

การทำนายค่าความหยาบผิวที่ได้จากการตัดเหล็กเครื่องมือ DC53 ด้วย Wire-EDM

Prediction of Surface Roughness of Wire-EDMed DC53 Tool steel

ณรงค์สร ศรีออบเชย¹ ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ² ร.ศ.ทวี เทศเจริญ³

^{1,3} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Narongsorn Sriobchoey¹ Dr.Kannachai Kanlayasiri² Assoc. Prof.Thavee Teschareon³

^{1,3} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang , Ladkrabang, Bangkok 10520

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang , Ladkrabang, Bangkok 10520

บทคัดย่อ

ความหยาบผิวของชิ้นงานเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นส่วนเครื่องจักร คุณภาพผิวที่ดีจะปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของชิ้นงาน เช่น ความล้าอันเนื่องมาจากความเค้น การกัดกร่อนและการต่อต้านการสึกหรอของชิ้นงาน ในบทความฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน DC53 ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วย Wire EDM โดยใช้วิธี Analysis of Variance ซึ่งพบว่าในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วย Wire EDM นั้นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหยาบผิว คือ เวลาในการสปาร์คของเส้นลวดกับชิ้นงานและความสูงของกระแส นอกจากนี้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความหยาบผิวกับตัวแปรทั้งสองได้ถูกสร้างขึ้น โดยใช้วิธี Multiple Regression ซึ่งสมการที่ได้มีความคลาดเคลื่อนในการทำนายน้อยกว่า 5%

คำหลัก ความหยาบผิว, Wire EDM, Analysis of Variance, Multiple Regression

Abstract

Surface roughness plays a very important role in the quality of engineering components. A good quality surface improves the fatigue strength, corrosion and wear resistance of work piece. In this paper, variables affecting the surface roughness of wire EDMed DC53 tool steel were investigated using Analysis of Variance technique. Results showed that ON and IP are significant variables to the surface roughness. In addition, a mathematical model was developed to relate the surface roughness to these variables by Multiple Regression method. The developed model provided prediction error less than 5%.

Keywords: Surface roughness, Wire EDM, Analysis of Variance, Multiple Regression

1. บทนำ

จากการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ได้มีการใช้วัสดุใหม่ๆมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตและการแปรรูปวัสดุที่มีความแข็ง ซึ่งมีความเหนียวและความทนต่อการกระแทกสูง วัสดุเหล่านี้ยากที่จะขึ้นรูปโดยเครื่องจักรที่ใช้เทคนิคการผลิตแบบดั้งเดิม (Conventional Manufacturing Processes) ดังนั้นกระบวนการผลิตชิ้นงานสมัยใหม่ (Non-traditional Manufacturing Processes) จึงได้รับการประยุกต์ใช้ เช่น Electrochemical Machining, Ultrasonic Machining และ Electric Discharge Machining (EDM)

Wire-EDM ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของ EDM เป็นกระบวนการผลิตชิ้นงานสมัยใหม่ที่ใช้ไฟฟ้าและความร้อนในการตัดชิ้นงานที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เนื้อวัสดุจะถูกกำจัดออกโดยการสปาร์คของกระแสไฟฟ้าที่ส่งออกเป็นช่วงๆระหว่างเส้นลวดไฟฟ้า (Wire Electrode) กับชิ้นงาน ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นในของเหลวไดอิเล็กตริก (Dielectric Fluid) การใช้กระบวนการ EDM ในทางอุตสาหกรรมได้รับความนิยมมากขึ้น อันเนื่องมาจากกระบวนการนี้มีประสิทธิภาพในการตัดชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและวัสดุที่มีความแข็งสูงได้ดี

การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่อง Wire-EDM เป็นระบบที่ซับซ้อนอันเนื่องมาจากหลายๆมูลเหตุ เช่น การปล่อยกระแสมากมาในช่วงระยะเวลาที่สั้นมากๆ ปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนภายในพลาสมา (Plasma Channel) และธรรมชาติของกระบวนการ EDM ที่เป็น Stochastic Process[1-4] ด้วยมูลเหตุเหล่านี้ทำให้เกิดความยุ่งยากในการทำนายคุณภาพผิวหน้าของชิ้นงานโดยใช้แบบจำลองต่างๆ ดังนั้นเป็นเรื่องที่ไม่แปลกเลยถ้าจะพบแบบจำลองสำหรับค่าความหยาบผิวของการตัด

ชิ้นส่วนด้วย Wire-EDM ที่เที่ยงตรงและถูกต้องได้น้อยมาก

2. วัตถุประสงค์

บทความฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับค่าความหยาบผิว (Surface Roughness, Ra) และการหาค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว ตัวแปรที่นำมาพิจารณาได้แก่ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายผ่านลวด ความถี่ของลวด และระยะเวลาในการจ่ายกระแสไฟฟ้า วิธี Design of Experiments และ Analysis of Variance ได้นำมาใช้เพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว เมื่อได้ตัวแปรเหล่านั้นมาแล้วแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะถูกสร้างขึ้นจากตัวแปรเหล่านั้น โดยวิธี Multiple Regression หลังจากนั้น นำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปทดสอบกับผลการทดลองชุดใหม่ เพื่อที่จะดูความแม่นยำและความเที่ยงตรงของแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นมา[5-8]

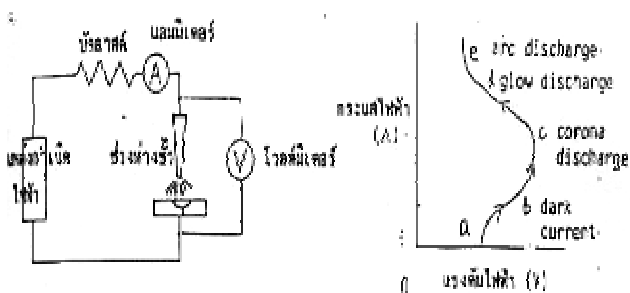
3. ทฤษฎี

3.1 เครื่อง Wire EDM

เป็น EDM ชนิดหนึ่งที่ใช้เส้นลวดขนาดเล็กเป็นขั้วไฟฟ้าและใช้ระบบ CNC สำหรับควบคุมตัวชิ้นงานให้เคลื่อนที่ ในลักษณะเช่นเดียวกับการวาดรูป เพื่อตัดเอาส่วนที่เป็นรูปออกไป เครื่องนี้ได้ประยุกต์มาจากเครื่อง EDM ประเภท Die sinking การวาดรูปที่แกน X-Y เคลื่อนที่ในเวลาเดียวกันทั้ง 2 แกน จึงต้องการอุปกรณ์ระบบ CNC ไว้สำหรับการควบคุม ตัวเส้นลวดของ เครื่อง Wire EDM จะมีการสึกหรอ อันเนื่องมาจากการสปาร์ค ดังนั้นลวดที่ใช้ไปครั้งหนึ่งแล้วจะไม่นำมาใช้อีก

3.2 ปรากฏการณ์การสปาร์ค

ปรากฏการณ์การสปาร์ค เป็นชื่อเรียกโดยรวมของปรากฏการณ์ต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าที่มีฉนวนไฟฟ้า ประเภทของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซกั้นกลางอยู่จนทำให้ฉนวนไฟฟ้าเหล่านี้เกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน (Dielectric breakdown) และเกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นอย่างรุนแรง ดังนั้นปรากฏการณ์เหล่านี้ จึงหมายถึง การผิบบังคับทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัตถุตัวกลางที่โดยปกติแล้วไฟฟ้าจะไหลผ่านได้ยาก และเมื่อถึงเวลาที่การผิบบังคับนี้ถึงขีดจำกัด ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่ไหลขึ้นมาอย่างกะทันหัน



รูปที่ 1 คุณสมบัติพิเศษ แรงดันไฟฟ้า-กระแสไฟฟ้า ของการสปาร์ค

ก. สภาพที่กระแสไฟฟ้าเริ่มไหล (Dark current)

คือ การเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (E) ดังเช่น ในวงจรรูปที่ 1 ให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่ง อากาศจะเริ่มแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าเล็กน้อย และอิเล็กตรอน ซึ่งมีประจุเป็นลบจะถูกดึงดูดจากฝั่งขั้วลบไปสู่ฝั่งขั้วบวก ซึ่งในช่วงระยะนี้จะมีกระแสไฟฟ้าไหลขนาดเล็กมากประมาณ 10^{-8} - 10^{-11} A

ข. การสปาร์คแบบโคโรนา (Corona discharge)

คือ การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้สูงขึ้นไปอีก ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า บางส่วนที่เกิดสนามไฟฟ้าแรงเป็นพิเศษ จะเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน (dielectric breakdown) ซึ่งเป็นสภาพการสปาร์คที่ขาดเสถียรภาพอย่างมาก

ค. การสปาร์คแบบโกลว์ (Glow discharge)

คือ การที่บริเวณส่วนที่เกิด การสูญเสียความเป็นฉนวนแล้วนั้น อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบจะไหลในส่วนนี้มากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้กระแสไฟฟ้ามีขนาดใหญ่อขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย สภาพการสปาร์คที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลานี้สั้นมาก

ง. การสปาร์คแบบอาร์ค (Arc discharge)

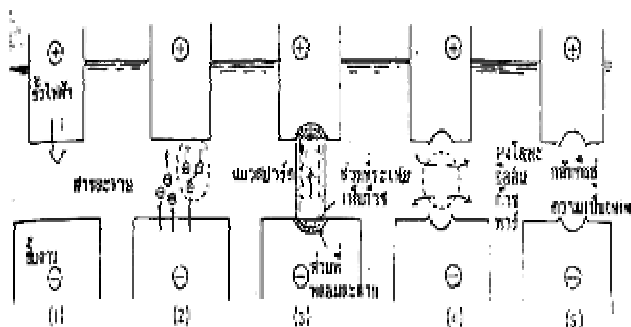
คือ หลังจากทีประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าถูกปลดปล่อยออกมา และการสปาร์คแบบโกลว์ได้มีขนาดถึงกระแสไฟฟ้าค่าสูงสุดแล้วการสปาร์คจะเข้าสู่สภาพขั้นตอนสุดท้าย (d-e) ซึ่งหมายถึง การสปาร์คแบบอาร์ค สภาพการสปาร์คแบบนี้ จะเกิดขึ้นในลักษณะที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยวิธีสปาร์ค ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมพลังงานของสภาพการสปาร์คแบบนี้

3.3 ทฤษฎีของการขึ้นรูปด้วยเครื่อง EDM

การขึ้นรูปด้วยเครื่อง EDM หมายถึง วิธีการขึ้นรูปซึ่งใช้กับโลหะเสียเป็นส่วนใหญ่ โดยการประยุกต์ใช้การสปาร์คที่เป็นประกายไฟ (พลังงานไฟฟ้า) ซึ่งขาดเสถียรภาพอย่างมากดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และเราสามารถที่จะเปรียบเทียบ วิธีการขึ้นรูปแบบนี้ได้เสมือน "การสปาร์คในช่องว่างแคบๆ ระหว่างขั้วไฟฟ้ากับวัตถุที่จะขึ้นรูป" สำหรับการขึ้นรูปในทางปฏิบัติจริงนั้น จะทำในสารละลายโดยใช้ลวดทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้า และวัตถุที่จะนำมาขึ้นรูปได้นั้น จะไม่เกี่ยวกับความแข็งเพียงแต่ต้องเป็นวัตถุที่ไฟฟ้าไหลผ่านได้

ในการขึ้นรูปด้วยเครื่อง EDM นั้น จะไม่ปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลอย่างต่อเนื่องกัน เหมือนกับการเชื่อมแบบอาร์คแต่ต้องใช้วิธีการเปิดปิดกระแสไฟฟ้าเป็นช่วงจังหวะเพื่อป้องกันมิให้ความร้อนจากการสปาร์คหลอมละลายวัสดุมากเกินไปจนเสียรูปทรง วิธีการขึ้นรูปประเภทนี้ อาศัยการใช้พลังงานระดับสูง ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาช่วงเวลาสั้นมาก ดังนั้นปัญหาที่สำคัญมาก สำหรับวิธีการขึ้นรูปนี้ก็คือ ทำอย่างไรจึงจะทำให้เกิดการสปาร์คที่เป็นประกายไฟอย่างมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูง

ในการการใช้งานจริงนั้นจะใช้ระบบ NC (numerical control) ควบคุมให้เกิดการสปาร์คถึงหลายแสนครั้งใน 1 วินาที สภาพของพัลส์ (pulse) แต่ละครั้งของการสปาร์คจะเป็นไปดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 สภาพของการสปาร์คแต่ละครั้ง

ก. ใส่แรงดันไฟฟ้า

เริ่มต้นด้วยการใส่แรงดันไฟฟ้า(ประมาณ60-280V) ที่ระหว่าง
ขั้วนาบกับขั้วไฟฟ้า (เรียกว่า ระหว่างขั้ว) ในการขึ้นรูปนั้น โดยปกติจะ
ใช้น้ำมันเพื่อที่จะรักษาให้ความร้อนด้านทานของฉนวนระหว่างขั้วให้มีค่า
สูงขึ้น ทำให้สามารถลดระยะระหว่างขั้วลงได้

ข. สัญเสียความเป็นฉนวน

เมื่อขณะระหว่างขับให้เข้าใจเรื่อยๆ จนถึงระยะหนึ่ง
สารละลายจะเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน อีออนประจุลบจะถูกดึง
ไปสู่ฝั่งที่เป็นบวก

ค. สปาร์คหลอมละลาย

เมื่อเกิดการสูญเสีย ความเป็นฉนวนขึ้นแล้ว อิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบ จะเริ่มไหลเป็นจำนวนมากอย่างรุนแรง ซึ่งก็คือ การสปาร์คนั่นเอง บริเวณส่วนที่เกิดการสปาร์คนี้จะมีกระแสไฟฟ้าที่มีความหนาแน่นสูงมากเป็นช่วงเวลาสั้นๆ มีขนาดตั้งแต่ 0.1 แอมแปร์จนถึงหลายร้อยแอมแปร์ จะทำให้บริเวณที่เกิดการสปาร์คมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก (3000°C ขึ้นไป)

ง. เย็นตัว

ความดันที่เกิดขึ้นระหว่างการสปาร์ค จะทำให้ส่วนที่หลอมละลายของชิ้นงานหลุดกระเด็นไป ซึ่งเมื่อถูกสารละลาย รอบข้างดูดแย่งความร้อนไปก็จะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วกลายเป็นเศษผงชิ้นเล็กๆ

จ. กลับสู่ความเป็นฉนวน

หลังจากที่การสปาร์ค หนึ่งครั้งแล้วจบลงแล้วจะรองจนกว่า สารละลายจะกลับคืนสู่ความเป็นฉนวน โดยไม่มีการใส่แรงดันไฟฟ้าเข้าไป การรอในช่วงนี้จะช่วยป้องกัน การเกิดสปาร์คแบบผิดปกติ เช่น สปาร์คซ้ำ ภายหลังที่กลับคืนสู่ ความเป็นฉนวนแล้วก็จะทำการสปาร์ค เช่นเดิมอีก โดยเริ่มจาก ก.

4. การทดลอง

4.1 การเตรียมชิ้นงานในการทดลอง

วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือ DC53 (ค่าความแข็ง 217HB)
เนื่องจากเหล็กชนิดนี้นิยมใช้กันโดยทั่วไป เช่น ทำแม่พิมพ์ตัดโลหะเย็น
ทำลูกรีดสำหรับม้วนท่อต่าง ๆ ไม่มีดีสำหรับตัดกระดาษ ตัดเหล็ก แบบ
พิมพ์สำหรับทำอิฐบล็อก พิมพ์ขึ้นรูปเกลียว พิมพ์ปั๊มลวดลาย พิมพ์ปั๊ม
เย็นหัวสกรู พิมพ์รีดโลหะเย็น คัตเตอร์ กัดเฟือง กัดไม้ มิดรูต ฯลฯ
ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือDC53 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมหลักของเหล็กกล้าเครื่องมือ DC53

ส่วนผสม (wt %)			
C	Cr	Mo	Fe
0.96	0.823	0.194	Balance

ซึ่งเหล็กกล้าเครื่องมือ DC53 คุณสมบัติเทียบเท่ากับเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 สำหรับชิ้นงานที่ใช้มีขนาด (กว้าง x ยาว x หนา) 27 mm. x 65 mm. x 13mm. หลังจากนั้นทำการเจียรไนผิว เพื่อให้ผิวมีความเรียบ

4.2 การตัดชิ้นงาน

ใช้เครื่อง Wire EDM ของ Sodick รุ่น A280 ในการตัดใช้ลวด
ของ KHSodick รุ่น KHW-250P5-5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25mm.
ทำการตัดชิ้นงานให้มีขนาด(กว้าง x ยาว x หนา) 27 mm. x 5
mm. x 13 mm.



รูปที่ 3 เครื่อง Wire EDM

การออกแบบการทดลองใช้รูปแบบ Full Factorial Design (2^k)
เมื่อ k คือจำนวนตัวแปรในการทดลอง ซึ่งในการทดลองนี้มีอยู่ 4 ตัวแปรด้วยกัน

๒) ได้แก่ ON คือเวลาในการสปาร์คของเส้นลวดกับชิ้นงาน

OFF คือ เวลาในการหยุดการสปาร์คของเส้นลวดกับชิ้นงาน

IP คือ ความสูงของกระแสน้ำ

WT คือ ความตึงของเส้นลวด

ซึ่งเงื่อนไขในการตัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวแปรหลักในการทดลอง

ตัวแปร	ค่าต่ำ	ค่าสูง
ON(msec)	2	5
OFF(msec)	5	15
IP (A.)	16	17
WT(g _r)	340	740

ในการทดลองนี้มี 4 ตัวแปรที่จะศึกษา ดังนั้นเงื่อนไขในการทดลองทั้งหมดจึงมี 2^4 หรือ 16 เงื่อนไข ซึ่งแต่ละเงื่อนไขจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้

4.3 การวัดค่า Surface Roughness (Ra)

หลังจากที่ได้ตัดชิ้นงานตามเงื่อนไขทั้งหมดแล้ว นำชิ้นงานที่ได้ไปวัดค่า Surface Roughness (Ra) ตามแนวการตัด โดยใช้เครื่อง Surfometer ของ Precision Device รุ่น PDD-400-bo โดยที่ทำการวัดค่า Ra ที่ตำแหน่งต่างๆ 3 จุดต่อ 1 ชิ้นเพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยใช้ stroke เท่ากับ 2.54 mm. และ Cut-off length เท่ากับ 0.80 mm.แล้วนำมาทำการเฉลี่ย

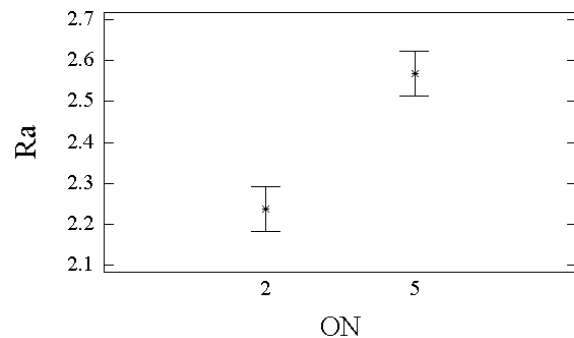
5. ผลการทดลอง

การวิเคราะห์หาตัวแปรในการตัดที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวสามารถทำได้โดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) ซึ่งผลของการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ANOVA

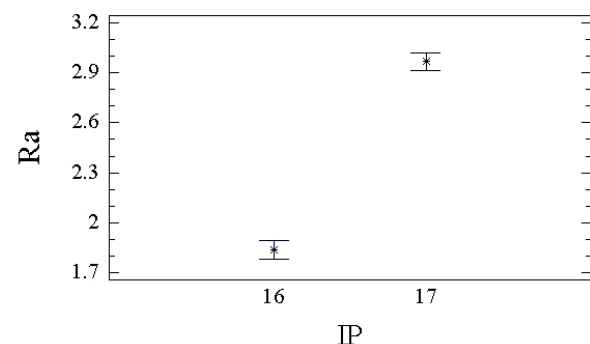
Source	SUM of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:ON	1.32103	1	1.32103	78.97	0
B:OFF	0.0684785	1	0.0684785	4.09	0.515
C:IP	15.4077	1	15.4077	921.11	0
D:WT	0.00212002	1	0.00212002	0.13	0.7242
INTERACTIONS					
AB	0.00932419	1	0.00932419	0.56	0.4608
AC	0.276489	1	0.276489	16.53	0.3
AD	0.0663797	1	0.0663797	3.97	0.55
BC	0.00397852	1	0.00397852	0.24	0.6291
BD	2.85208E-05	1	2.85208E-05	0	0.9673
CD	0.00446602	1	0.00446602	0.27	0.6089
ABC	0.0746552	1	0.0746552	4.46	0.425
ABD	0.0129692	1	0.0129692	0.78	0.3851
ACD	0.128858	1	0.128858	7.7	0.91
BCD	0.00217352	1	0.00217352	0.13	0.7209
ABCD	0.0563755	1	0.0563755	3.37	0.757
RESIDUAL	0.535273	32	0.0167273		
TOTAL	17.9703	47			

Means and 95.0 Percent Confidence Intervals



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่า Ra และ ON

Means and 95.0 Percent Confidence Intervals



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของค่า Ra และ IP

จากตารางที่ 3 การวิเคราะห์หัตถ์ระดับความเชื่อมั่น (Confidence Level) ไว้ที่ 95% ซึ่งพบว่าตัวแปร ON และ IP มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วย Wire EDM เนื่องจาก P-Value ของตัวแปรทั้ง 2 มีค่าน้อยกว่า 0.05 หรือ 5% ในขณะที่ตัวแปร OFF และ WT ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหยาบผิว (P-Value>0.05) รูปที่ 4 และ 5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ON และ IP กับค่าความหยาบผิว จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า Ra มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ON เพิ่มขึ้นและจากรูปที่ 5 เมื่อ IP เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ Ra เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

จากนั้น ทำการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความหยาบผิว และตัวแปรที่มีนัยสำคัญทั้งสอง(ON และ IP) โดยใช้วิธี Multiple Regression จะได้สมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$Ra = -16.6813 + (0.110597ON) + (1.13313IP) \quad (1)$$

นำสมการที่ได้ไปทดสอบความแม่นยำในการทำนายค่า Ra โดยใช้ไปคำนวณหาค่า Ra เทียบกับ กับค่า Ra ที่ได้จากการทดลองชุดใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณ

ตัวแปรหลัก				ค่าที่ได้จากการทดลอง	ค่าจากการคำนวณ	
ON	OFF	IP	WT	Ra(μm)	Ra(μm)	%Error
3	15	16	7	1.74	1.78	2.3
4	15	16	7	1.93	1.89	2.07
5	15	16	7	2.07	2	3.38
3	15	17	7	2.89	2.914	0.83
4	15	17	7	3	3.024	0.8
5	15	17	7	3.25	3.135	3.54

6. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง เราจะพบว่าค่าของ IP และ ON มีผลอย่างมากต่อค่า Ra ดังนั้น ค่า Ra จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ IP และ ON อยู่ในระดับสูง อันเนื่องมาจาก เมื่อ IP เพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสผ่านเส้นลวดมากขึ้น จึงเกิดการสปาร์คที่รุนแรงมากขึ้นระหว่างเส้นลวดกับชิ้นงานทำให้หลุมของการหลอมละลายมีขนาดใหญ่มากขึ้น ทำให้ค่า Ra ที่ได้สูงขึ้น สำหรับตัวแปร ON ก็เช่นเดียวกัน เมื่อช่วงเวลาในการสปาร์คยาวนานขึ้นทำให้บริเวณที่เส้นลวดกับชิ้นงานอาร์คกันมีความร้อนสูงขึ้น เป็นผลให้ผิวชิ้นงานที่ตัดมีการหลอมละลายมากขึ้นและ Ra สูงขึ้น

ซึ่งผลที่ได้ข้างต้นนั้นจะเห็นว่าสอดคล้องกับสมการที่ (1) และมีค่าความผิดพลาดในการทำนายที่เกิดขึ้น ไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับผลที่เราวัดจากชิ้นงานจริง ดังนั้นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้สามารถคำนวณค่า Ra ได้แม่นยำพอสมควร

7. สรุปผลการทดลอง

สิ่งที่ต้องการศึกษาในการทดลองนี้คือ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อ ค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน DC53 ที่ผ่านการตัดด้วย Wire EDM จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Analysis of Variance สรุปได้ว่า ตัวแปรที่มีผลต่อการทดลองคือ ตัวแปร ON และ IP จากนั้นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวและตัวแปรทั้งสองที่สร้างขึ้นมาโดยวิธี Multiple Regression มีความแม่นยำในการทำนายพอสมควร ในช่วงของการทดลองที่ทำการศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้คงไม่อาจเกิดขึ้นได้หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ต้องกล่าวถึงก็คือ ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ และ รศ.ทวี เทศเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์ดำริห์ จันทรแสงสุก ที่ให้ความเอาใจใส่ดูแล ให้คำแนะนำในทุกๆเรื่อง และต้องขอขอบคุณอาจารย์ทุกๆท่าน ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในทุกๆด้าน รวมถึงพี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ดิฉัน และให้ความช่วยเหลือในทุกๆสิ่งของโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Snoyes, R. and Van Dijck, F. (1972). *Plasma channel diameter growth affects stock removal. Annals of CIRP.* 21(1):39-40.
- [2] Pandit, S. M. and Rajurkar, K.P. (1983). A stochastic approach to thermal modeling applied to electro-discharge machining. *Journal of Heat Transfer.* 105:555-562.
- [3] Pandey, P. C. and Jilani, S. T. (1986). *Plasma channel growth and the resolidified layer in EDM. Precision Engineering.* 8(2):104-110.
- [4] Shankar, P., Jain, V. K., and Sundarajan, T. (1997). *Analysis of spark profile during EDM process. Machining Science and Technology.* 1(2):195-217.
- [5] Yadav, V., Jain, V. K., and Dixit, P. M. (2002). *Thermal stresses due to electrical discharge machining. International Journal of Machine Tool & Manufacture.* 42:877-888.
- [6] Das, S., Klotz, M., and Klocke, F. (2003). *EDM simulation: finite element-based calculation of deformation, microstructure and residual stresses. Journal of Materials Processing Technology.* 142:434-451.
- [7] Ghanem, F., Braham, C., and Sidhom, H. (2003). *Influence of steel type on electrical discharge machined surface integrity. Journal of Materials Processing Technology.* 142:163-173.
- [8] Singh, A. and Ghosh, A. (1999). *A thermo-electric model of material removal during electric discharge machining. International Journal of Machine Tools & Manufacture.* 39:669-682