

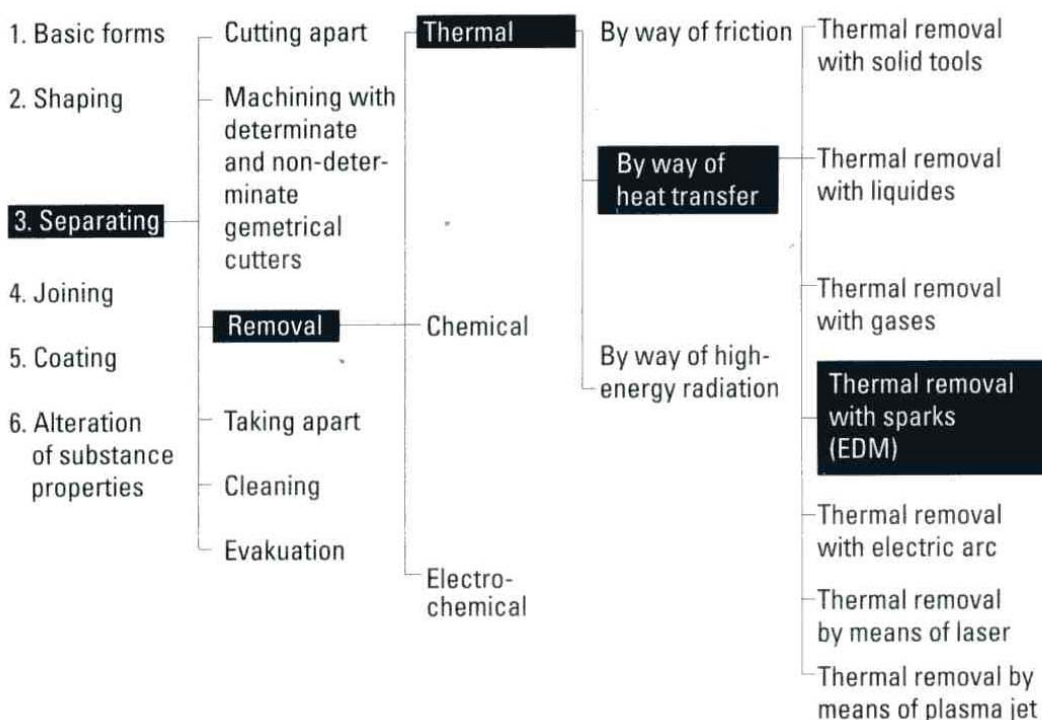
บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 ทฤษฎีการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า (Electrical Discharged Machining: EDM)

จากนิยามตามมาตรฐาน DIN 8580 ดังภาพที่ 2.1 สามารถจัดได้ว่ากระบวนการกัดกร่อนของเครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการแยกอนุภาค (Particles) ของวัสดุ โดยอาศัยความร้อนจากการอาร์คของไฟฟ้าให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) เข้าไปทำลายพันธะการจับยึดของอนุภาคออกจากเนื้อวัสดุในรูปของของแข็ง ของเหลวหรือแก๊ส การกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า (Electroerosion) ตามมาตรฐานดังกล่าวยังรวมไปถึงจ่ายประจุระหว่างขั้วสองขั้วเพื่อให้เกิดการกัดกร่อนในของเหลวตัวกลางอีกด้วย



ภาพที่ 2.1

การจำแนกนิยามของกระบวนการผลิตตามมาตรฐาน DIN 8580

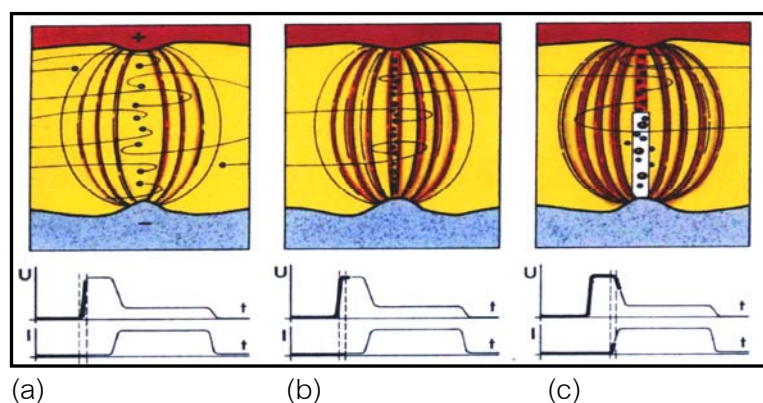
หากกล่าวถึงการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าจะทราบกันดีว่าเป็นรูปแบบของการขจัดเนื้อที่อาศัยการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ความถี่สูงทำให้เกิดการขจัดเนื้องานโดยสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับโดยชิ้นงาน (Workpiece) จะไม่สัมผัสกับอิเล็กโทรดเนื้องานที่หลุดออกไปจะมีอนุภาคขนาดเล็กอยู่ในรูปของอนุภาคของแข็งของเหลวและแก๊ส ถึงแม้ว่าอิเล็กโทรดจะอยู่ใกล้ชิ้นงานเพียงใดก็ไม่สัมผัสกับผิวชิ้นงานแต่จะมีการปล่อยประจุของกระแสไฟฟ้าผ่านของเหลวตัวกลางที่กั้นอยู่ระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน การปล่อยประจุของกระแสไฟฟ้าผ่านช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานจะทำให้เกิดการอาร์คที่มีอุณหภูมิที่สูงถึง 8,000 ถึง 12,000 องศาเซลเซียส ทำให้ผิวชิ้นงานเกิดการหลอมละลายและระเหยกลายเป็นไอ

การกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าเป็นการค้นพบโดย Joseph Priestly นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษในปี ค.ศ.1770 โดยได้ค้นพบถึงผลกระทบซึ่งทำให้โลหะสีกร่อน โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าจากอิเล็กโทรดตัวนำไฟฟ้าไปสู่ชิ้นงานที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและ เขายังพบว่ามีอาร์คเกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานและอิเล็กโทรดแต่กรรมวิธีนี้มีความเที่ยงตรงไม่มากที่จะกำหนดขอบเขตพื้นที่ของการกัดอาร์ค ต่อมาในปี 1940 ได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องกัดด้วยไฟฟ้าพื้นฐานออกมาในปี 1943 สองนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย B.R. และ N.I. Lazarenko ที่มหาวิทยาลัยมอสโคว์ได้นำออกเผยแพร่เกี่ยวกับกรรมวิธีการทางกระแสไฟฟ้า ในการกัดเซาะชิ้นงานระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองและได้มีการพัฒนาวงจรควบคุมที่เรียกกันว่าวงจร RC มาจนถึงปัจจุบัน โดยมีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมแบบอัตโนมัติที่มีแบบสั่งงานด้วยการเขียนโปรแกรมระบุเส้นทางในการเดินให้กับเครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าทำงานตามคำสั่งและในปัจจุบันได้มีการพัฒนาติดตั้งระบบการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติควบคุมการเคลื่อนที่แบบหกแกนและ ได้มีการพัฒนาการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าให้มีความก้าวหน้ามากขึ้นเกิดเป็นเครื่องจักรน้องใหม่อย่างเครื่องตัดด้วยลวดโดยการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า (Wire-EDM)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะ ส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แม่พิมพ์เป็นหลักไม่ว่าจะเป็นแม่พิมพ์โลหะหรือ แม่พิมพ์พลาสติกต้องผ่านขั้นตอนการผลิตที่ใช้กรรมวิธีการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ Sink-EDM และ Wire-EDM ทำการกัดเซาะโลหะ โดยใช้กระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานเป็นอย่างมากเหมาะสำหรับใช้ในการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน ชิ้นงานที่มีความแข็งและยากต่อการแปรรูป เช่น โลหะที่ผ่านการชุบแข็งหรือโลหะพิเศษ เช่น ทังสเตนคาร์ไบด์ เป็นต้นที่สำคัญการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้ายังสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวชิ้นงานหรือ การเก็บผิว

ละเอียดในขั้นสุดท้ายและยังสามารถประยุกต์ใช้กับวัสดุเซรามิกที่ไม่นำไฟฟ้าได้ โดยใช้วัสดุช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการอาร์คระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานเซรามิกส์ (Amir Abdullah & MohammadR, 2009)

การจัดเนื้องานจากระบวนการกัดอาร์คด้วยกระแสไฟฟ้ากระทำซ้ำเป็นวัฏจักร โดยเริ่มจากการกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดโดยไม่เกิดการไหลผ่านของกระแสระหว่างอิเล็กโทรดและผิวชิ้นงานในของเหลวตัวกลางดังภาพที่ 2.2 (a) โดยสภาวะเริ่มต้นนี้จะเป็นการสร้างช่องว่างให้เกิดขึ้นก่อนการอาร์คระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน โดยสภาวะที่สองเป็นสภาวะของการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) เพื่อปกคลุมพื้นผิวบริเวณที่จะกัดกร่อนด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงสุดคงที่โดยที่ไม่มีกระแสไหลผ่านระหว่างอิเล็กโทรดและผิวงานดังภาพที่ 2.2 (b) สภาวะที่สามเป็นสภาวะที่เกิดการลดลงของแรงดันไฟฟ้าพร้อมกับเริ่มปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านระหว่างอิเล็กโทรดกับผิวงานซึ่งทำให้เกิดเป็นสภาวะเริ่มต้นของการอาร์ค และเมื่อเกิดการอาร์คจะส่งผลให้เกิดสภาวะเริ่มต้นของการเกิดสูญญากาศตามมาดังภาพที่ 2.2 (c)

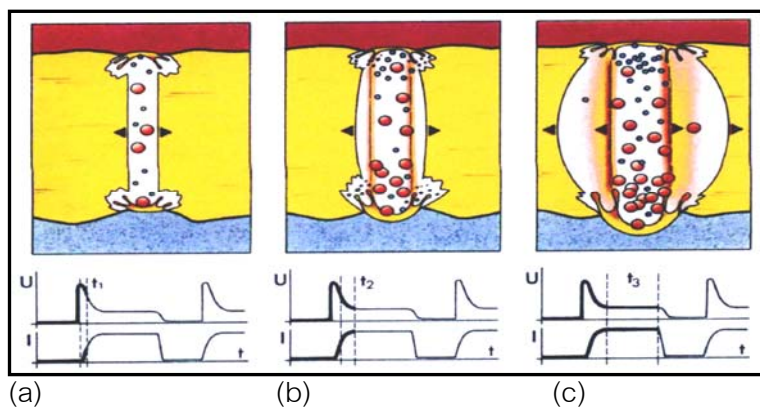


ภาพที่ 2.2

สภาวะการสร้างช่องว่างในการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า

สภาวะที่สี่เป็นสภาวะที่แรงดันไฟฟ้าสูงสุดลดต่ำลงโดยที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการอาร์คที่รุนแรง ช่องว่างสูญญากาศเพิ่มมากขึ้นดังภาพที่ 2.3 (a) สภาวะที่ห้าเป็นสภาวะของการลดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดลดต่ำสุด และกระแสเพิ่มขึ้นสูงสุดทำให้ความรุนแรงของการอาร์คเพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้เกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้นซึ่งส่งผลให้ช่องว่างสูญญากาศขยายตัวมากขึ้นดังภาพที่ 2.3 (b) สภาวะที่หกเป็นสภาวะคงที่ของกระแสและแรงดันเพื่อให้เกิดการจัดเนื้องาน หาก

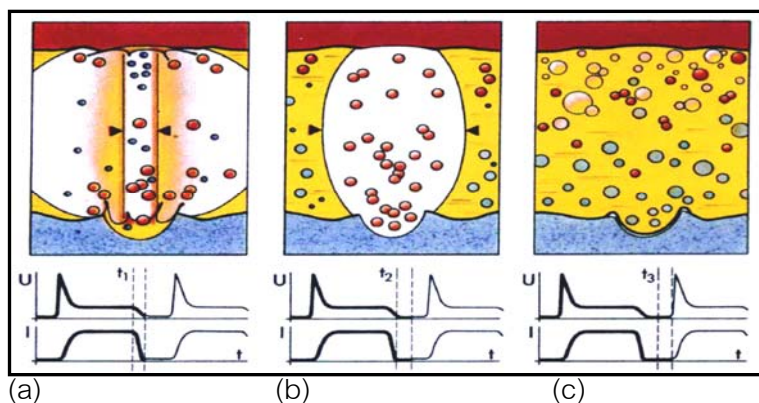
สภาวะนี้ยาวนานเกินไปจะทำให้เกิดการหลอมละลายเป็นหลุมขนาดใหญ่และลึก ขณะเดียวกัน การเกิดช่องว่างของสูญญากาศก็ขยายตัวสูงสุดที่สภาวะนี้ด้วยเช่นกันซึ่งแสดงไว้ดังภาพที่ 2.3 (c)



ภาพที่ 2.3

สภาวะการอาร์คในการกัตอาร์คด้วยไฟฟ้า

สภาวะที่เจ็ดเป็นสภาวะของการลดกระแสและแรงดัน สภาวะนี้จะทำให้เข้าสู่สภาวะสุดท้ายของการอาร์คช่องว่างสูญญากาศจะเริ่มดึงของเหลวตัวกลางที่อยู่โดยรอบเข้ามาจัดเศษเนื้องานที่หลอมเหลวออกและเป็นจุดเริ่มต้นของการหล่อเย็นดังแสดงในภาพที่ 2.4 (a) สภาวะที่แปดเป็นสภาวะที่ไม่มีทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าทำให้สิ้นสุดของการกัตอาร์ค ช่องว่างสูญญากาศจะเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วของเหลวตัวกลางเข้ามาจัดเศษเนื้องานและหล่อเย็นชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 2.4 (b) สภาวะที่เก้าเป็นสภาวะสุดท้ายและเป็นสภาวะคือกระบวนการปกคลุมพื้นผิวด้วยของเหลวตัวกลางก่อนเริ่มต้นวัฏจักรต่อไปดังภาพที่ 2.4 (c)

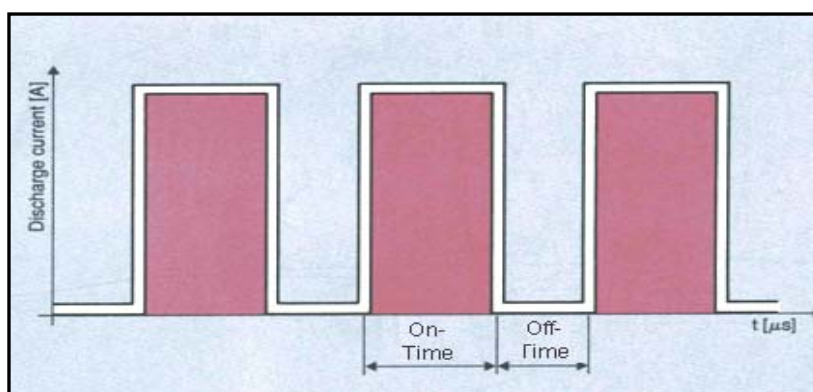


ภาพที่ 2.4

สภาวะการ Cooling ในการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า

จากวัฏจักรการทำงานดังภาพที่ 2.5 ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างเวลาปล่อยประจุกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่าเวลาเปิด (On-Time) กับเวลาหยุดจ่ายประจุกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่าเวลาปิด (Off-Time) โดยสามารถวัดประสิทธิภาพของการทำงานในหนึ่งวัฏจักร (Duty Cycle) (E.Bud Guitrau, 1997) ของการกัดอาร์คเท่ากับเวลาเปิดต่อเวลารวมในหนึ่งวัฏจักร (Total Cycle Time = On-Time + Off-time) ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$\text{Duty Cycle} = \left(\frac{\text{On - Time}}{\text{Total Cycle Time}} \right) \times 100(\%) \quad (2.1)$$



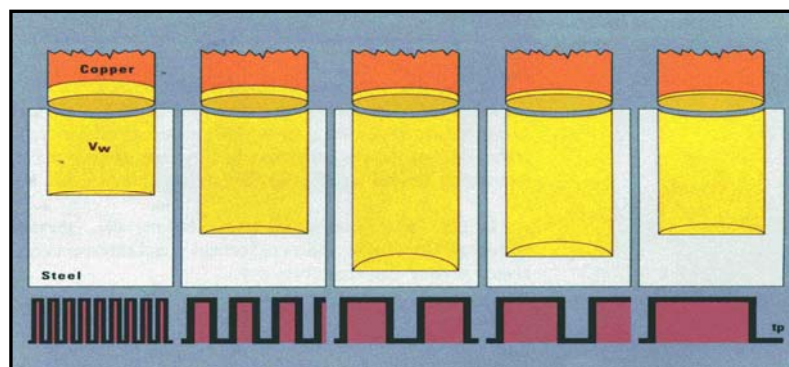
ภาพที่ 2.5

ช่วงระยะเวลาเปิด และปิดเพื่อให้เกิดการถ่ายเทประจุ

จากสมการหากลดเวลาเปิดเพียงเล็กน้อยจะทำให้ปัจจัยประสิทธิภาพสูงขึ้นแต่จะมีผลต่อการปรับสภาพแวดล้อมในการอาร์ควัสดุอิเล็กโทรด วัสดุชิ้นงาน และสภาพแวดล้อมของเหลวตัวกลางตลอดจนความสามารถในการรักษาสภาพความนำไฟฟ้า และความเสถียรในกระบวนการขจัดเนื้องานเป็นอย่างมาก (E.Bud Guitrau. 1997)

2.1.2 เวลาเปิด (On-Time)

เวลาเปิดคือช่วงเวลาที่เกิดการถ่ายเทประจุของกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการอาร์คเป็นเนื้องาน โดยการสร้างช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานจากความต้านทานของกระแส และใช้กระแสเป็นตัวกำเนิดพลังงานในการทำให้งานสำเร็จลง ระยะเวลาของการถ่ายเทประจุที่ยาวนานทำให้เกิดการหลอมละลายเป็นหลุมลึกที่มีความกว้างเกิดการหลุดร่อนของอนุภาคเป็นแอ่งขนาดใหญ่ที่มีความลึกมาก จึงส่งผลให้ผิวชิ้นงานมีความหยาบสูงกว่าระยะเวลาการถ่ายเทประจุที่สั้น นอกจากนี้เวลาเปิดที่สูงจะทำให้เกิดการหลอมละลายและแข็งตัวของผิวงานที่เรียกว่า Recasting แต่ในกรณีที่ใช้อิเล็กโทรดเป็นขั้วบวกจะทำให้การสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลงเนื่องจากเกิดการเคลือบที่ผิวอิเล็กโทรด (E.Bud Guitrau. 1997) ดังแสดงระยะเวลาเปิดกับการขจัดเนื้องานและการสึกหรอของอิเล็กโทรดในภาพที่ 2.6



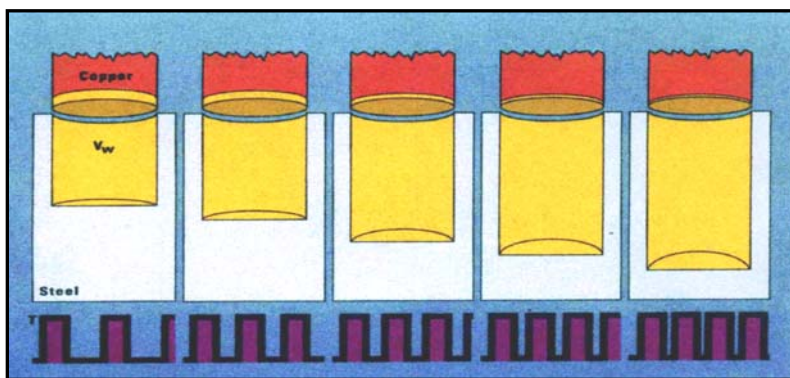
ภาพที่ 2.6

ความสัมพันธ์ของเวลาเปิด

2.1.3 เวลาปิด (Off-Time)

เวลาปิดคือช่วงเวลาที่หยุดพักการถ่ายเทประจุของกระแสไฟฟ้า ซึ่งไม่ทำให้เกิดการขจัดเนื้องาน แต่จะทำให้เกิดความเสถียรในกระบวนการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า เมื่อเวลาปิดมากขึ้น

ทำให้ความเร็วในการทำงานลดลง แต่จะทำให้เกิดการระบายความร้อน และขจัดเศษอนุภาคที่หลุดออกจากชิ้นงานได้มากขึ้นทำให้เกิดความเสถียรในการรักษาค่าความต้านทานของของเหลวตัวกลางซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการสร้างช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานเพื่อให้พร้อมในการอาร์คในวัฏจักรถัดไป (E.Bud Guitrau. 1997) แต่เวลาปิดที่ต่ำจะทำให้เกิดการขจัดเนื้องานที่สูง การสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำ เนื่องจากพลังงานต่อหน่วยเวลาขณะถ่ายเทประจุสูงในขณะที่เวลาระบายความร้อนซึ่งเป็นเวลาปิดต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7

ความสัมพันธ์ของเวลาปิดต่อการเกิดขจัดเนื้องานและการสึกหรอของอิเล็กโทรด

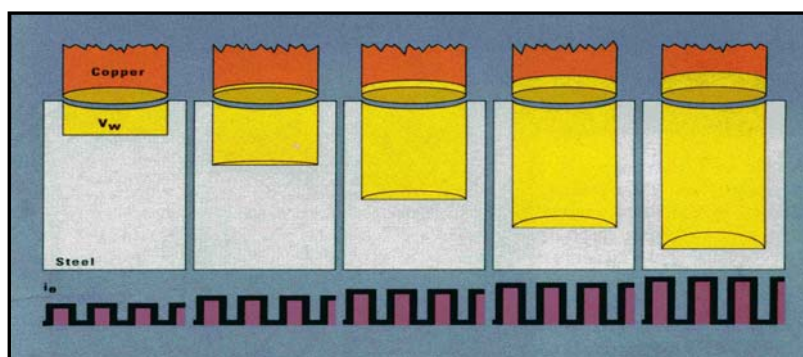
2.1.4 กระแส (Current)

กระแสไฟฟ้าคือต้นกำเนิดของพลังงานที่ใช้ในการกัดอาร์คของเครื่องจักร มีหน่วยวัดเป็นแอมแปร์ (A) จะคำนวณค่ากระแสสูงสุดที่ใช้ต่อพื้นที่หน้าตัด (Section Area: SA) สำหรับงานขจัดเนื้องานแบบหยาบจะใช้กระแสที่แอมแปร์สูงซึ่งเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการรายละเอียดดีมากนัก แต่โดยทั่วไปแล้วเครื่องกัดอาร์คไฟฟ้าจะเลือกใช้กระแสสูงสุดตามกฎ 65 แอมแปร์ต่อพื้นที่ 1 ตารางนิ้วดังสมการที่ 2.2 (E.Bud Guitrau. 1997)

$$\text{Maximum Amperage} = \text{SA} \times 65 \quad (2.2)$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าอิเล็กโทรดพื้นที่หน้าตัด 0.5 ตารางนิ้ว จะต้องใช้กระแสสูงสุดเท่ากับ $0.5 \times 65 = 32.5$ แอมแปร์ อย่างไรก็ตามกฎกระแส 65 แอมแปร์ต่อตารางนิ้ว ก็ไม่สามารถใช้ได้กับอิเล็กโทรดที่มีหน้าตัดมากได้ เนื่องจากความต้านทานของกระแส การกระจายความร้อน และความลึกของ

การเกิด Recasting บนเนื้อวัสดุ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรักษาความความต้านทานของของเหลวตัวกลางก่อนเริ่มต้นการสปาร์ค ค่ากระแสที่สูงความถี่เหมาะกับการกัดเซาะผิวที่หยาบ เนื่องจากเกิดการกระจายตัวของความร้อนทำให้เกิดการหลอมเหลวเป็นแอ่งขนาดกว้างที่มีความลึกสูง ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมกระบวนการทางความร้อนในรูปของคลายความเค้น หรือการอบอ่อนได้ เมื่อใช้กฎกระแสสูงสุดก็จำเป็นที่จะต้องปรับช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน ให้มีความกว้างมากที่สุดตาม สิ่งสำคัญคือเมื่อกระแสเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การขจัดเนื้องานและการสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มสูงขึ้นเป็นเงาตามตัวดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8

ความสัมพันธ์ของกระแสต่อการขจัดเนื้องานและการสึกหรอของอิเล็กโทรด

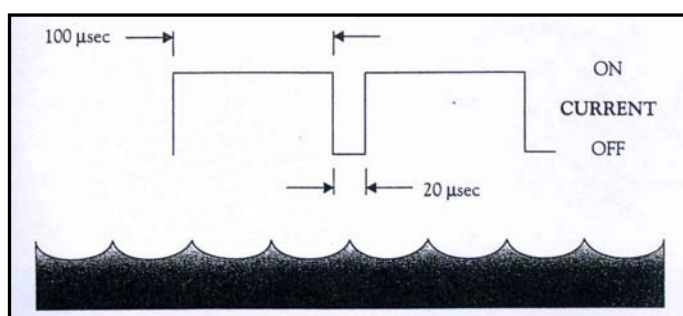
2.1.5 ความถี่ (Frequency)

ความถี่เป็นผลที่เกิดมาจากเวลาเปิด และเวลาปิดโดยความถี่แตกต่างจาก Duty Cycle ตรงที่ความถี่คำนวณจากวัฏจักรที่เกิดขึ้นต่อหน่วยเวลา (Sec) ดังสมการที่ 2.3 (E.Bud Guitrau, 1997) ซึ่งความถี่นี้จะส่งผลโดยตรงต่อความหยาบผิวชิ้นงาน

$$\text{Frequency} = \frac{1}{\text{Total Cycle Time}} \quad (2.3)$$

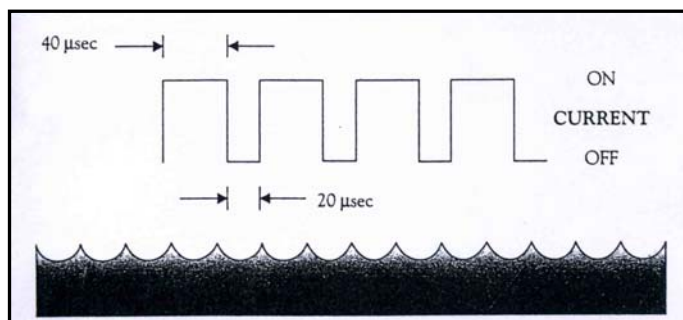
เวลาเปิดสูงเวลาปิดต่ำจะทำให้เกิดค่าความถี่ต่ำ ดังภาพที่ 2.9 ซึ่งจะทำให้ผิวชิ้นงานมีความหยาบมาก และมีการขจัดเนื้องานที่สูง เนื่องจากเวลาปล่อยประจุที่ยาวนานทำให้ความร้อนที่เกิดจากการอาร์คกระจายตัวเป็นแอ่งกว้างและลึก ตลอดจนส่งผลให้เกิดเป็นชั้นการหลอมเหลวและแข็งตัวใหม่ที่เรียกว่า Recasting ที่มีความหนาสูง ซึ่งเป็นเหตุให้บริเวณกระทบที่เกิดจากความ

ร้อน (HAZ : Heat Affected Zone) ลึกลงไปในเนื้องาน หากเวลาปิดลดต่ำลงจะทำให้เกิดความถี่ที่สูงขึ้นดังภาพที่ 2.10 ทำให้เกิดการหลอมละลายของการอาร์คเป็นแอ่งที่มีความกว้างและความลึกลดลง ซึ่งทำให้ความหนาผิวงานและความเร็วในการขจัดเนื้องานลดต่ำลง แต่อิเล็กทรอนิกส์เกิดการสั่นหรือเพิ่มมากขึ้น หากเวลาเปิดลดต่ำมากจะทำให้เกิดเป็นความถี่สูงมาก ดังภาพที่ 2.11 ซึ่งจะส่งผลให้ความหนาผิวชิ้นงานและความเร็วในการขจัดเนื้องานลดลงเป็นอย่างมาก จึงทำให้ความถี่ที่สูงจะเหมาะกับการเก็บผิวละเอียดและวัสดุงานกลุ่มคาร์ไบด์ต่างๆ



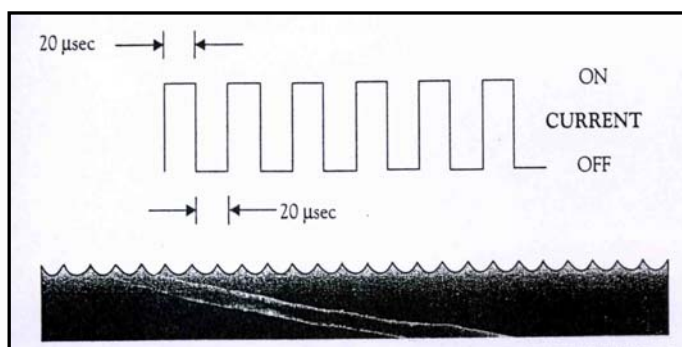
ภาพที่ 2.9

คุณภาพผิวงานที่เกิดจากความถี่ต่ำ



ภาพที่ 2.10

คุณภาพผิวงานที่เกิดจากความถี่ปานกลาง



ภาพที่ 2.11

คุณภาพผิวงานที่เกิดจากความถี่สูง

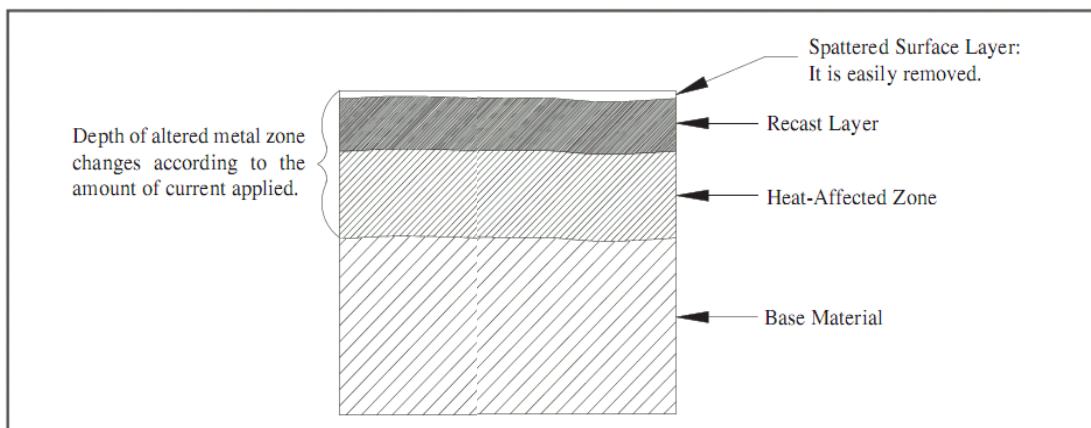
2.1.6 ของเหลวตัวกลาง (Dielectric Liquid)

ของเหลวตัวกลาง เป็นของเหลวที่กั้นระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด ของเหลวตัวกลาง ที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำกำจัดไอออนหรือที่เรียกว่าน้ำกลั่น (De - Ionized Water) และสารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) โดย ของเหลวตัวกลาง ทำหน้าที่รักษาสภาพการนำไฟฟ้าและช่วยระบายความร้อนตลอดจนขจัดอนุภาคเศษโลหะออกจากบริเวณผิวงาน

สารไฮโดรคาร์บอนระหว่างกระบวนการอาร์คจะแตกตัวกลายเป็นไฮโดรเจนซึ่งมีประจุเป็นบวก และคาร์บอนซึ่งมีประจุเป็นลบ (E.Bud Guitrau, 1997) โดยคาร์บอนจะวิ่งเข้าหาขั้วบวก ถ้าอิเล็กโทรดเป็นขั้วบวกคาร์บอนก็จะวิ่งไปจับอิเล็กโทรด ซึ่งจะช่วยลดการสึกกร่อนของอิเล็กโทรดได้ แต่ถ้าอิเล็กโทรดที่ใช้เป็นลบคาร์บอนจะวิ่งไปจับผิวงานทำให้ผิวชิ้นงานมีลักษณะเป็นสีดำคล้ำ ความแตกต่างระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนและน้ำคือ สารไฮโดรคาร์บอนมีค่าความต้านทานสูงกว่าน้ำกลั่น ดังนั้นในระบบการกัดโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าทั่วไปจึงนิยมใช้สารไฮโดรคาร์บอนเป็นของเหลวตัวกลาง เนื่องจากค่าความต้านทานที่สูงทำให้การถ่ายเทประจุเกิดขึ้นได้ยากจึงเกิดช่องว่างในการอาร์คที่ต่ำทำให้ผิวชิ้นงานมีความปราณีตและละเอียดสูง แต่การขจัดเนื้องานจะลดลง เมื่อเทียบกับน้ำกลั่นซึ่งมีความต้านทานน้อยกว่าน้ำมันทำให้การถ่ายเทประจุระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานเกิดขึ้นได้ง่าย ช่องว่างที่เกิดขึ้นในการกัดอาร์คจึงมีมากกว่าสารไฮโดรคาร์บอน เป็นผลให้อัตราการขจัดเนื้องานสูงแต่ความปราณีตจะน้อยความหยาบผิวจะสูง

จากการตรวจสอบพื้นผิวชิ้นงานที่ผ่านการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้างภาพที่ 2.12 ส่วนที่อยู่ด้านบนของชั้นหลอมสีขาวส่วนนี้เป็นผลึก (Crystallized) ที่เย็นตัวอย่างรวดเร็วจากของเหลวตัวกลาง (Dielectric Liquid) ความลึกของส่วนหลอมนี้ขึ้นอยู่กับพลังงาน, ช่วงเวลาเปิดและปิด

กรรมวิธีการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าไม่ได้เปลี่ยนผิวชิ้นงานที่เป็นโลหะเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้กับพื้นผิวอื่นได้ (Sanjeev Kumar, 2009) ชั้นพื้นผิวชั้นนี้ไม่ส่งผลต่อชิ้นงานที่เป็นโลหะ



ภาพที่ 2.12

ชั้นผิวชิ้นงานจากกรรมวิธีการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า (EDM Surface Layers)

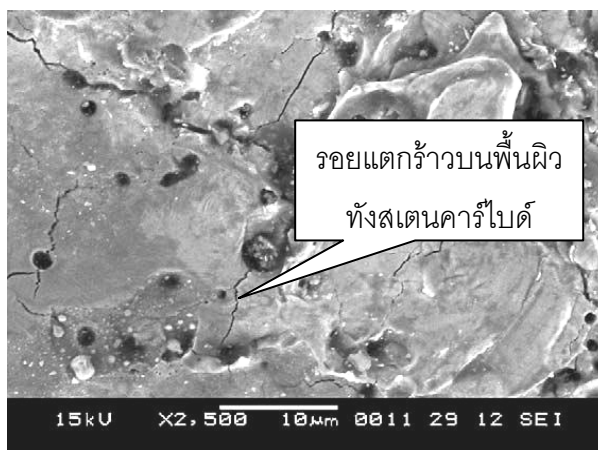
(ที่มา: Kruthetal, 1995)

ชั้นที่สองเป็นชั้นหลอมสีขาว (White Layer) เป็นชั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะในโครงสร้าง ในชั้นนี้เกิดจากการกัดอาร์คไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดกับชิ้นงานส่งผลทำให้อุณหภูมิของวัสดุทั้งสองถูกแยกออกมาด้วยความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในการอาร์คอย่างรวดเร็วซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลวหรือแก๊สแล้วเกิดการหลอมละลายรวมตัวกันระหว่างอนุภาคของวัสดุทั้งสอง จากนั้นก็จะถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยของเหลวตัวกลางจนกลายเป็นชั้นของแข็งปกคลุมอยู่บนผิวหน้าของชิ้นงานซึ่งประกอบจากโครงสร้างมาร์เทนไซต์และออสเทนไนต์หลัก แล้วถูกเปลี่ยนโครงสร้างจนกลายเป็นคาร์ไบด์ ทำให้ในชั้นหลอมสีขาวนี้เต็มไปด้วยคาร์บอนเป็นจำนวนมากซึ่งทำให้คุณสมบัติชั้นนี้มีความแข็งมากและอาจเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กตามมา

การแปรรูปด้วยกรรมวิธีการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้กับวัสดุบางชนิดมักจะเกิดรอยแตกร้าวขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังทำการกัดอาร์ค โดยเฉพาะชิ้นงานที่ผลิตขึ้นมาจากกรรมวิธีโลหะผงวิทยา อย่างไรก็ตามปัญหาหลักของการแปรรูปทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยกรรมวิธีการกัดอาร์คไฟฟ้ามักจะเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กบริเวณพื้นผิวการอาร์ค จากความร้อนที่สูงระหว่างการกัดอาร์คแต่ละครั้ง และยังถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในบริเวณพื้นที่การอาร์คระหว่างอิเล็กโตรดกับชิ้นงานด้วยของ

เหลวตัวกลาง (Kuang-YuanKung, 2007) ซึ่งในระหว่างกระบวนการกัดอาร์คจะทำให้เกิดการขยายตัวของวัสดุที่มาจาก การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเนื่องจากความร้อนส่งผลให้เกิดความเค้นภายในเนื้อวัสดุ หลังจากนั้นเมื่อถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยของเหลวตัวกลางจะทำให้เกิดการแตกร้าวในเนื้อวัสดุได้ ปัญหาลักษณะนี้มักมีความรุนแรงมากเมื่ออุณหภูมิขึ้น ๆ ลง ๆ สลับกันอยู่เสมอ (K. Furutani, 2009) อีกนัยหนึ่งเนื่องมาจากทั้งสแตนคาร์ไบด์นั้นผลิตขึ้นมาจากกรรมวิธีโลหะผงวิทยา (Powder Metallurgy) ซึ่งนำทั้งสแตนและคาร์บอนมาอัดขึ้นรูปโดยใช้โคบอลต์ (Co) เป็นตัวประสาน (Binder) เวลาที่นำชิ้นงานมาแปรรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อนโคบอลต์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าจะหลอมละลายออกไปก่อน พร้อมกับการขยายและหดตัวของอนุภาควัสดุเนื่องมาจากความร้อนเป็นผลให้เกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กบนพื้นผิวชิ้นงาน ตามภาพที่ 2.13 ซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลง

รอยแตกร้าวนี้มีขนาดเล็กมาก ซึ่งไม่สามารถมองได้ด้วยตาเปล่าจึงต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Micrograph: SEM) ในการตรวจสอบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานหลังจากการแปรรูปด้วยการกัดอาร์คไฟฟ้า ซึ่งหน่วยการวัดรอยแตกร้าวขนาดเล็กจะวัดเป็นจำนวนของรอยแตกร้าวขนาดเล็กต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งเรียกกันว่า “ความหนาแน่นของรอยแตกร้าวขนาดเล็ก” (Micro-cracks densities)



ภาพที่ 2.13

รอยแตกร้าวขนาดเล็กบนพื้นผิวบริเวณที่ทำการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าบนผิวทั้งสแตนคาร์ไบด์
(ที่มา: เอกสารอ้างอิง [Lee, 2003])

2.2 วรรณกรรมปริทรรศน์

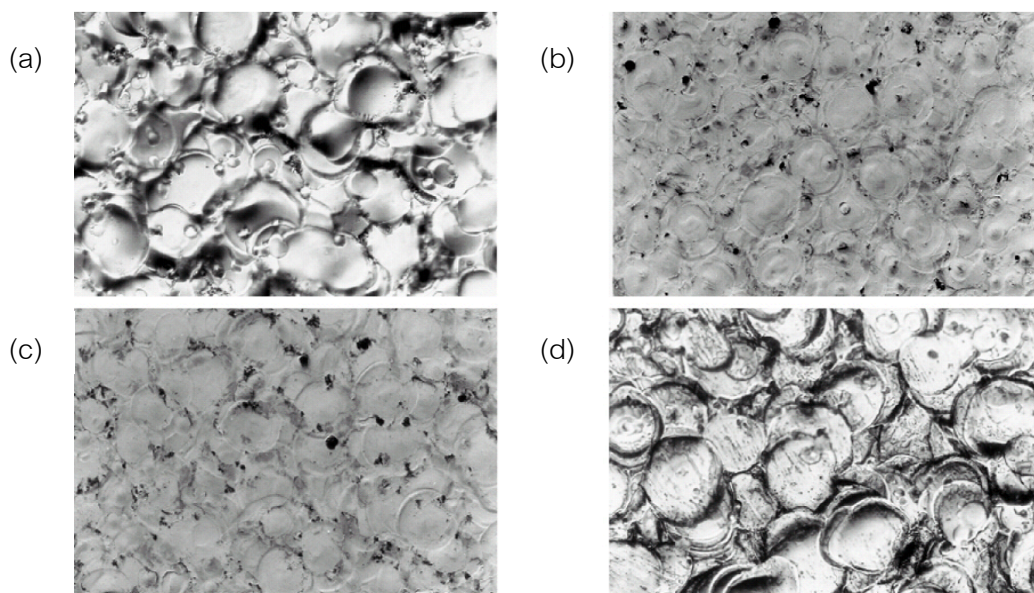
ปัจจุบันการกัดอาร์คไฟฟ้า ได้ถูกนำมาทำการปรับปรุงคุณสมบัติให้กับพื้นผิวชิ้นงาน แทนกรรมวิธีการทางความร้อนทั่วไป เพื่อเพิ่มความแข็งให้กับชิ้นงานที่เป็นวัสดุเครื่องมือตัดหรือวัสดุชิ้นงานที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ต้องการปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิว ลดปัญหาการเสียรูปร่างและขนาดระหว่างกระบวนการทางความร้อน (A. Arthur, 1996) โดยคุณสมบัติสูงจากการกัดอาร์คจะทำให้คาร์บอนแยกตัวออกจากไฮโดรคาร์บอนในของเหลวตัวกลางและ เปลี่ยนรูปเป็นคาร์ไบด์ลงบนพื้นผิวชิ้นงาน (J. P. Kruth, 1995) ระหว่างการอาร์คที่มีตัวแปรควบคุมทางไฟฟ้าได้แก่เวลาเปิด, เวลาปิด, กระแสไฟฟ้า, ปัจจัยประสิทธิภาพและรวมไปถึงอุณหภูมิของของเหลวตัวกลาง (J.D.Ayers, 1984) ที่ส่งผล กับความแข็ง, ความหยาบ, รอยแตกร้าวขนาดเล็ก, ส่วนประกอบของโครงสร้างบนพื้นผิวชิ้นงานที่เกิดจากกรรมวิธีการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าและ ยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน (Katsushi Furutani, 2003) อย่างไรก็ตาม Thomson ได้ให้ข้อเสนอแนะหลังจากที่เขาทำการทดลองชนิดของอิเล็กโทรดกับตัวแปร เวลาปิด (Pulse duration: Off-time) ว่าในการปรับปรุงพื้นผิวชิ้นงานด้วยกรรมวิธีการกัดอาร์คไฟฟ้านั้นอิเล็กโทรดทองแดงจะทำให้เกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กมากที่สุดในการแปรรูปชิ้นงาน กับช่วงเวลาปิดที่เท่ากับกับอิเล็กโทรดชนิดอื่น Soo Hiong Lee พบว่าการแปรรูปด้วยการกัดอาร์คไฟฟ้าของอิเล็กโทรดทองแดงกับชิ้นงานวัสดุ ทั้งสแตนคาร์ไบด์ไม่ทำให้ความแข็งบนพื้นผิวของวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด รวมทั้งยังมีรอยแตกร้าวขนาดเล็กเกิดขึ้นบริเวณผิวที่ทำการกัดอาร์คด้วย อย่างไรก็ตามรอยแตกนี้จะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับสภาพเงื่อนไขต่างๆ ของกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า เทคนิคอย่างหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวชิ้นงานนั้นจะใช้การหลุดกร่อนของพื้นผิวอิเล็กโทรดระหว่างการกัดอาร์ค เพื่อให้ธาตุของอิเล็กโทรดที่หลุดออกมารวมตัวกับ คาร์บอนตามหลักการข้างต้นลงบนผิวชิ้นงานอยู่ในรูปของคาร์ไบด์ โดยอิเล็กโทรดนั้นจะเป็นการนำธาตุคุณสมบัติ เช่น TiC, WC, SiC, AlC และอื่นๆมาขึ้นรูปให้ได้รูปทรงตามต้องการเช่นการอัดผงขึ้นรูป (Green Compact Electrode) หรือ (Powder Metallurgy Electrode: PM) และอิเล็กโทรดที่เป็นแท่งสำเร็จของธาตุต่างๆ (Solid Electrode) Simaoetal สรุปว่าการใช้อิเล็กโทรดอัดผงธาตุนั้นสามารถทำได้ด้วยเงื่อนไขของตัวแปรที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวชิ้นงาน และการผสมผงอนุภาคลงไปในของเหลวตัวกลาง ก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่สามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพให้กับการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า และปรับปรุงพื้นผิวชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเพิ่มคุณสมบัติในการปล่อยกระแสที่สูงระหว่างการอาร์ค ลดความเป็นฉนวนของของเหลวไดอิเล็กตริก (B.M.Schumacher, 1990) สร้างความแข็งให้กับพื้นผิว

งานและสามารถลดรอยแตกร้าวบนพื้นผิวชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Y. M. Quan, Y. H. Liu, 1995)

การปรับปรุงพื้นผิวด้วยการกัดอาร์คไฟฟ้า โดยเทคนิคการผสมผงอนุภาคในของเหลวตัวกลางนั้นใช้กันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน เช่น ลดความหยาบ ลดรอยแตกร้าวหรือหลุมเล็กบริเวณโดยรอบบนพื้นผิวงานเพิ่มคุณสมบัติการใช้งาน เช่น ด้านทานการสึกหรอและยืดอายุการใช้งาน เป็นต้น (P. Pecas and E. Henriques, 2003) โดยหลักการใช้ผงอนุภาคผสมรวมกับของเหลวตัวกลางเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาสารละลายของแข็งเติมลงในชั้นผิวโดยใช้ระยะเวลาเพียงสั้น ซึ่งในการใช้ผงอนุภาคในการผสมลงในของเหลวตัวกลางนั้น มีความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกิดการอาร์คของประจุกระแสไฟฟ้าที่สูงและความเป็นฉนวนของของเหลวตัวกลางที่ต่ำที่เป็นผลให้อัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) เพิ่ม อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ลดลง และประสิทธิภาพในการกัดอาร์คเพิ่มขึ้น ผงอนุภาคตัวนำจะทำให้เกิดการขยายตัวของช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานและลดพลังงานในการอาร์คโดยให้เกิดการแพร่กระจายของประจุกระแสไฟฟ้าทั่วบริเวณพื้นผิวชิ้นงานเป็นแบบกระจาย วิธีการผสมผงอนุภาคในของเหลวตัวกลางนี้ จะทำให้ความหนาของชั้นหลอมสีขาวน้อยและลดรอยแตกร้าวบนพื้นผิวงานส่งผลให้การต้านทานการกัดเซาะบนพื้นผิวชิ้นงานดีขึ้น (Norliana Mohd Abbas, 2007) และที่อุณหภูมิสูงผงอนุภาคของธาตุจะรวมตัวกับคาร์บอนที่มาจากไฮโดรคาร์บอนในของเหลวตัวกลางเปลี่ยนรูปเป็นคาร์ไบด์ธาตุกระจายตัวฝังอยู่บนพื้นผิวชิ้นงานทำให้ผิวที่ได้แข็งเมื่อทำการเพิ่มช่วงระยะเวลาการปล่อยประจุและจำนวนของผงอนุภาคลงในของเหลวตัวกลางเช่น ผงอนุภาคอลูมิเนียมผสมในของเหลวตัวกลาง ส่งผลให้ผิวชิ้นงานที่ได้มีค่าความหยาบผิวน้อยกว่า 0.2 ไมครอน (Kuang-YuanKung, 2007) ตามภาพที่ 2.14 โดยข้อสันนิษฐาน (Wong et al., 1998) ในเทคนิคนี้ อาจเป็นไปได้ที่สามารถทำให้ผิวชิ้นงานที่ผ่านการกัดอาร์คมีความเงาใกล้เคียงกระจกที่มาจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของผงอนุภาค คุณสมบัติความหนาแน่นในของเหลวตัวกลาง การต้านทานไฟฟ้าและการเป็นตัวนำความร้อนเป็นต้นและมีงานวิจัยอีกมากมายที่ทำการทดลองใช้ผงอนุภาคทั้งตัวนำไฟฟ้าและไม่นำไฟฟ้ามาทำการทดลอง เพื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวชิ้นงาน เช่น Shunmugam และ Philip ใช้ทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่เผาผนึกเป็นอิเล็กโทรดและผงสแตนในการปรับปรุงพื้นผิวชิ้นงานเพื่อต้านทานการสึกหรอ

Mohri et al ใช้การกัดอาร์คไฟฟ้ากับอิเล็กโทรดอัดขึ้นรูป Al-Ti เพื่อปรับปรุงพื้นผิวชิ้นงานด้วยการปรับสภาพของ TiC ลงบนชั้นผิวชิ้นงาน Tsunekawa et. ใช้ไททาเนียมอิเล็กโทรดและคาร์บอนผสมในของเหลวตัวกลางด้วยวิธีการแพร่ซึมลงบนพื้นผิวชิ้นงาน ระหว่าง

การกัดอาร์คไฟฟ้า อย่างไรก็ตามเทคนิคการนำผงอนุภาคของธาตุอื่นผสมลงในของเหลวตัวกลาง เพื่อให้เกิดการแพร่ซึมเข้าไปยังพื้นผิวชิ้นงาน เช่น Al_2O_3 , SiC, Co, และ B_4C อาจก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของเกรนและเกิดรอยแตกร้าวบนผิวชิ้นงานได้



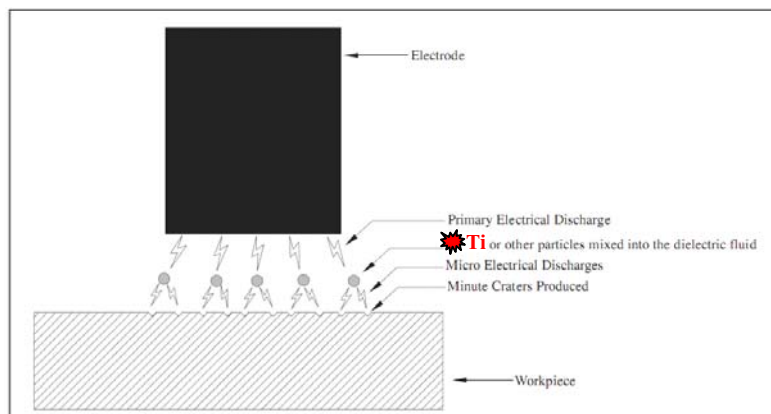
ภาพที่ 2.14

ภาพถ่ายของเหล็กเครื่องมือ SKH54 หลังจาก EDM กับอิเล็กโทรดทองแดง (a) ไม่ผสมผงอนุภาค (b) ผงอนุภาคกราไฟต์ (c) ผงอนุภาคซิลิกอนและ (d) ผงอนุภาคโคบอลต์ โดยกำหนดตัวแปร กระแส 1 แอมแปร์ เวลาเปิด 7.5 ไมโครวินาที และ เวลาปิด 11 ไมโครวินาที ชั่วลบ

(Wongetal.,1998).

การประชุมวิชาการ Kobayshi n., N, Nurumiya และนักวิชาการหลายท่าน ได้สรุปว่า ผลกระทบในทางบวกของผงอนุภาคของตัวนำหรือไม่นำไฟฟ้าจะทำให้เกิดการแพร่บนชิ้นงานได้ดี ที่สุดระหว่างการกัดอาร์คไฟฟ้า (Marek Rozenek, 2007) การแพร่จะส่งผลต่อความสัมพันธ์กัน ระหว่างช่องว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน ช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้นการไหลพัดพาของของเหลว ตัวกลางจะเป็นรูปแบบ มีความเสถียรในการกัดอาร์คชิ้นงานและแพร่ซึม พื้นที่ประสิทธิภาพในการ

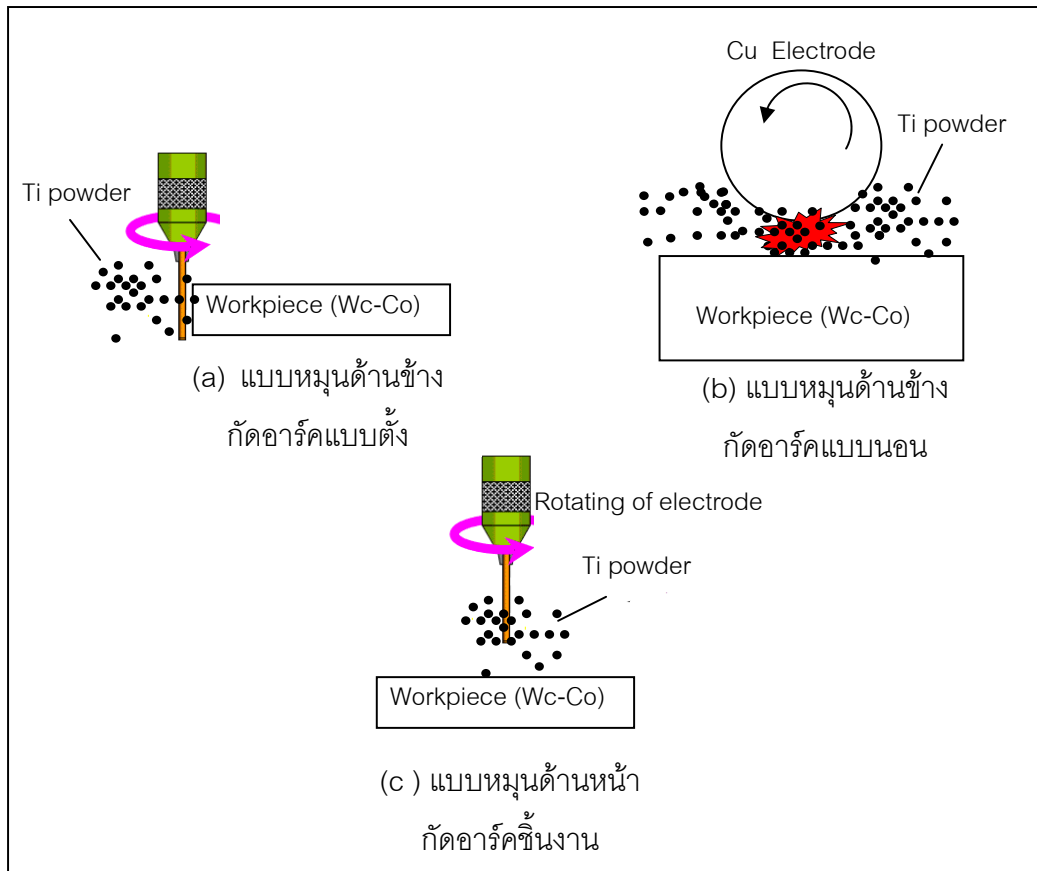
กัดอาร์คขึ้นงานได้กว้าง แต่อย่างไรก็ตามช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ไม่สัมพันธ์กับจำนวนผงอนุภาคที่ใส่เข้าไปก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพพื้นผิวชิ้นงานได้



ภาพที่ 2.15

เทคนิคการประยุกต์ใช้ผงอนุภาคแพร่กระจายในของเหลวตัวกลาง

การกัดอาร์คผ่านอิเล็กโทรดหมุน (Rotating the electrode) เป็นเทคนิคทำให้การไหลเวียนพัดพาเอาอนุภาคที่อยู่ระหว่างช่องว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรดออก ซึ่งมีความสำคัญกับอัตราการขจัดเนื้องาน และ ความหยาบของพื้นผิว (B. H. Yan, C. C. Wang, 2000) ซึ่งการใช้อิเล็กโทรดแบบหมุนกัดอาร์คนั้นจะเพิ่มประสิทธิภาพใช้กับอัตราการขจัดเนื้องาน ลดการสึกหรอของอิเล็กโทรด แต่ ความหยาบพื้นผิวชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นอีกนัยหนึ่ง Enacheetal. ได้ศึกษาทดลองของอิเล็กโทรดแบบหมุนกัดอาร์คและสามารถสรุปได้ว่า เพิ่มประสิทธิภาพของอัตราการขจัดเนื้องานและคุณภาพของผิวชิ้นงานพร้อมกับเพิ่มความเสถียรระหว่างกระบวนการกัดอาร์คขึ้นงาน ที่อุณหภูมิสูงผงอนุภาคของธาตุจะรวมตัวกับคาร์บอนที่มาจากไฮโดรคาร์บอนของของเหลวตัวกลาง เปลี่ยนรูปเป็นคาร์ไบด์กระจายตัวฝังอยู่บนพื้นผิวชิ้นงานทำให้ผิวที่ได้แข็ง (Wongetal, 1998)



ภาพที่ 2.16

การกัดอาร์คด้วยอิเล็กโตรดหมุนตั้งและนอน

Mingand He ชี้ว่าผงอนุภาคที่แพร่กระจายในของเหลวตัวกลางระหว่างการกัดอาร์ค นั้นสามารถลดความหยาบของผิวชิ้นงานแต่มีแนวโน้มที่เก็ตรอยแตกร้าวขึ้นปานกลางบนพื้นผิวชิ้นงานและเกิดออกไซด์บนพื้นผิวชิ้นงานแต่ไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นผิว Wong et al.เปรียบเทียบพื้นผิวที่ใกล้เคียงความเงาระหว่าง กราไฟต์, ซิลิคอน (Si), อลูมิเนียม (Al), และซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ที่มีความแตกต่างของขนาดผงอนุภาคโดยอลูมิเนียมจะให้ความเงามากที่สุดกับวัสดุ SKH-51 แต่ไม่ให้ความเงาบนพื้นผิววัสดุ SKH-54 Yanetal. ทำการทดสอบปรับปรุงผิวชิ้นงาน SKD 11 ด้วยการแพร่กระจายผงอนุภาคในของเหลวตัวกลาง และแสดงให้เห็นว่าการแพร่กระจายผงอนุภาคในของเหลวตัวกลางสามารถเพิ่มความแข็งและต้านทานการสึกหรอได้ Pecas and Henriques ใช้ผงซิลิคอน (Si) เพื่อประเมินผลจากการทดลองเวลาในกระบวนการผลิตนั้นว่ามีความแตกต่างกัน

ต่อพื้นที่ทำการกักอาร์คที่แตกต่างกัน ผลแสดงที่ผงซิลิคอน 2 กรัม/ลิตร ในการผสมลงไป
ของเหลวตัวกลาง ทำให้พื้นผิวชิ้นงานเรียบมีความเงาที่ขึ้นอยู่กับการผันแปรของพื้นที่และกับความ
หยาบของผิวชิ้นงานและเวลาในการกักอาร์คนั้นส่งผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงาน