บทที่ 2

การแปรรูปโลหะด้วยกรรมวิธีอีดีเอ็ม

2.1 หลักการเบื้องต้นของอีดีเอ็ม

1. การเกิดดิสชาร์จ

กรรมวิธีดีเอ็ม เป็นกรรมวิธีซึ่งอาศัยพลังงานการเกิดการดิสชาร์จทางไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ของการเกิดการดิสชาร์จทางไฟฟ้าตามธรรมชาติที่มนุษย์รู้จักกันดีเป็นเวลานานแล้วก็คือ การเกิดฟ้าผ่า ส่วนในชีวิตประจำวัน ผลิตภัณฑ์บางอย่างที่คุ้นเคยกันดีก็อาศัยหลักการนี้เช่นเดียวกัน เช่น เครื่องเชื่อมไฟฟ้า หรือหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

ตัวอย่างของการอธิบายการเกิดการดิสชาร์จเช่น เมื่อขั้วของอีเล็คโตรดสองขั้ว ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้า ถูกนำมาไว้ในตัวกลางไฟฟ้า (dielectric) ซึ่งกระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไปและความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วอีเล็คโตรดมีค่าถึงค่าหนึ่ง สภาพความเป็นฉนวนของตัวกลางเริ่มถูกทำลาย ซึ่งเป็นจุดเริ่มของการดิสชาร์จ ดังในรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงถึงวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย และกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อน และกระแสไฟฟ้า ภายใต้สภาวะของการเกิดการดิสชาร์จ

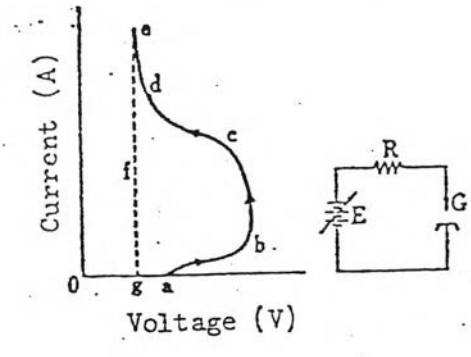
จากรูปที่ 2.1 เมื่อแหล่งจ่ายไฟ E ถูกต่อไว้กับขั้วอีเล็กโตรด G ซึ่งอยู่ในบรรยากาศ ผ่านความต้านทาน R ในขณะที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ก๊าซก็จะค่อย ๆ ถูกอิออไนซ์ (ionize) โดยอนุภาคที่มีพลังงานสูงซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติ (ตัวอย่างเช่นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น รังสีอุลตราไวโอเล็ต) ซึ่งอาจอธิบายปรากฏการณ์นี้ตามลำดับได้ดังนี้คือ

-ช่วง a-b เริ่มมีการไหลของอนุภาคที่ถูกอิออไนซ์ตามการเพิ่มขึ้นของแรงเคลื่อนไฟฟ้า

-เนื่องจากแรงเคลื่อนระหว่างอีเล็คโตรดมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ จึงเกิดการดิสชาร์จที่ไม่เสถียร (unstable discharge)ขึ้นที่จุด b ซึ่งเรียกว่า โคโรน่าดิสชาร์จ (corona discharge)

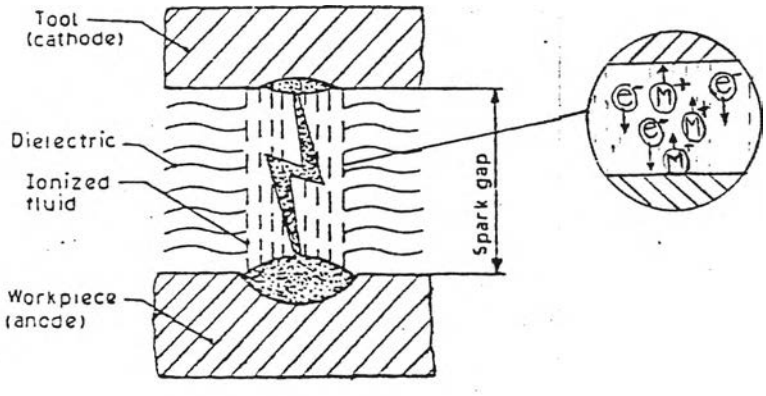
-ช่วง b-d เป็นสภาวะของสปาร์คดิสชาร์จ (spark discharge) ขณะเดียวกันอนุภาคก็มีความเร็วเพิ่มขึ้น

-ช่วง d-e ซึ่งกระแสมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการดิสชาร์จที่เสถียรซึ่งเรียกว่า อาร์คดิสชาร์จ (arc discharge)

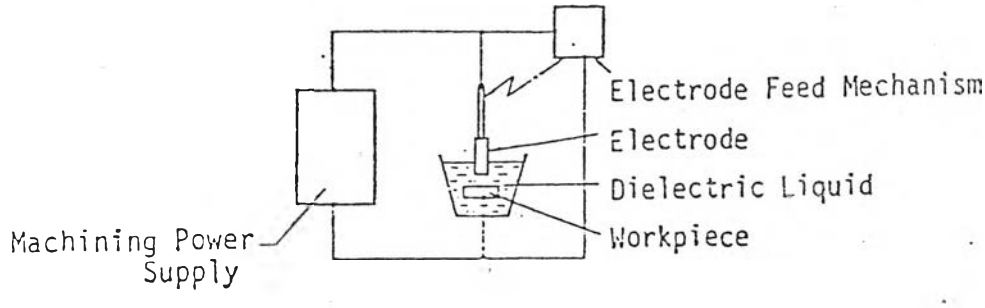


รูปที่ 2.1 แรงเคลื่อนและกระแสภายใต้สภาวะการเกิดดิสชาร์จ

จากหลักการเบื้องต้นของการเกิดการดิสชาร์จ ซึ่งได้นำมาใช้กับกรรมวิธีอีดีเอ็ม กล่าวคือ เมื่อขั้วไฟฟ้าสองขั้วคือ ชิ้นงานและอีเล็คโตรดซึ่งทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวกัดชิ้นงาน (tool electrode) ซึ่งมักเรียกสั้น ๆ ว่าอีเล็คโตรด ได้ถูกนำมาไว้ตรงข้ามกันและให้มีช่องว่างระหว่างกันในของเหลวที่เรียกว่า ไดอีเล็คตริก (dielectric) ขณะเดียวกันพลังงานไฟฟ้าซึ่งได้ถูกปล่อยอย่างเป็นจังหวะหรือพัลส์ (pulse) จากแหล่งจ่ายไฟ ด้วยค่าของแรงเคลื่อนค่าหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดการดิสชาร์จขึ้นระหว่างช่องว่างของชิ้นงาน และอีเล็คโตรด ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2 จากผลดังกล่าวทำให้ชิ้นงานได้ถูกหลอมละลายและกลายเป็นไอได้ กับทั้งมีบางส่วนซึ่งถูกทำให้พุ้งกระจายเนื่องจากผลของความดัน ซึ่งเกิดขึ้นในขณะเดียวกันด้วย และการไหลเวียนของตัวไดอีเล็คตริค ก็จะเป็นการพัดพาเอาเศษโลหะออกไปจากช่องว่างในชิ้นงาน เพื่อให้กรรมวิธีได้ดำเนินต่อไปได้ดำเนินต่อไปได้ และเนื่องจากการดิสชาร์จได้เกิดขึ้นซ้ำ ๆ กัน ช่องว่างระหว่างชิ้นงานและอีเล็คโตรดจึงกว้างขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกลไกที่จะควบคุมและป้อนอีเล็คโตรด ให้มีระยะช่องว่างกับชิ้นงานตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงแผนภาพอย่างง่ายของอีดีเอ็ม



รูปที่ 2.2 หลักการเบื้องต้นของอีดีเอ็ม



รูปที่ 2.3 แผนภาพอย่างง่ายของอีดีเอ็ม

2. วงจรแหล่งจ่ายไฟ

อุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่สำคัญส่วนหนึ่งของเครื่องอีดีเอ็มก็คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยวงจรทางไฟฟ้า ที่จะจ่ายกระแสผ่านอีเล็คโตรดและชิ้นงานอย่างเป็นจังหวะที่ต่อเนื่องกัน วงจรไฟฟ้าที่ใช้อาจจำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบวงจรอาร์-ซี (R-C circuit) หรือ แบบวงจรรีแล็กเซชั่น (relaxation circuit) และแบบวงจรสร้างพัลส์ (pulse generator circuit)

-วงจรแบบอาร์-ซี

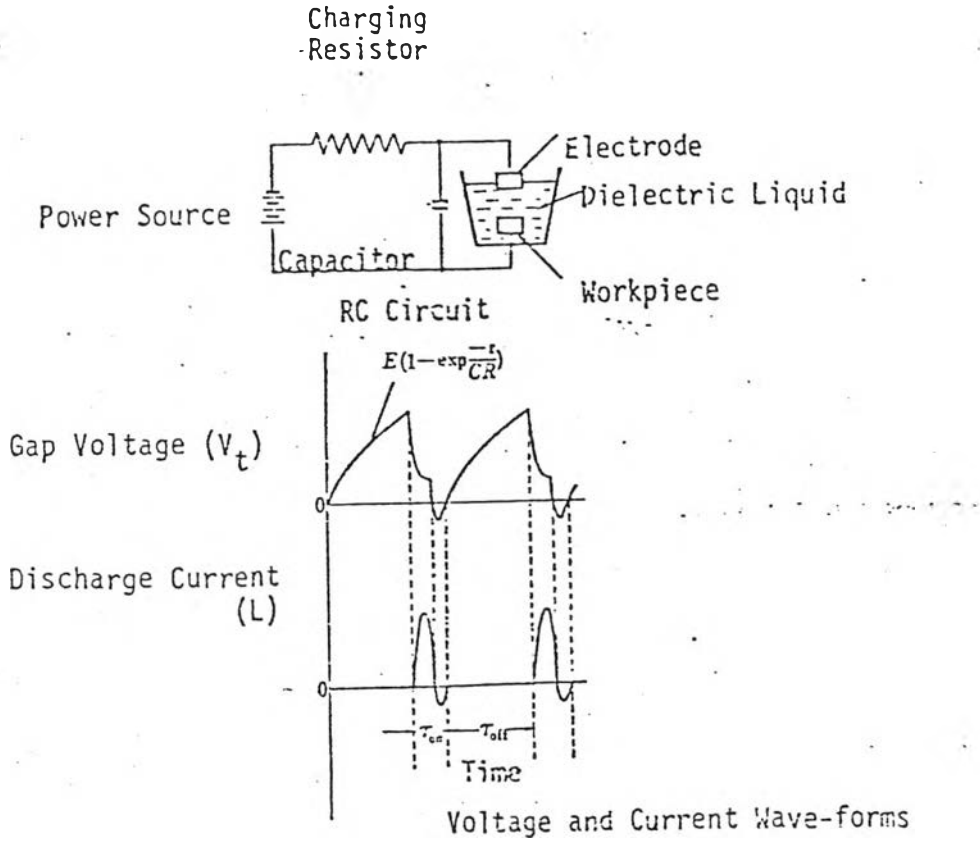
แบบพื้นฐานของวงจรชนิดนี้ดังที่แสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วยตัวความต้านทาน, คาปาซิเตอร์ และแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง และถ้ากำหนดให้ระยะห่างของอีเล็คโตรดกับชิ้นงานมีค่าคงที่แล้ว แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ช่องว่างของอีเล็คโตรด V(t) สามารถแสดงได้ คือ

$$V(t) = E\ (1-e^{-t/RC})$$

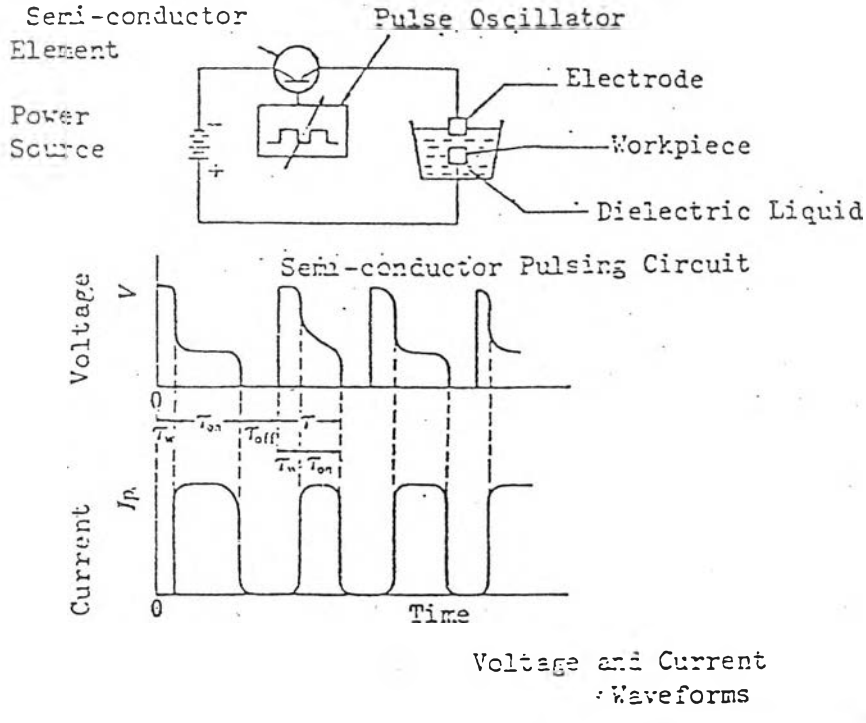
ซึ่งกราฟแสดงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสดังที่แสดงในรูปที่ 2.4

-วงจรแบบสร้างพัลส์

การพัฒนาอุปกรณ์จำพวกสารกึ่งตัวนำ เช่นทรานซิสเตอร์ ทำให้ได้มีการนำมาใช้ออกแบบวงจรแบบนี้ ซึ่งสามารถควบคุมรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสได้ง่ายขึ้น ดังในรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงแบบวงจรพื้นฐาน พร้อมทั้งรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแส



รูปที่ 2.4 วงจรแบบอาร์-ซี

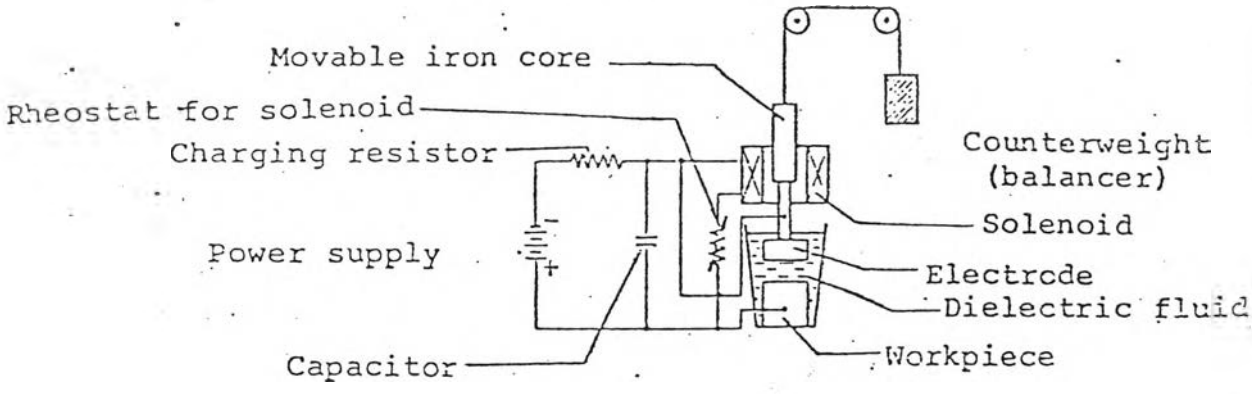


รูปที่ 2.5 วงจรแบบสร้างพัลส์

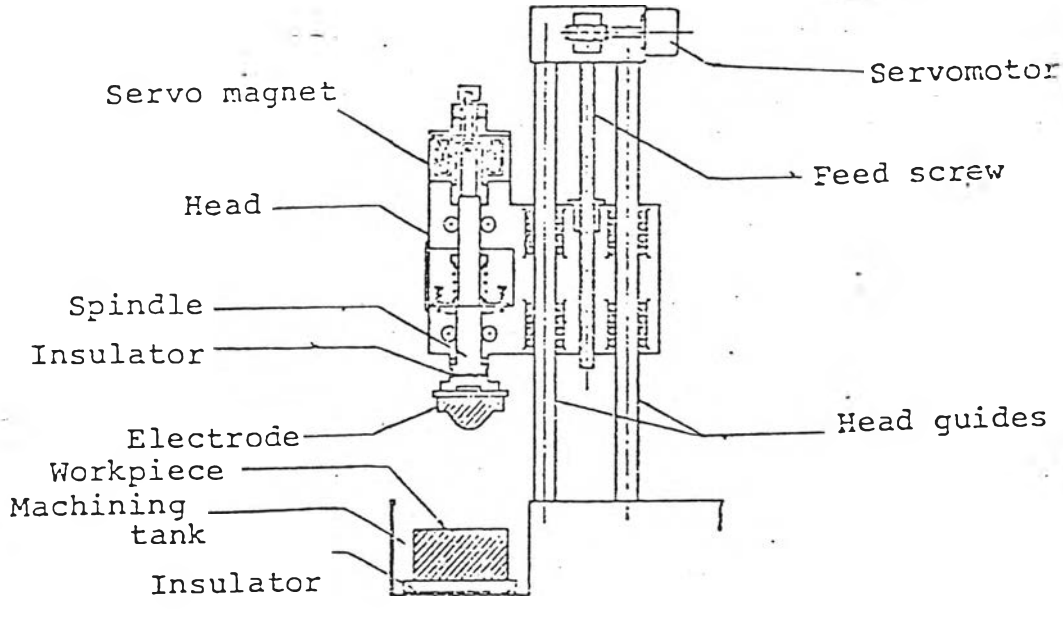
3. กลไกบ้อนอีเล็คโตรด

กลไกบ้อนอีเล็คโตรด เป็นตัวควบคุมระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างชิ้นงาน และอีเล็คโตรด ในขณะเดียวกันก็เป็นการควบคุมค่ากระแสดิสชาร์จระหว่างช่องว่างดังกล่าวตามที่กำหนด

ในระยะแรกเริ่มของการพัฒนากรรมวิธีอีดีเอ็มนั้น กลไกการควบคุมการบ้อนของอีเล็คโตรดเป็นแบบที่ใช้ขดลวดโซลินอยด์ประกอบกับน้ำหนักถ่วง ดังในลักษณะที่แสดงในรูปที่ 2.6 ต่อมาได้พัฒนาโดยการนำระบบเซอร์โวมาใช้ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 2.7 สำหรับระบบไฮดรอลิค ซึ่งได้นำมาใช้ร่วมกับระบบเซอร์โวนั้น เพื่อใช้กับงานใหญ่ ที่ต้องใช้อีเล็คโตรดซึ่งมีน้ำหนักมากโดยเฉพาะ



รูปที่ 2.6 กลไกป้อนอีเล็คโตรดแบบโซลีนอยด์



รูปที่ 2.7 กลไกป้อนอีเล็คโตรดแบบเซอร์โว

016534
i 10310502

4. สารไดอีเล็คตริก

การทำงานของอีดีเอ็มนั้น ปกติแล้วตัวอีเล็คโตรดและชิ้นงานจะอยู่ในถังของเหลวซึ่งเรียกว่า ไดอีเล็คตริก (dielectric fluid) ซึ่งมีหน้าที่ระบายความร้อน, เป็นฉนวนระหว่างตัวอิเล็คโตรดกับชิ้นงาน และเป็นตัวทำความสะอาดที่จะพัดพาเอาเศษโลหะ และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานออกจากชิ้นงาน

ลักษณะที่พึงประสงค์ของของเหลวที่จะใช้เป็นไดอีเล็คตริก คือ

-มีความหนืดต่ำ

-มีจุดติดไฟสูง และไม่ระเหยเป็นไอได้ง่าย

-มีสภาพความเป็นฉนวนสูง

-มีความสามารถในการระบายความร้อนได้ดี

-ไม่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนชิ้นงานและตัวอีเล็คโตรด

-ไม่เป็นสารพิษ และมีควันหรือไอ ที่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

-มีราคาต่ำและหาซื้อได้ง่าย

สารที่อาจใช้เป็นไดอีเล็คตริกมีหลายชนิด เช่น น้ำบริสุทธิ์, น้ำมันก๊าด, และน้ำมันหล่อลื่นชนิดต่าง ๆ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้ได้มีบริษัทผู้ผลิตของเหลวเพื่อใช้เป็นสารไดอีเล็คตริกโดยเฉพาะ

5. ตัวอีเล็คโตรด

ตัวอีเล็คโตรด คือวัตถุที่ใช้เป็นตัวแม่แบบที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดการกัดเซาะเป็นรูปร่างตามที่ต้องการ ในทางทฤษฎีแล้วตัวอีเล็คโตรดจะใช้วัสดุชนิดใดก็ได้ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามวัสดุที่จะนำมาเป็นตัวอีเล็คโตรดนั้นควรจะต้องสามารถแปรรูปได้ง่ายและมีอัตราการสึกหรอเนื่องจากการดิสชาร์จต่ำ

ปัจจุบันวัสดุที่ใช้เป็นตัวอีเล็คโตรด อาจเป็นได้ทั้งโลหะ, อโลหะ เช่น ทองแดง, ทองเหลือง, อลูมิเนียม, โลหะผสม และกราไฟต์ เป็นต้น

6. <u>พลังงานดิสชาร์จ</u> (Discharge Energy)

ถ้าพิจารณาจากแต่ละพัลส์ของการดิสชาร์จ (single pulse discharge) แล้ว โดยทั่วไปแรงเคลื่อนดิสชาร์จ (dischage voltage) และกระแสดิสชาร์จ (discharge current) ในระหว่างช่องว่างดิสชาร์จ (discharge gap) สามารถเขียนได้ดังที่แสดงในรูปที่ 2.8 และพลังงานดิสชาร์จ J_o สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้คือ

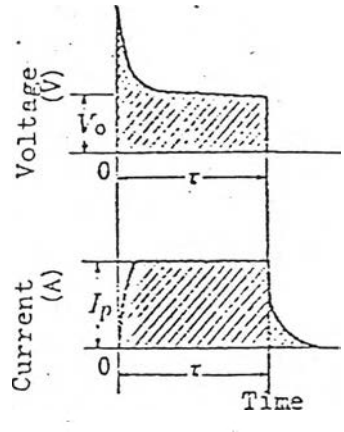
$$J_o = \int_0^{t_i} V(t)\, i(t)\, dt$$

เมื่อ J_o = พลังงานดิสชาร์จ (J)

t_i = เวลาดิสชาร์จ (μs)

$V(t)$ = แรงเคลื่อนดิสชาร์จ (V)

$i(t)$ = กระแสดิสชาร์จ (A)



<u>รูปที่ 2.8</u> รูปคลื่นของแรงเคลื่อนดิสชาร์จและกระแสดิสชาร์จ

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าแรงเคลื่อนดิสชาร์จและกระแสดิสชาร์จมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในตอนเริ่มต้นของการดิสชาร์จ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ช่องว่างดิสชาร์จมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอย่างรวดเร็วเช่นกัน ในช่วงที่มีการสูญเสียสภาพความเป็นฉนวน (breakdown) ของไดอีเล็คตริก ซึ่งเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 10^{-7} ถึง 10^{-6} วินาที ซึ่งแรงเคลื่อนมีค่าลดลง ในขณะที่กระแสมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าของกระแสในระหว่างช่วงของพัลส์แต่ละช่วงจะไม่เป็นศูนย์ในทันทีทันใดแต่จะใช้เวลาประมาณ 0.5 ถึง 1 μs ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะขององค์ประกอบของสวิทช์ซึ่งเซมิคอนดัคเตอร์ (switching semiconductor) ในวงจรที่สร้างพัลส์

เนื่องจากการเปลี่ยนลักษณะของรูปคลื่น ในตอนเริ่มต้นและสิ้นสุดของการดิสชาร์จจะถือว่ามีค่าน้อย ๆ ดังนั้นทั้งรูปคลื่นของแรงเคลื่อน และกระแสจึงอาจถือได้ว่า มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และพลังงานดิสชาร์จจึงอาจเขียนได้เป็น

$$J_o = V.I_p.t_i$$

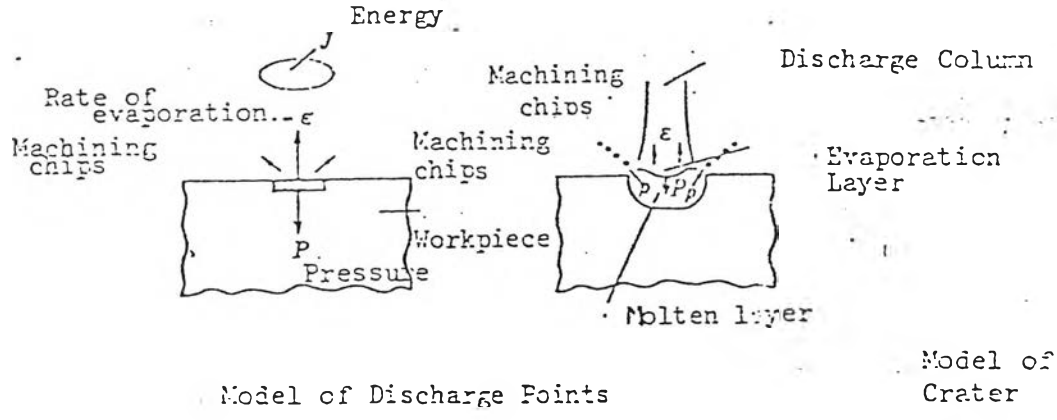
นั่นคือ

$$J_o \propto I_p.t_i$$

7. <u>ผิวงานของอีดีเอ็ม</u>

ผิวงานที่ได้จากการกัดด้วยวิธีอีดีเอ็ม จะมีลักษณะที่ประกอบไปด้วยหลุมเล็ก ๆ ที่เรียกว่า เครเตอร์ (crater) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเนื้อของโลหะได้ถูกกัดเซาะออกไป

ในตอนเริ่มต้นของการดิสชาร์จนั้น จะเกิดสนามไฟฟ้าสถิตย์ที่มีความเข้มสูงจากนั้นกลุ่มอนุภาคก็จะกลายเป็นไอด้วยอัตรา ε และถูกทำกระจายด้วยพลังงาน J ซึ่งทำให้เกิดความดันปฏิกริยา P ดังที่แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเกิดเครเตอร์

อย่างไรก็ตามการเกิดเครเตอร์ อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ (10)

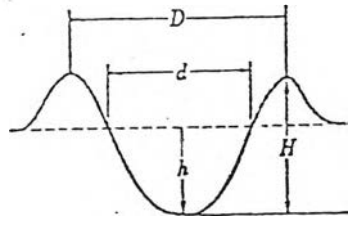
1.ขั้นตอนเริ่มต้น (initiation and breakdown)

2.ขั้นตอนการดิสชาร์จ (discharge)

3.ขั้นตอนการกัดเซาะ (erosion)

ในขั้นตอนแรกอาจมีการกัดเซาะโลหะบ้าง เนื่องจากผลของแรงทางไฟฟ้าสถิตย์แต่ก็มีจำนวนน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณเนื้อโลหะที่ถูกกัดเซาะออกทั้งหมด เนื้อโลหะของเครเตอร์ที่ถูกกัดเซาะออกส่วนใหญ่ จะเนื่องมาจากในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งความดันที่เกิดขึ้นจะทำให้เนื้อโลหะที่หลอมละลาย และบางส่วนซึ่งกลายเป็นไอได้ถูกพัดพาออกไปจากผิวของชิ้นงาน ซึ่งพบว่าประมาณ 10 - 15 % ของโลหะที่หลอมละลายทั้งหมดได้ถูกพัดพาออกไป ส่วนที่เหลือก็จะกลับแข็งตัวใหม่

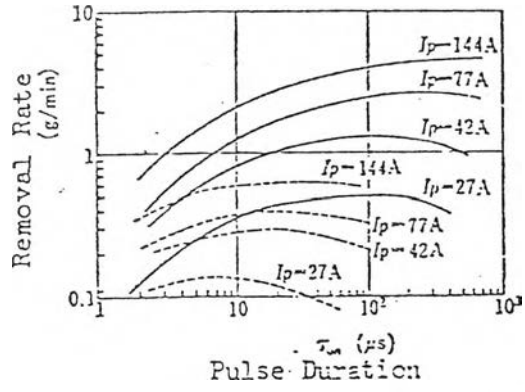
ลักษณะของเครเตอร์ที่เกิดจากการดิสชาร์จ 1 ครั้ง อาจแสดงเป็นแผนภาพอย่างง่ายได้ดังในรูปที่ 2.10 ซึ่งระยะ h คือความลึกของเครเตอร์จากผิวเดิมของชิ้นงาน (แนวเส้นประ) ส่วนที่นูนขึ้นที่บริเวณรอบ ๆ ขอบของเครเตอร์เกิดจากเนื้อโลหะที่กลับแข็งตัวใหม่



รูปที่ 2.10 ลักษณะของเครเตอร์

8. อัตราการกัด (Removal Rate)

ผลที่ต้องการจากการทำงานของอีดีเอ็ม ประการหนึ่งก็คือ การให้มีอัตราการกัดสูงสุด อัตราการกัดอาจวัดได้โดยปริมาณเนื้อโลหะของชิ้นงานที่ถูกกัดออกต่อหน่วยเวลา เช่น g/min., mm^3/min. เป็นต้น องค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่ออัตราการกัดก็คือ พลังงานดิสชาร์จ, วัสดุที่ใช้เป็นชิ้นงานและอีเล็คโตรด และการกำจัดเศษ เป็นต้น วิธีการที่ง่ายที่สุดในการเพิ่มอัตราการกัดก็คือการเพิ่มค่ากระแส แต่ในขณะเดียวกัน อัตราการกัดที่สูงขึ้น ก็มีผลต่อความหยาบของผิวงานที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม สำหรับค่ากระแสค่าหนึ่ง ๆ การเลือกค่าระยะพัลส์ (pulse duration) ที่เหมาะสม ก็จะให้ค่าอัตราการกัดที่สูงสุดได้ เช่น จากการใช้วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็ก S55C และ WC(G2) โดยการใช้ทองแดงเป็นอีเล็คโตรด สามารถเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการกัดกับระยะพัลส์ได้ ดังในรูปที่ 2.11 (3) นอกจากนี้ได้มีหลายการทดลองที่ได้พยายามหาอัตราการกัดภายใต้สภาวะการทำงานต่าง ๆ กัน (6,7,9)



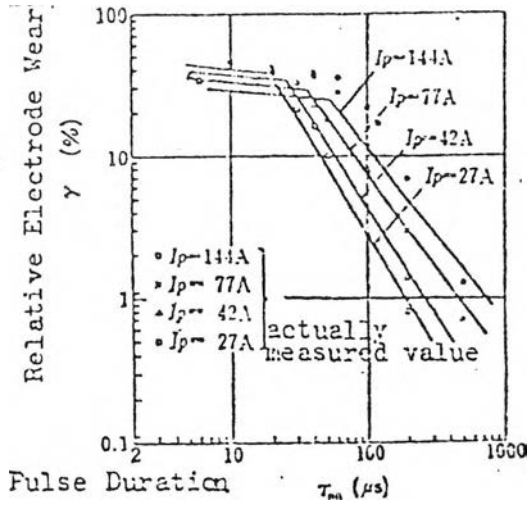
Solid line: Electrode Cu +, Workpiece: S 55 C
Dotted line:Electrode Cu -, Workpiece: WC (G2)

รูปที่ 2.11 อัตราการกัดของวัสดุชิ้นงานและกระแสที่ระยะพัลส์ต่าง ๆ

9. อัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรด

การพิจารณาอัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรด ก็เช่นเดียวกับการพิจารณาอัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรด ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรด เช่น พลังงานดิสชาร์จ, ชนิดของวัสดุอีเล็คโตรด และสภาวะของสารไดอีเล็คตริค เป็นต้น อัตราการสึกหรอของอีเลคโตรดอาจวัดได้โดยปริมาณการสึกหรอต่อหน่วยเวลา หรืออาจวัดเป็นอัตราการสึกหรอสัมพัทธ์ โดยการเปรียบเทียบการสึกหรอของชิ้นงาน ปัจจุบันพบว่าการใช้ทองแดงและกราไฟต์ เป็นวัสดุอีเล็คโตรดสามารถให้อัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรดต่ำได้ โดยการกำหนดสภาวะการทำงานให้ระยะพัลส์มีค่าสูง ๆ และกระแสต่ำ ๆ พร้อมทั้งกลับขั้วของอีเล็คโตรดและชิ้นงาน (ให้ชิ้นงานเป็นขั้วลบ และอีเล็คโตรดเป็นขั้วบวก)

จากการทดลองโดยใช้วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กกล้า S55C และใช้ทองแดงเป็นอีเล็คโตรด สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอสัมพัทธ์กับระยะพัลส์ ที่ค่ากระแสต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 2.12 (3)



รูปที่ 2.12 อัตราการสึกหรอสัมพัทธ์ของอีเล็คโตรดกับระยะพัลส์

2.2 การสร้างแบบจำลองสำหรับอีดีเอ็ม

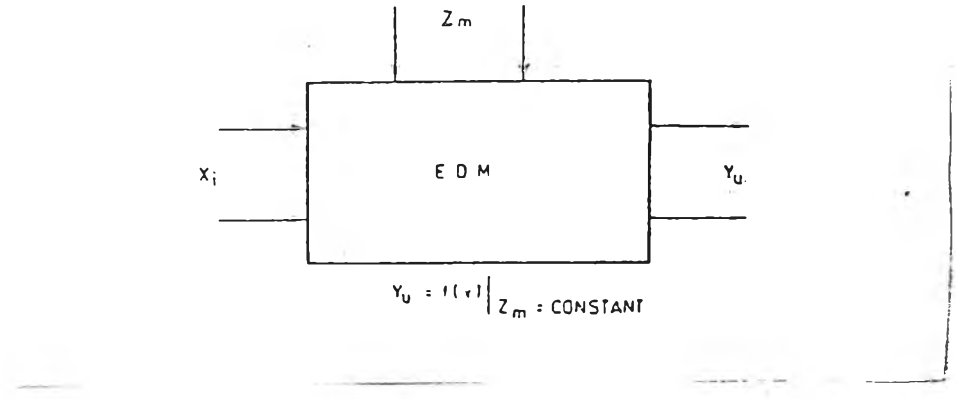
เนื่องจากกรรมวิธีอีดีเอ็ม เป็นปรากฏการณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แทน จึงอาจทำได้โดยการเก็บข้อมูลค่าของตัวแปรที่ถือว่ามีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ที่ได้จากกรรมวิธี เพื่อนำมาสร้างเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาจแสดงได้โดยแผนภาพ ดังรูปที่ 2.13

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่า

X_i คือ ปัจจัยต่างๆ ที่กำหนดให้เป็นตัวแปรซึ่งมีผลต่ออีดีเอ็ม

Z_m คือ องค์ประกอบที่กำหนดให้คงที่ตลอดการทดลอง

Y_u คือ ค่าที่วัดได้จากการทดลองหรือที่เรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (response variable)



รูปที่ 2.13 การสร้างแบบจำลองสำหรับ อีดีเอ็ม

วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ในการสร้างสมการ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของตัวแปร ก็คือการวิเคราะห์การถดถอย(regression analysis) ในหลายการทดลองพบว่ากรรมวิธีอีดีเอ็ม อาจแทนได้ด้วย สมการโพลีโนเมียลอันดับที่สอง (7,9) ซึ่งมีรูปแบบทั่วไป คือ

$$Y_u = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{i=1}^{k} b_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j} b_{ij} x_i x_j$$

ซึ่งสมการประกอบด้วยพจน์ของ linear effect, quadratic effect และ interaction effect และสัมประสิทธิ์ของการถดถอย b_0, b_i, b_{ii} และ b_{ij} อาจประมาณค่าได้โดยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (least square method)

เนื่องจากในการวิจัยนี้เป็นการทดลองซึ่งประกอบด้วยตัวแปรอิสระสองตัว ดังนั้นสมการจึงอาจเขียนได้เป็น

$$Y_u = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2$$

2.3 แบบจำลองสำหรับสภาวะที่เหมาะสม

การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสม (optimum condition) จะพิจารณาโดยกำหนดฟังก์ชั่นเป้าหมาย (objective function) เป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 ให้เวลาการกัดต่ำที่สุด

ฟังก์ชั่นเป้าหมาย

$$\text{Minimize} \quad T_t = T_r + T_f$$

$$= (m_r / m_{wr}) + (m_f / m_{wf})$$

$$m_{wr} = f(I_r, t_{ir})$$

$$m_{wf} = f(I_f, t_{if})$$

กรณีที่ 2 ให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

ฟังก์ชั่นเป้าหมาย

$$\text{Minimize} \quad C_t = C_o + C_w + C_e$$

$$C_o = k.T_t / 60$$

$$C_w = (E_r . c_{wr} + E_f . c_{wf})$$

$$E_r = e_{wr} . T_r$$

$$E_f = e_{wf} . T_f$$

$$e_{wr} = f(I_r, t_{ir})$$

$$e_{wf} = f(I_f, t_{if})$$

$$C_e = c_{er} + c_{ef}$$

เงื่อนไขขอบข่าย

1. ข้อจำกัดของเครื่องจักร

$$I_{min} \leq I_r \leq I_{max}$$

$$I_{min} \leq I_f \leq I_{max}$$

$$t_{imin} \leq t_{ir} \leq t_{imax}$$

$$t_{imin} \leq t_{if} \leq t_{imax}$$

2. ข้อจำกัดของงาน

R_{tf} $\leqslant$ ค่าที่กำหนด

สัญลักษณ์

T_t = เวลารวมที่ใช้ในการกัดชิ้นงาน (min.)

T_r = เวลาที่ใช้กัดหยาบ (min.)

T_f = เวลาที่ใช้กัดละเอียด (min.)

m = ปริมาณของชิ้นงานที่ต้องกัด (g)

m_r = ปริมาณที่กัดหยาบ (g)

m_f = ปริมาณที่กัดละเอียด (g)

m_w = อัตราการกัด (g/min.)

m_{wr} = อัตราการกัดหยาบ (g/min.)

m_{wf} = อัตราการกัดละเอียด (g/min.)

E_t = ปริมาณการสึกหรอของอีเล็คโตรด (g)

E_r = การสึกหรอของอีเล็คโตรดในช่วงกัดหยาบ (g)

E_f = การสึกหรอของอีเล็คโตรดในช่วงกัดละเอียด (g)

e_w = อัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรด (g/min.)

e_{wr} = อัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรดในช่วงกัดหยาบ (g/min.)

e_{wf} = อัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรดในช่วงกัดละเอียด (g/min.)

I = กระแส (A)

I_r = กระแสกัดหยาบ (A)

I_f = กระแสกัดละเอียด (A)

I_{min} = กระแสต่ำสุดที่เครื่องจักรปรับได้ (A)

I_{max} = กระแสสูงสุดที่เครื่องจักรปรับได้ (A)

t_i = ระยะพัลส์ (μs)

t_{ir} = ระยะพัลส์ในช่วงกัดหยาบ (μs)

t_{if} = ระยะพัลส์ในช่วงกัดละเอียด (μs)

t_{imin} = ระยะพัลส์ต่ำสุดที่เครื่องจักรปรับได้ (μs)

t_{imax} = ระยะพัลส์สูงสุดที่เครื่องจักรปรับได้ (μs)

C_t = ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)

C_o = ค่าใช้จ่ายเนื่องจากการทำงานของเครื่องจักร (บาท)

k = อัตราค่าใช้จ่ายของเครื่องจักร (บาท/ชม.)

C_w = ค่าใช้จ่ายเนื่องจากการสึกหรอของอีเล็คโตรด (บาท)

C_{wr} = ค่าใช้จ่ายจากการสึกหรอของอีเล็คโตรดในช่วงกัดหยาบ (บาท/g)

C_{wf} = ค่าใช้จ่ายจากการสึกหรอของอีเล็คโตรดในช่วงกัดละเอียด (บาท/g)

C_e = ค่าอีเล็คโตรด (บาท)

C_{er} = ค่าอีเล็คโตรดสำหรับกัดหยาบ (บาท)

C_{ef} = ค่าอีเล็คโตรดสำหรับกัดละเอียด (บาท)

จากฟังก์ชั่นเป้าหมายในกรณีที่ 1 เมื่อต้องการให้เวลากัดต่ำที่สุด ถ้ากำหนดปริมาณเนื้อโลหะ ที่ต้องกัดในช่วงการกัดหยาบและการกัดละเอียด ให้แล้ว ดังนั้นฟังก์ชั่นเป้าหมายในกรณีนี้ก็คือ การให้อัตราการกัดสูงสุดนั่นเอง ฟังก์ชั่นเป้าหมายในกรณีนี้จึงอาจเขียนได้เป็น

$$\text{Maximize} \quad m_w = f(I, t_i)$$

สำหรับในกรณีที่สอง จากฟังก์ชั่นเป้าหมาย ที่ต้องการให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด จะเห็นว่าค่าอีเล็คโตรดเป็นค่าคงที่ ส่วนค่าใช้จ่ายเนื่องจากการทำงานจะต่ำสุดก็ต่อเมื่ออัตราการกัดสูงสุด และค่าใช้จ่ายเนื่องจากการสึกหรอของอีเล็คโตรดจะต่ำที่สุด ก็คืออัตราการสึกหรอของอิเล็คโตรดต่ำที่สุด ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมจะต่ำที่สุด เมื่ออัตราส่วนของอัตราการกัดต่ออัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรดสูงสุด ฟังก์ชั่นเป้าหมายในกรณีนี้จึงอาจเขียนได้เป็น

$$\text{Maximize} \quad m_w/e_w = f(I, t_i)$$