรับสินค้าแฟชั่น ของประเทศไทย	376
IE&AR17	การจัดตารางการผลิตแบบไหลที่มีความยืดหยุ่น ของงานที่มีหลายขั้นตอนการผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่มีประสิทธิภาพแตกต่างกัน	383
IE&AR18	การออกแบบตารางเวลาการเดินรถขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา โดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์	390
IE&AR19	อิทธิพลปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าต่อวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ NAK80	396
IE&AR20	อิทธิพลกระแสเชื่อมอาร์คทังสเตนแก๊สคลุมต่อสมบัติรอยต่อท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L และท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316	402
IE&AR21	การประยุกต์ใช้ตัวแบบการจัดเส้นทางสำหรับพนักงานขายเพื่อจัดเส้นทางขนส่งยาและเวชภัณฑ์	414
IE&AR23	การศึกษาอิทธิพลของวิธีการหล่อเย็นที่มีผลต่องานกัดเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304	424
IE&AR24	การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มอัตราการกำจัดเศษในงานกัดวัสดุเหล็กคาร์บอนสูง S50C ด้วยการออกแบบการทดลอง	432
IE&AR25	การปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความสูญเปล่าในขั้นตอนการบรรจุ กรณีศึกษา : บริษัทผู้ผลิตและส่งออกกุ้งแปรรูปแช่เยือกแข็ง	441
IE&AR26	การประเมินภาระงานของการทำงานในสำนักงาน กรณีศึกษา พนักงานในสำนักงานมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง	447
IE&AR27	การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในการใช้เครื่องมือที่ใช้มือจับ กรณีศึกษา งานฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรม	456
IE&AR28	การปรับปรุงงานด้วยวิธีทางการยศาสตร์ในการปฏิบัติงานของพนักงาน กรณีศึกษา สำนักงานคณะวิศวกรรมศาสตร์	465
IE&AR29	การพัฒนาอุปกรณ์ช่วยในการนั่งทอเสื่อกกด้วยวิธีทางการยศาสตร์	472
IE&AR31	การศึกษาสมบัติของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากไกลโคไลซิสของ PET	481
IE&AR32	การจัดการพลังงานของระบบการทำความเย็นในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง	488
IE&AR33	ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบคืนไฟที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล	497
IE&AR34	การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมโดยการจัดสมดุลสายการผลิต	507
IE&AR35	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาคาร ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ปีการศึกษา 2558 และ 2559	514
IE&AR36	อิทธิพลของอุณหภูมิ[illegible]ในกระบวนการหล่อ[illegible]	523

อิทธิพลปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าต่อวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ NAK80

The Influence of Electrical Discharge Machining Process Parameters to NAK80 Mold Steels

วัชรพร สังฆมณี และ ชัยยะ ปราณีตพลกรัง

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110
* E-mail: Watcharapom_s@mail.rmutt.ac.th , 02 549 3440, 0 2549 3482

บทคัดย่อ

เหล็ก NAK80 เป็นวัสดุที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ มีคุณสมบัติที่มีความแข็งแรงสูง ทนความต้านทานต่อการสึกหรอในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง และถูกนำมาใช้ในงานเป็นวัสดุที่ใช้ผลิตแม่พิมพ์พลาสติก การตัดเฉือนวัสดุชนิดนี้ทำได้ยากเนื่องจากมีความแข็งสูง โดยทั่วไปการตัดเฉือนจะใช้กระบวนการตัดเจาะด้วยไฟฟ้า (Electrical Discharge Machine : EDM) แต่เนื่องจากอัตราการตัดเฉือนต่ำ ทำให้การผลิตชิ้นงานเป็นไปด้วยความล่าช้า ดังนั้นจึงควรมีแนวทางในการตัดเฉือนเพื่อให้ประสิทธิภาพการตัดเฉือนสูงขึ้น งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตัดเฉือนโดยใช้กระบวนการตัดเจาะด้วยไฟฟ้า สำหรับเหล็ก NAK80 กำหนดให้อิเล็กโทรดเป็นทองแดงผสม ซึ่งในการทดลองจะพิจารณาค่าปัจจัยในการตัดเฉือน เวลาเปิด (On Time) กระแสไฟฟ้า (Current) และระยะห่างการสปาร์ค (Gap) ปัจจัยในการตัดเฉือนแต่ละตัวแปรแบ่งเป็น 3 ระดับ ผลการทดลองพบว่าค่าปัจจัยในการตัดเฉือนที่ดีที่สุดคือ เวลาเปิด (On Time) 12 µs กระแสไฟฟ้า (Current) 10 A และระยะห่างการสปาร์ค (Gap) 15 µm มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 2.387µm อัตราการขจัดเนื้องาน 0.032 g/min และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดร้อยละ 10.220

คำสำคัญ: ค่าความหยาบผิว, อัตราการขจัดเนื้องาน, อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

Abstract

NAK80 steel is a newly developed material has high strength properties. Resistant to wear resistance at high temperature conditions. It was used as a material for plastic molds. Machining of this material is difficult due to its high hardness. In general, machining is performed using the Electrical Discharge Machine (EDM) but because of low cutting rates the production process is delayed. Therefore, there should be a guideline for machining to improve cutting performance. This research study of machining using Electrical Discharge Machine for NAK80 Steel. The electrode is Copper Alloy in the experiment, we will consider the following cutting factor On Time, Current and Gap each cutting factor is divided into 3 levels. The results showed that the best cutting factor On Time 12 µs, Current 10 A and Gap 15 µm. Surface roughness 2.387 µm, materials removal rate 0.032 g/min. and wear rate of electrode percentage 10.220.

Keywords: Surface Roughness (Ra), Materials Removal Rate (MRR), Electrode Wear Rate (EWR)

1. บทนำ

ในปัจจุบันงานอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์พลาสติก ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ส่วนใหญ่การแปรรูปจะใช้ปฏิกิริยาทางความร้อนเป็นการจ่ายประจุไฟฟ้าในการสปาร์ค ซึ่งจะถูกกระทำผ่านตัวนำไฟฟ้าที่เรียกว่าอิเล็กโทรด เป็นตัวควบคุมการกัดเซาะชิ้นงาน ซึ่งจะกระทำภายใต้ของเหลวที่เป็นฉนวน เรียกว่าไดอิเล็กทริก [1] ทำหน้าที่เป็นตัวระบายความร้อนให้กับชิ้นงาน และขจัดเนื้องานที่ถูกหลอมเหลวออกไป กระบวนการนี้เป็นการกัดเซาะด้วยประจุไฟฟ้า เหมาะสำหรับงานที่มีความแข็งสูง และงานที่มีลักษณะรูปร่างที่ซับซ้อน ซึ่งกระบวนวิธีในการตัดเฉือนที่ใช้คมตัดหรือเครื่องมือตัดนั้นจะทำได้ยาก [2] ในกระบวนการ EDM จะทำการศึกษาอิทธิพลปัจจัยของกระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้าต่อวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ NAK80 โดยจะทำการวัดค่าความหยาบผิว Ra อัตราการขจัดเนื้องาน MRR และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด EWR [3] ในการผลิตแม่พิมพ์พลาสติก การปรับปรุงคุณภาพของพื้นผิวสำหรับงานมีความสำคัญ แต่ในการทำงานจะใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นการศึกษางานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ EDM

2. ทฤษฎีการกัดขึ้นรูปโลหะด้วยไฟฟ้า

การกัดขึ้นรูปโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นเทคนิคที่ควบคุมการกัดขึ้นรูปโลหะโดยการสปาร์คของกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวกัดเซาะชิ้นงาน โดยให้เครื่องมือกัดเซาะหรืออิเล็กโทรดมีรูปร่างตรงกันข้ามกับชิ้นงาน [4] อิเล็กโทรดทำขึ้นมาจากวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยปกติ จะใช้ทองแดง แกรไฟต์ หรือโลหะผสม ในขณะปฏิบัติงาน อิเล็กโทรดและชิ้นงานจะจมอยู่ในของเหลว [5] ที่เป็นฉนวน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้น้ำมัน การสปาร์คของกระแสไฟฟ้า จะมีกลไกที่เรียกว่าเซอร์โว Servo จะเป็นตัวรักษาระยะห่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานให้มีค่าความละเอียดถึง ±0.002 mm เพื่อป้องกันไม่ให้อิเล็กโทรดและชิ้นงานสัมผัสกัน [6] กระแสไฟฟ้าตรงแรงเคลื่อนต่ำและแรงดันสูงจะถูกปล่อยให้กับอิเล็กโทรด แรงกระตุ้นทางไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นประกายไฟสปาร์คขึ้นระหว่างช่องว่างของอิเล็กโทรดกับชิ้นงานความร้อนจะเพิ่มมากขึ้นในพื้นที่ที่จำกัดของการสปาร์คเป็นผลทำให้ชิ้นงานเกิดการหลอมละลายและอนุภาคเล็กๆ หรือโลหะที่เกิดการหลอมละลาย จะถูกกำจัดออกจากผิวชิ้นงาน [8] โดยของเหลวที่เป็นฉนวนซึ่งอยู่บริเวณรอบๆ เกิดการดิสชาร์จ จะระเหยและแยกตัวออกเป็นความร้อนที่เกิดจากการสปาร์คของเหลวที่เป็นฉนวนจะต้องมีการไหลเวียนอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้อนุภาคของโลหะไหลออกไปตามของเหลวและยังช่วยควบคุมความร้อนอันเกิดจากการสปาร์คอีกด้วย [7-11]

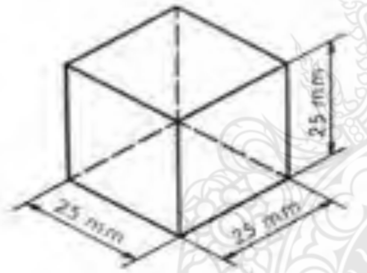
3. วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้วัสดุที่ใช้ คือ เหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80 ขนาด 25 × 25 × 25 mm แสดงดังรูปที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าแม่พิมพ์ แสดงดังตารางที่ 1 นับเป็นวัสดุชนิดใหม่ที่ได้รับความนิยมนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น การทำเครื่องมือชิ้นส่วนในงานขึ้นรูปต่างๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่น เช่น มีความเหนียวแกร่งที่เยี่ยมลดความเสี่ยงต่อความเสียหายและการบิดงอที่ผ่านจากกระบวนการชุบแข็ง มีความทนทานสูง นำมากัดเจาะด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้าผ่านแท่งอิเล็กโทรดโดยใช้อิเล็กโทรดทองแดงผสม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 × 20 mm แสดงดังรูปที่ 2 โดยใช้เครื่อง EDM ยี่ห้อ CHMER EDM รุ่น CMA 64 C ในการทดลองงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3 กัดชิ้นงานเป็นหลุมลึก 10 mm โดยกำหนดตัวแปรจำนวน 3 ตัวแปร คือ เวลาเปิด

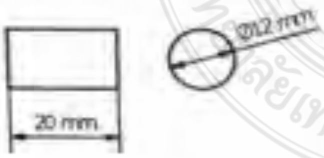
กระแสไฟฟ้า และระยะห่างการสปาร์ค แต่ละตัวแปรแบ่งเป็น 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งแต่ละการทดลองมีการทำซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ได้ หลังจากทำการสปาร์คชิ้นงานแล้ว จะนำชิ้นงานมาทำการวัดค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ310 แสดงดังรูปที่ 4 และนำค่าน้ำหนักของชิ้นงานกับอิเล็กโทรดที่ได้จากการชั่งทั้งก่อนและหลังการทดลอง นำมาคำนวนหาค่าอัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าแม่พิมพ์ [12]

เหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80 (%)						
C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Al
0.15	0.30	1.5	1.9	1	3	1



รูปที่ 1 แสดงขนาดชิ้นงานเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80



รูปที่ 2 แสดงขนาดอิเล็กโทรดทองแดงผสม

ตารางที่ 2 แสดงระดับของตัวแปรในการทดลอง

ระดับของปัจจัย	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง		
	เวลาเปิด (µs)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ระยะห่างการสปาร์ค (µm)
1	12	10	5
2	18	16	10
3	25	22	15

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ควบคุมในการทดลอง

No.	Fix Parameters	Details
1	Electrode	+
2	High Voltage (V)	168
3	Off Time (µs)	37
4	Duty Factor (%)	50
5	Jump Time (Sec)	0.5
6	Working Time (Sec)	0.5

รูปที่ 3 เครื่อง EDM ยี่ห้อ CHMER EDM รุ่น CMA 64 C

รูปที่ 4 เครื่องวัดความหยาบผิว Mitutoyo รุ่น SJ310

การวิเคราะห์และประเมินผลการทดลอง สามารถเปรียบเทียบในแต่ละปัจจัยและเงื่อนไขที่กำหนดจากการศึกษาหาความหยาบผิวเฉลี่ย อัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

การวัดค่าความหยาบผิว ค่าความหยาบผิววัดได้จากผนังรูชิ้นงานหลังการทดลอง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย แสดงดังสมการที่ 1 การวัดคุณภาพผิวงานในรูปของความหยาบผิวเฉลี่ยเป็นการวัดร่องรอยพื้นผิววัสดุชิ้นงานเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก NAK80 ที่เกิดจากการกัดเซาะด้วยประจุไฟฟ้า โดยทำการวัดด้วยเครื่องมือวัดความหยาบผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ 310 โดยในการวัดชิ้นงานหนึ่งชิ้นจะทำการวัดในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 3 ตำแหน่ง แล้วจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ยและทำการบันทึกผล

$$Ra = \frac{Ra_1 + Ra_2 + Ra_3}{3} \quad (1)$$

การวัดอัตราการขจัดเนื้องาน อัตราการขจัดเนื้องานสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักชิ้นงานที่สูญเสียไปหารหน่วยเวลาที่ใช้ แสดงดังสมการที่ 2 ซึ่งในการทดลองนี้สามารถบันทึกระยะเวลาในการทดลองได้จากจอภาพแสดงการทำงานของเครื่องกัดเซาะด้วยประจุไฟฟ้า

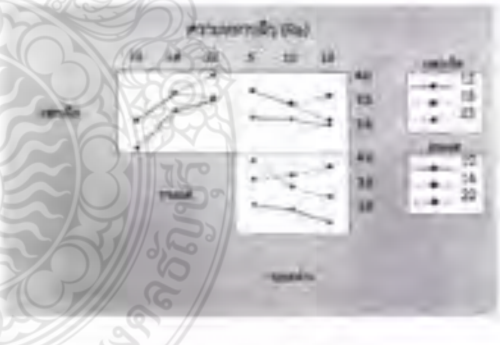
$$MRR = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นงานหลังการทดลอง (g)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการทดลอง (min)}} \quad (2)$$

การวัดอัตราการสึกหรอของแท่งอิเล็กโทรด อัตราการสึกหรออิเล็กโทรดสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของแท่งอิเล็กโทรดที่สูญเสียไปหารด้วยน้ำหนักชิ้นงานที่สูญเสียไป แล้วเอาไปคูณ 100 แสดงดังสมการที่ 3

$$EWR = \frac{\text{น้ำหนักอิเล็กโทรดหลังการทดลอง (g)}}{\text{น้ำหนักชิ้นงานหลังการทดลอง (g)}} \times 100 \quad (3)$$

4. ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรตาม ประกอบไปด้วย ความหยาบผิว อัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย เวลาเปิด กระแสไฟฟ้า และระยะห่างการสปาร์ค ในงานเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK80 เพื่อหาค่าตัวแปรในการกัดเซาะด้วยประจุไฟฟ้าที่ให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด

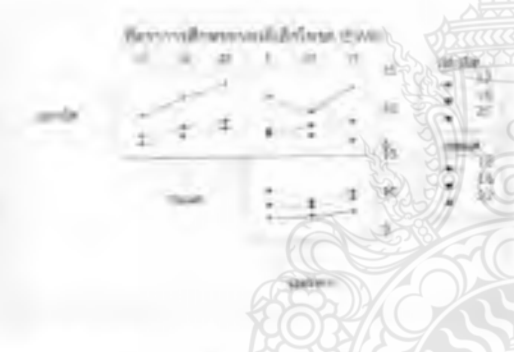


รูปที่ 5 ความหยาบผิว (Ra)

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ เวลาเปิด 12 µs , กระแสไฟฟ้า 10 A และระยะห่างการสปาร์ค 15 µm ให้ค่าความหยาบผิว เฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 2.387 µm

รูปที่ 6 อัตราการขจัดเนื้องาน (MRR)

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ เวลาเปิด 25 µs , กระแสไฟฟ้า 22 A และ ระยะห่างการสปาร์ค 5 µm ให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุดอยู่ที่ 0.148 g/min



รูปที่ 7 อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR)

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่เวลาเปิด 25 µs , กระแสไฟฟ้า 10 A และ ระยะห่างการสปาร์ค 10 µm ให้ค่าอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำสุดอยู่ที่ ร้อยละ 5.814

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยอิทธิพลปัจจัยของกระบวนการคัดเฉือนด้วยไฟฟ้าต่อวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ NAK80 เพื่อหาค่าตัวแปรในการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าชิ้นงานที่ให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด โดยการกำหนดปัจจัยในการทดลองจำนวน 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ เวลาเปิด กระแสไฟฟ้า และระยะห่างการสปาร์ค ผลการทดลองสรุปได้ว่าค่าปัจจัยในการคัดเฉือนที่ดีที่สุดคือ เวลาเปิด 12 µs กระแสไฟฟ้า 10 A และระยะห่างการสปาร์ค 15 µm มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 2.387 µm อัตราการขจัดเนื้องาน 0.032 g/min และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดร้อยละ 10.220

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Yusuf, K., Selcuk, H. and Mevlut, K. 2006. An experimental study for determination of the effects of machining parameters on surface roughness in electrical discharge machining (EDM) , Springer-Verlag London Limited, 28: 1116–1121

[2] Salonitis, K., Stournaras A., Stavropoulos, P. And Chryssolouris, G. 2007. Thermal modeling of the material removal rate and surface roughness for die-sinking EDM, Springer-Verlag London Limited. DOI 10.1007/s00170-007-1327-y

[3] Klim, K., Vasilik, I., Manchk, K. and Stergiu, M. 2006. EDM electrode manufacture using rapid tooling: a review. Springer Science+Business Media, 41: 2522-2535

[4] W. König, D.F. Dauw, G. Levy, U. Panten 1988. EDM-future steps towards the machining of ceramics. Ann. CIRP, 37 (2) (1988) pp. 623–631

[5] H.C. Tsai, B.H. Yan, F.Y. Huang. 2003. EDM performance of Cr/Cu-based composite electrodes. Int. J. Mach. Tools Manuf., 43 (3) (2003) pp. 245–252

[6] E.C. Jameson 2001. Description and development of electrical discharge machining (EDM). Electrical Discharge Machining, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan (2001): p.12

[7] Norliana Mohd Abbas, Darius G. Solomon, Md. Fuad Bahari. A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM). Teknologi Universiti, Malaysia, November 2006

[8] A.L. Livshits. 1960. Introduction. Electro-erosion Machining of Metals, Department of Scientific & Industrial Research, Butterworth & Co. London (1960)

[9] Roy, R.K. 2001. Design of Experiments Using the Taguchi Approach 16 Steps to Product and Process Improvement. John Wiley & Sons, New York, 2001.

[10] K.H. Ho, S.T. Newman. 2003. State of the art electrical discharge machining (EDM) , Loughborough University, U.K., June 2003

[11] วิชาญ วีรยยุทธ์.ปฏิบัติการขึ้นรูปโลหะ Metal Forming Laboratory Electrical Discharged Machine (EDM): 1-10

[12] Copyright 1980 Daido Steel Co.Ltd. NAK55 NAK80 40 HRC Pre-hard Type High Performance, High Precision Plastic Mold Steel, 1980 Daido Steel Co.Ltd

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวัชระพร สำมณี
วัน เดือน ปีเกิด	5 กุมภาพันธ์ 2534
ที่อยู่	113 ม.5 ต.วังก์พง อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77120
การศึกษา	ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการออกแบบแม่พิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ช่างยนต์) วิทยาลัยการอาชีพวังไกลกังวล
ประสบการณ์การทำงาน	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ตั้งแต่ พ.ศ.2557 ถึงปัจจุบัน
อีเมล์	Watcharaporn_s@mail.rmutt.ac.th, Wacharapornsom220@gmail.com
เบอร์โทรศัพท์	086 - 4167379