

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานสำหรับกระบวนการตัด
แบบหลายขั้นตอนบนเครื่องตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า

Designing and manufacturing clamping accessory for multi-stage cutting
process on the wire electrical discharge machine

กมลพงศ์ แจ่มกมล¹, ปิยะพงษ์ คำค้อน^{2*}

Kamonpong Jamkamon¹, Piyapong Kumkoon²

^{1,2*}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

^{1,2*}Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Krungthep, Thailand

*Corresponding Author. Tel. 08 7512 29030, E-mail: piyapong.k@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานซึ่งใช้ร่วมกับปากกาจับชิ้นงานสำหรับการตัดชิ้นงานแบบหลายขั้นตอนบนเครื่องตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า โดยชิ้นงานที่ใช้สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดเป็นปลอกจับดอกสว่านแบบสปริง ซึ่งในการแปรรูปต้องทำการจับชิ้นงานเพื่อตัดส่วนที่เป็นก้านจากนั้นจะต้องทำการสลัดด้านและทำการหมุนชิ้นงาน 90 องศา เพื่อตัดในส่วนที่เป็นปลอกจับดอกสว่าน โดยอุปกรณ์ช่วยในการจับยึด เลือกใช้วัสดุเป็นแผ่นอลูมิเนียมและทำการแปรรูปเพื่อให้มีขนาดตามแบบงานโดยใช้เครื่องตัดโลหะด้วยไฟฟ้าและเครื่องกัดเป็นหลัก จากการทดลองเพื่อประเมินความสามารถของอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงาน พบว่า สมรรถนะของกระบวนการจับยึดมีค่าสูงกว่า 1.330 โดยในส่วนของ การตัดชิ้นงานในบริเวณที่เป็นก้านและส่วนที่เป็นปลอกจับมีค่าสมรรถนะของกระบวนการ 1.852 และ 2.924 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าสมรรถนะของอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาอยู่ในเกณฑ์การใช้งานได้ดี

คำสำคัญ : การตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า, การออกแบบอุปกรณ์จับยึด, ปลอกจับดอกสว่านแบบสปริง

ABSTRACT

The aim of this research is to design and manufacture a clamping aid used in conjunction with a vise for multi-stage cutting on the wire electrical discharge machining. The workpiece used for the design of clamping aids is a spring collet of the drill chuck. The machining process requires holding the workpiece to cut the shank part, then the workpiece must be reversed and rotated 90 degrees to cut the part of the spring collet. The material used for the

Received 14-06-2021

Revised 03-08-2021

Accepted 04-08-2021

construction of the clamping accessory is an aluminum plate. The wire electrical discharge machining and milling were the main processes for work material removed as the design. The experimental result was found that the capability process of clamping device was higher than 1.330 The capability process of the cutting in the region of shank and collet part of drill chuck was resulted by 1.852 and 2.924, respectively. From these results, it can be concluded that the performance of the clamping device designed and manufactured is sufficient to use for multiple cutting processes in the wire electrical discharge machining.

Keyword: Wire electrical discharge machining, Clamping design, Spring collet

1. บทนำ

การตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า (Wire electrical discharge machining, WEDM) เป็นกระบวนการแปรรูปสมัยใหม่ที่ใช้สำหรับการแปรรูปชิ้นงานโดยใช้เส้นลวดเป็นอิเล็กโทรด (Wire electrode) ในการกัดเจาะ โดยการควบคุมพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าภายใต้การปกคลุมด้วยของเหลวไดอิเล็กทริก (Dielectric fluid) ซึ่งเป็นนิยมใช้สำหรับการแปรรูปชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนและยากต่อการตัดเฉือนด้วยกระบวนการทางกล [1,2] กระบวนการดังกล่าวเป็นการควบคุมพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการสปาร์คและแปรรูปโลหะโดยที่อิเล็กโทรดไม่สัมผัสกับชิ้นงาน

ส่วนประกอบของเครื่องกัดเจาะโลหะด้วยไฟฟ้ามีโตะงานอยู่ภายในถังซึ่งบรรจุของเหลวไดอิเล็กทริก ทั้งนี้พื้นผิวโตะงานเป็นระนาบอ้างอิงและใช้ในการจับยึดชิ้นงาน และพื้นที่การตัดชิ้นงานจะมีขนาดเล็กกว่าโตะงานทำให้การเตรียมวัสดุชิ้นงานจำเป็นต้องเผื่อขนาดสำหรับการจับยึด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าการตัดชิ้นงานที่มีขนาดเล็กจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการจับยึด โดยงานวิจัยของ Bicknell G, Manogharan G. [1] ทำการตัดชิ้นงานโดยการกัดเจาะโลหะด้วยลวดไฟฟ้าบนวัสดุ

เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ เวลาเปิด เวลาปิด และแรงดันฟ้า ซึ่งทำการติดตั้งชิ้นงานเพลากลมและใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานโดยใช้พื้นผิวโตะงานเป็นระนาบอ้างอิง พบว่าพารามิเตอร์เหล่านี้ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน Wang Y และคณะ [3] ทำการทดลองตัดเฟืองในระดับไมโครโดยใช้กระบวนการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า พบว่า การพัฒนาอุปกรณ์จับยึดให้มีความยืดหยุ่นของศูนย์กลางแบบในตัว (Self-centering flexible fixture) เป็นกุญแจสำคัญสำหรับการจับยึดอย่างแม่นยำ Jan Bouquet J และคณะ [4] ศึกษาการผลิตเฟืองต้นแบบอย่างรวดเร็วโดยใช้เทคโนโลยีที่ต่างกัน พบว่า การกัดเฟือง (Hobbing) และการเจียรระไน (Grinding) จำเป็นต้องมีการออกแบบและสร้างเครื่องมือเฉพาะ ในขณะที่การตัดด้วยลวดไฟฟ้าจะมีความแม่นยำและคุณภาพพื้นผิวที่ดีแต่จำเป็นต้องพัฒนากระบวนการจับยึดเพื่อให้สามารถตัดชิ้นงานได้โดยรอบจากการจับยึดเพียงครั้งเดียว Manoj I. V. และ Narendranath S. [5] ทำการตัดชิ้นงานโดยการเอียงอุปกรณ์จับยึดเพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อความสามารถในการแปรรูป พบว่าการเอียงอุปกรณ์จับยึดส่งผลให้พื้นที่การกัดเจาะเพิ่มมากขึ้นและความเร็วตัดลดลง จากงานวิจัยเหล่านี้

บ่งชี้ได้ว่าการออกแบบและการจับยึดชิ้นงานเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อความแม่นยำในการแปรรูปชิ้นงานโดยการตัดโลหะด้วยไฟฟ้า

ในอุตสาหกรรมการผลิตได้มีการใช้ปากกาจับงานเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการจับยึดชิ้นงาน อย่างไรก็ตามปากกาจับงานที่มีอยู่โดยทั่วไปแล้วจะมีการจับยึดที่อ้างอิงตามรูปทรงมาตรฐานของชิ้นงาน ทำให้การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วย เพื่อให้ปากกาจับงานสามารถจับยึดชิ้นงานที่มีลักษณะซับซ้อนเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับการก้าวข้ามขีดจำกัดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดร่วมกับปากกาสำหรับการจับยึดชิ้นงานที่มีความซับซ้อนทางด้านรูปทรง ทั้งนี้ความสามารถในการจับยึดและความแม่นยำในการแปรรูปจะประเมินจากสมรรถนะของกระบวนการ (Process capability index, CPI) ใช้สัญลักษณ์ว่า C_p สำหรับของเขตตามสเป็ค 2 ด้าน [6,7] ดังสมการที่ 1

$$C_p = \frac{S_U - S_L}{6s} \quad (1)$$

เมื่อ C_p คือ ค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการ

S_U คือ ค่าของเขตค่าสูงของสเป็ค

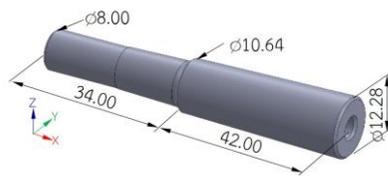
S_L คือ ค่าของเขตค่าต่ำของสเป็ค

s คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. การดำเนินการทดลอง

การวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก โดยในส่วนแรกเป็นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานโดยคำนึงถึง ขอบเขตการออกแบบ การออกแบบ และการสร้าง ตลอดจนการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะ

ของอุปกรณ์ช่วยในการจับยึด ในส่วนที่สองเป็นการทดลองตัดเพื่อประเมินสมรรถนะของการตัดชิ้นงานโดยการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า ทั้งนี้การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานเป็นกรณีศึกษาสำหรับการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดสำหรับการตัดชิ้นงานปลอกจับดอกสว่านแบบสปริง (Spring collet) แสดงใน ภาพที่ 1 ซึ่งมีความซับซ้อนในการตัดเนื่องจากต้องจับยึดและตัดชิ้นงานหลายขั้นตอน ทั้งนี้วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กกล้า JIS SKD 61 ผ่านการปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกระบวนการทางความร้อนมีความแข็งอยู่ในช่วง 46-48 HRC



(ก) แบบวัตถุดิบชิ้นงานก่อนการตัด



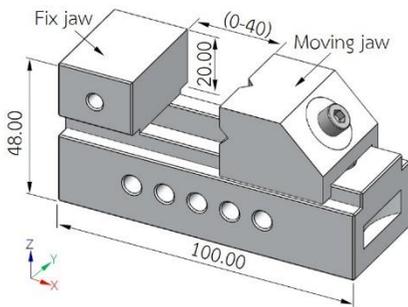
(ข) แบบชิ้นงานสำเร็จภายหลังการตัด

ภาพที่ 1 แบบชิ้นงานสำหรับการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึด

2.1 ข้อจำกัดของการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงาน

การจับยึดชิ้นงานเพื่อทำการตัดโดยเครื่องตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าซึ่งอ้างอิงจากแบบงานที่แสดงในภาพที่ 1 ซึ่งชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่สุด 12.28 มิลลิเมตร และมีความยาวสูงสุด 67 มิลลิเมตร ทั้งนี้การตัดในแต่ละส่วนจำเป็นต้องกระทำอย่างเป็น

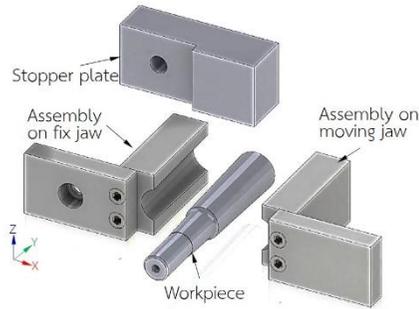
ขั้นตอน โดยบริเวณที่ต้องการตัดประกอบด้วยส่วนที่เป็น
กัน และส่วนที่เป็นรอยบากซึ่งแต่ละรอยจะทำมุมกัน 90
องศา ทั้งนี้การตัดชิ้นงานในบริเวณส่วนที่เป็นกัน
จำเป็นต้องจับยึดชิ้นงานฝั่งตรงกันข้ามซึ่งมีลักษณะเป็น
เพลเรียบ และในการตัดบากร่องชิ้นงานในส่วนที่เป็นกัน
จะถูกจับยึด อย่างไรก็ตามปากกามาตรฐานที่ใช้สำหรับ
การตัดงานซึ่งมีเครื่องหมายการค้าเป็น LINCO Tool
makers vise รุ่น GIN-VB15 ดังแสดงในภาพที่ 2 ขนาด
ความกว้างปากจับ 36 มิลลิเมตร ความยาวสูงสุดที่
สามารถจับได้ 40 มิลลิเมตร และความลึกปากจับ 20
มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากปากจับมาตรฐานของปากกาคือเป็น
แบบพื้นผิวราบทำให้ไม่สามารถจับยึดชิ้นงานที่มีลักษณะ
เป็นเพลเรียบและส่วนที่กันได้โดยตรง ทำให้มีความ
จำเป็นต้องออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดที่
มีลักษณะพื้นผิวสัมผัสด้านหนึ่งเหมือนชิ้นงานและอีก
ด้านหนึ่งเหมือนกับปากจับของปากกาคือเพื่อให้สามารถจับ
ชิ้นงานสำหรับการตัดโดยกระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้า
ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2 ปากกาคับชิ้นงานมาตรฐาน

2.2 การออกแบบและการสร้างอุปกรณ์ช่วยใน การจับยึดชิ้นงาน

การตัดงานขั้นตอนแรกในส่วนที่เป็นกัน
อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานถูกออกแบบให้มี
ลักษณะพื้นผิวโค้งเว้าและมีความลาดเอียงเหมือนกับ
ชิ้นงาน และอีกด้านหนึ่งแบนราบมีขนาดความกว้าง
และยาวที่สามารถประกอบและแนบสนิทเข้ากับพื้นผิว
ของปากทั้งฝั่งที่เป็นปากตายและปากเคลื่อนที่ ดังแสดง
ในภาพที่ 3 (ก) อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดฝั่งปากตาย (Fix
jaw) ถูกจับยึดเข้ากับปากกาคือโดยใช้สกรูขนาด M5 (DIN
EN ISO 4762) และมีการติดตั้งแผ่นโลหะ (Stopper
plate) เพื่อการจับยึดชิ้นงานในแต่ละครั้งอยู่ในตำแหน่ง
ที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ในขณะที่อุปกรณ์ช่วยในการจับ
ยึดที่ประกอบเข้ากับปากของปากกาคือฝั่งเคลื่อนที่ (Moving
jaw) จะมีระยะคลอนเล็กน้อยเพื่อให้มีความยืดหยุ่นใน
การจับยึดชิ้นงาน วัสดุอลูมิเนียมถูกเลือกใช้สำหรับ
การสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดเนื่องจากแปรรูปได้
ง่ายและเป็นวัสดุที่อ่อนซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อเกิดการเกิดรอย
ขีดข่วนบนชิ้นงาน ทั้งนี้ชิ้นส่วนอุปกรณ์ช่วยในการจับยึด
ต่างสร้างขึ้นโดยใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติ
(Computerized numerical control, CNC) เป็นเครื่อง
ตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าหรือ Mitsubishi รุ่น MV1200
(D-cubes Series) และเครื่องกัดที่มีเครื่องหมายการค้า
ของ EMCO รุ่น PC MILL 50 โดยอุปกรณ์ช่วยในการจับ
ยึดชิ้นงานที่สร้างแล้วเสร็จแสดงดังภาพที่ 3 (ข)



(ก) แบบอุปกรณ์ช่วยในการจับยึด

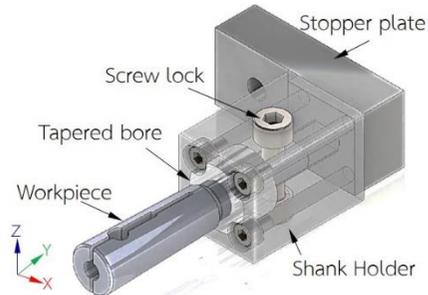


(ข) อุปกรณ์ช่วยสำหรับการจับยึดชิ้นงาน

ภาพที่ 3 อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดสำหรับการตัดชิ้นงานในส่วนที่เป็นกัน

การตัดในส่วนที่เป็นรอยบากจำเป็นต้องจับยึดชิ้นงานในส่วนที่เป็นกันทำให้อุปกรณ์ช่วยในการจับชิ้นงานในส่วนนี้จำเป็นต้องมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสและมีช่องตรงกึ่งกลางที่มีรูปทรงเหมือนกับกันของชิ้นงาน (Shank holder) ซึ่งมีชิ้นส่วนที่เป็นรูเรียว (Tapered bore) คอยประคองชิ้นงานให้เข้าตำแหน่งศูนย์กลางดังแสดงการออกแบบอุปกรณ์ช่วยสำหรับการจับยึดในภาพที่ 4 (ก) ทั้งนี้อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดต้องประกอบเข้าด้วยกันโดยมีระยะคลอนน้อยที่สุดเพื่อให้หลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากการสลับตำแหน่งของการจับยึดในการบากร่องนอกเหนือจากนี้ได้มีการเจาะรูทำเกลียวฝึงสกรู (Screw lock) เพื่อช่วยในการจับยึดชิ้นงานโดยชิ้นส่วนเหล่านี้

ผลิตขึ้นจากวัสดุอลูมิเนียมและแปรรูปซึ่งใช้กระบวนการตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าเป็นหลัก



(ก) แบบอุปกรณ์ช่วยในการจับยึด

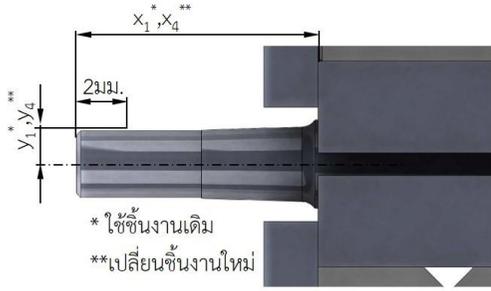


(ข) อุปกรณ์ช่วยสำหรับการจับยึดชิ้นงาน

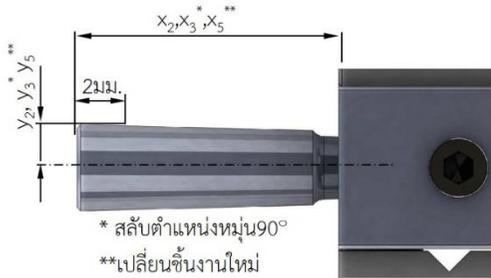
ภาพที่ 4 อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดสำหรับการตัดชิ้นงานในส่วนที่เป็นรอยบาก

2.3 การประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงาน

การระบุตำแหน่งของเครื่องตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง (Mitsubishi รุ่น MV1200) มีค่าความละเอียดในอยู่ที่ 0.0001 มิลลิเมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดจากการทดลองอยู่ที่ 0.001 มิลลิเมตร ทั้งนี้ในการการประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงานสำหรับการตัดชิ้นงานในส่วนที่เป็นกัน จะทำการติดตั้งชิ้นงานบนเครื่องจักรและระบุพิกัดจุดศูนย์กลางของชิ้นงานจากตำแหน่งอ้างอิงในแนวแกนเป็น x_1 และแนวแกน y_1 ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก)



(ก) การจับยึดเพื่อตัดกันของชิ้นงาน



(ข) การจับยึดเพื่อตัดรอยบากของชิ้นงาน

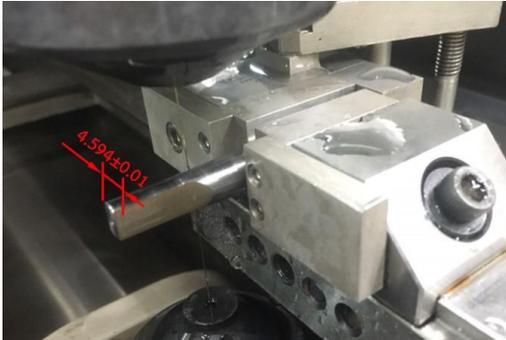
ภาพที่ 5 ตำแหน่งอ้างอิงในการวัดเพื่อหาค่าสมรรถนะของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

ในส่วนของการตัดชิ้นงานสำหรับตัดรอยบากร่องกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในแนวแกนเป็น x_2 และแนวแกน y_2 และการถอดเพื่อหมุนจับชิ้นงานใหม่ 90 องศา กำหนดตำแหน่งอ้างอิงในแนวแกนเป็น x_3 และแนวแกน y_3 ดังแสดงในภาพที่ 5 (ข) โดยการทดลองจะทำการถอดและจับยึดชิ้นงานเดิมเพื่อทำซ้ำจำนวน 35 ครั้งเพื่อหาสมรรถนะของอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานที่ได้ออกแบบและสร้างชิ้นงาน

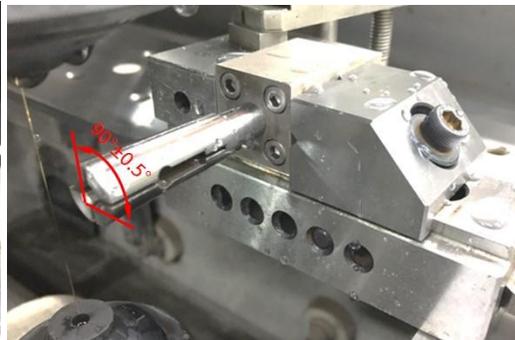
ในกรณีการจับยึดชิ้นงานที่ต่างกันจำนวน 35 ชิ้น สำหรับการตัดชิ้นงานส่วนที่เป็นกันและรอยบากกำหนดตำแหน่งอ้างอิงการวัดในแนวแกนเป็น x_4, y_4 และ x_5, y_5 ตามลำดับ และผลที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปคำนวณหาสมรรถนะของกระบวนการในการการจับยึดโดยมีค่าความคลาดเคลื่อน (พิกัดความเผื่อ) กำหนดไว้ที่ ± 0.005 มิลลิเมตร

2.4 การประเมินสมรรถนะในการแปรรูปชิ้นงาน

สมรรถนะในการแปรรูปชิ้นงานจากการใช้อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานจะประเมินจากขนาดความหนาของชิ้นงานในส่วนที่เป็นกันโดยการวัดด้วยไมโครมิเตอร์ที่มีเครื่องหมายการค้าเป็น Mitutoyo มีความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร โดยตำแหน่งการวัดส่วนที่เป็นกันของชิ้นงานแสดงดังภาพที่ 6 (ก) และทำการตรวจสอบความฉากของรอยบากด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) ที่มีเครื่องหมายการค้า Olympus รุ่น STM6 ร่วมกับโปรแกรม Olympus stream basic โดยใช้รูปแบบการวัดมุม 4 ตำแหน่ง (4 Point angle) ซึ่งตำแหน่งการวัดจากการตัดชิ้นงานจริงแสดงในภาพที่ 6 (ข) ทั้งนี้ขนาดระบุและพิกัดความเผื่อของกันชิ้นงานที่ 4.594 ± 0.01 มิลลิเมตร และความฉากของรอยบากที่ 90 ± 0.50 องศา



(ก) ตำแหน่งการวัดขนาดชิ้นงานส่วนที่เป็นกัน



(ข) ตำแหน่งการวัดชิ้นงานที่เป็นร่องบาก 90 องศา

ภาพที่ 6 ตำแหน่งการวัดขนาดมุมของชิ้นงาน

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 ผลการประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงาน

การตรวจสอบความสามารถของอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดโดยการวัดระยะห่างจากตำแหน่งอ้างอิง

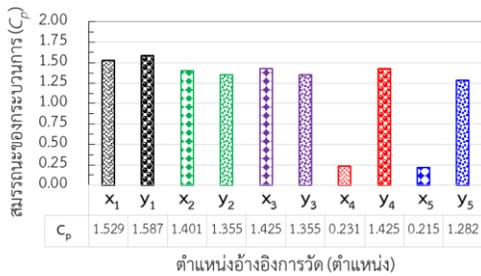
จำนวน 35 ครั้ง ภายใต้เงื่อนไขการถอดแล้วประกอบใหม่โดยใช้วัสดุชิ้นงานเดียวกัน และการถอดแล้วประกอบโดยเปลี่ยนชิ้นงานใหม่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์ช่วยในการจัดยึดชิ้นงาน

ครั้งที่	ระยะการวัดจากตำแหน่งอ้างอิง โดยถอดและจับยึดชิ้นงานเดิมซ้ำ (มิลลิเมตร)					ระยะการวัดจากตำแหน่งอ้างอิง โดยถอดเปลี่ยนชิ้นงานใหม่ (มิลลิเมตร)				
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	X ₄	Y ₄	X ₅	Y ₅
1	33.6885	4.1229	44.6673	6.2180	44.6664	6.2179	33.6834	4.1216	44.6645	6.2161
2	33.6898	4.1223	44.6684	6.2165	44.6665	6.2168	33.6999	4.1229	44.6678	6.2168
3	33.6917	4.1242	44.6696	6.2199	44.6697	6.2170	33.6958	4.1213	44.6782	6.2200
4	33.6889	4.1243	44.6695	6.2204	44.6699	6.2167	33.6879	4.1234	44.6695	6.2192
5	33.6910	4.1233	44.6673	6.2189	44.6675	6.2168	33.7004	4.1232	44.6702	6.2184
6	33.6900	4.1241	44.6675	6.2190	44.6681	6.2188	33.6938	4.1228	44.6711	6.2186
7	33.6896	4.1216	44.6680	6.2155	44.6686	6.2176	33.7023	4.1234	44.6650	6.2170
8	33.6887	4.1241	44.6666	6.2174	44.6654	6.2198	33.6867	4.1240	44.6666	6.2190
9	33.6900	4.1227	44.6666	6.2182	44.6673	6.2178	33.6947	4.1236	44.6780	6.2193
10	33.6885	4.1232	44.6650	6.2183	44.6669	6.2192	33.6934	4.1240	44.6871	6.2191
11	33.6902	4.1226	44.6663	6.2184	44.6681	6.2165	33.7001	4.1234	44.6635	6.2167
12	33.6879	4.1226	44.6689	6.2174	44.6672	6.2181	33.7046	4.1216	44.6629	6.2187
13	33.6887	4.1239	44.6667	6.2167	44.6686	6.2188	33.6948	4.1242	44.6688	6.2168
14	33.6883	4.1216	44.6677	6.2183	44.6674	6.2192	33.6893	4.1219	44.6734	6.2196
15	33.6907	4.1227	44.6681	6.2162	44.6686	6.2169	33.6975	4.1208	44.6739	6.2172

ตารางที่ 1 (ต่อ) ผลการทดลองประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์ช่วยในการจัดยึดชิ้นงาน

ครั้งที่	ระยะการวัดจากตำแหน่งอ้างอิง						ระยะการวัดจากตำแหน่งอ้างอิง			
	โดยถอดและจับยึดชิ้นงานเดิมซ้ำ (มิลลิเมตร)						โดยถอดเปลี่ยนชิ้นงานใหม่ (มิลลิเมตร)			
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	X ₄	Y ₄	X ₅	Y ₅
16	33.6881	4.1237	44.6658	6.2162	44.6680	6.2195	33.6883	4.1240	44.6795	6.2195
16	33.6881	4.1237	44.6658	6.2162	44.6680	6.2195	33.6883	4.1240	44.6795	6.2195
17	33.6913	4.1208	44.6676	6.2183	44.6680	6.2197	33.6865	4.1210	44.6567	6.2162
18	33.6884	4.1209	44.6673	6.2170	44.6657	6.2193	33.6853	4.1217	44.6576	6.2167
19	33.6912	4.1229	44.6677	6.2183	44.6689	6.2163	33.7047	4.1238	44.6734	6.2191
20	33.6904	4.1219	44.6670	6.2174	44.6665	6.2185	33.6983	4.1229	44.6667	6.2165
21	33.6915	4.1220	44.6678	6.2192	44.6676	6.2174	33.6985	4.1215	44.6598	6.2197
22	33.6905	4.1235	44.6704	6.2181	44.6669	6.2168	33.6872	4.1212	44.6831	6.2196
23	33.6913	4.1232	44.6670	6.2176	44.6656	6.2152	33.6894	4.1235	44.6814	6.2189
24	33.6888	4.1220	44.6683	6.2194	44.6688	6.2173	33.6904	4.1237	44.6739	6.2187
25	33.6904	4.1214	44.6686	6.2183	44.6690	6.2160	33.7123	4.1208	44.6765	6.2169
26	33.6895	4.1242	44.6680	6.2160	44.6672	6.2188	33.6956	4.1221	44.6696	6.2164
27	33.6901	4.1214	44.6671	6.2178	44.6693	6.2178	33.6856	4.1215	44.6843	6.2175
28	33.6897	4.1217	44.6670	6.2151	44.6660	6.2176	33.6949	4.1236	44.6737	6.2168
29	33.6897	4.1221	44.6690	6.2180	44.6674	6.2156	33.6893	4.1234	44.6599	6.2197
30	33.6916	4.1241	44.6667	6.2199	44.6659	6.2181	33.7123	4.1211	44.6721	6.2166
31	33.6891	4.1237	44.6672	6.2180	44.6678	6.2193	33.6894	4.1215	44.6629	6.2168
32	33.6895	4.1226	44.6689	6.2192	44.6680	6.2179	33.6983	4.1207	44.6619	6.2191
33	33.6893	4.1234	44.6658	6.2180	44.6672	6.2184	33.7004	4.1221	44.6778	6.2186
34	33.6907	4.1212	44.6674	6.2183	44.6668	6.2195	33.6945	4.1240	44.6656	6.2195
35	33.6896	4.1236	44.6655	6.2184	44.6683	6.2187	33.6993	4.1237	44.6668	6.2194
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00109	0.00105	0.00119	0.00123	0.00117	0.00123	0.00722	0.00117	0.00776	0.00130
ขนาดระบุ (มิลลิเมตร)	33.6900	4.1225	44.6680	6.2180	44.6680	6.2180	33.6900	4.1225	44.6680	6.2180
พิกัดความเผื่อ (มิลลิเมตร)	± 0.005	± 0.005	± 0.005	± 0.005	± 0.005	± 0.005	± 0.005	± 0.005	± 0.005	± 0.005
S _J (มิลลิเมตร)	33.6950	4.1275	44.6725	6.2230	44.6726	6.2230	33.6950	4.1275	44.6754	6.2230
S _L (มิลลิเมตร)	33.6850	4.1175	44.6625	6.2130	44.6626	6.2130	33.6850	4.1175	44.6654	6.2130
C _P	1.5291	1.5873	1.4006	1.3550	1.4245	1.3550	0.2308	1.4245	0.2148	1.2821



ภาพที่ 7 สมรรถนะของกระบวนการจับยึดชิ้นงาน โดยใช้อุปกรณ์ช่วยในการจับยึด

สมรรถนะของกระบวนการสำหรับการจับยึดชิ้นงานโดยใช้อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดแสดงดังภาพที่ 7 พบว่า ความสามารถในการจับยึดชิ้นงานสำหรับการตัดส่วนที่เป็นกันโดยการจับซ้ำด้วยชิ้นงานเดิมซึ่งอ้างอิงตำแหน่งวัด x_1 และ y_1 มีค่าสมรรถนะของกระบวนการ (C_p) อยู่ที่ 1.529 และ 1.587 ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาแล้ว พบว่า ค่า C_p ที่ได้มากกว่า 1.33 สำหรับกระบวนการทำงานโดยทั่วไป ถือว่ากระบวนการทำงานดีในระดับผ่านเกณฑ์ของค่าความแปรปรวน (Variation) อย่างมีนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่ากระบวนการนั้นใช้งานได้ดี [6] ในส่วนของการจับยึดชิ้นงานสำหรับการตัดส่วนที่เป็นรอยบากอ้างอิงตำแหน่งวัด x_2, y_2, x_3 และ y_3 พบว่า มีค่าสมรรถนะของกระบวนการจับยึดอยู่ที่ 1.401, 1.355, 1.425 และ 1.355 ตามลำดับ จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดที่ได้ออกแบบและสร้างมีสมรรถนะของกระบวนการในการจับยึดอยู่ในเกณฑ์ใช้งานได้ดี

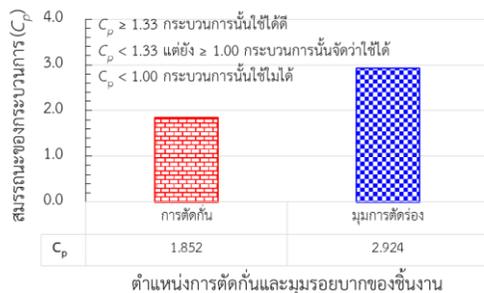
เมื่อพิจารณาถึงเงื่อนไขการใช้งานจริงที่ต้องการถอดเปลี่ยนชิ้นงาน พบว่า สมรรถนะของกระบวนการจับยึดสำหรับการตัดชิ้นงานส่วนที่เป็นกันโดยอ้างอิงตำแหน่งวัด x_4 และ y_4 มีค่า 0.231 และ 1.425 ตามลำดับ โดยในส่วนของกระบวนการจับยึด

ชิ้นงานสำหรับตัดรอยบากจากการอ้างอิงตำแหน่งวัด x_5 และ y_5 มีค่า 0.215 และ 1.282 ซึ่งสมรรถนะของกระบวนการที่น้อยกว่า 1.33 แต่มากกว่า 1 จัดว่ากระบวนการนั้นใช้ได้ อย่างไรก็ตามก็ตามผลจากการทดลอง พบว่า มีค่าสมรรถนะของกระบวนการจับยึดที่น้อยกว่า 1 แสดงว่ากระบวนการจับยึดนั้นไม่สามารถใช้งานได้ นั่นหมายความว่ากระบวนการยังมีความแปรปรวน (Variation) อันเนื่องมาจาก สาเหตุของปัญหาโดยทั่วไป ชนิดที่ยังควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable) อยู่มาก จำเป็นต้องค้นหาพารามิเตอร์ (Parameters) ที่ต้องควบคุมเพิ่มมากขึ้นเพื่อลดความแปรปรวนของกระบวนการลงให้มีค่าไม่เกิน 0.05 จึงจะทำให้ค่า $C_p > 1.33$ ได้ ซึ่งจากการทดลองนี้สามารถอธิบายสมรรถนะของการบวนการจับยึดชิ้นงานที่ต่ำเมื่อทำการเปลี่ยนชิ้นงานได้ว่าเป็นเหตุมาจากชิ้นงานที่แปรปรวนมาด้วยกระบวนการก่อนหน้าที่มีขนาดที่แตกต่างกันเนื่องจากในระบบการผลิตมีการยอมรับพิถีพิถันความเผื่อจึงทำให้ส่งผลต่อสมรรถนะในการจับยึด ดังนั้นในการตัดงานจริงจึงต้องทำการปรับตั้งตำแหน่งอ้างอิงในแนวแกน x ใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนชิ้นงาน [6]

3.2 ผลการประเมินสมรรถนะในการแปรรูปชิ้นงาน

ผลจากการทดลองตัดชิ้นงานในส่วนที่เป็นกันจำนวน 35 ชิ้น มีค่าเฉลี่ยของความหนาชิ้นงาน 5.5938 มิลลิเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) 0.0018 มิลลิเมตร โดยมีค่าพิสัยความเผื่อของชิ้นงานที่กำหนดตามแบบงาน ± 0.01 มิลลิเมตร โดยมีขนาดระบุของชิ้นงานเป็น 4.594 มิลลิเมตร ทำให้สามารถจำแนกเป็นเขตค่าสูงของสเปค (S_U) และเขตค่าต่ำของสเปค (S_L) เท่ากับ 4.604 และ 4.584 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อ

คำนวณหา ค่าสมรรถนะของ
กระบวนการตัด พบว่ามีค่าอยู่ที่ 1.852 โดยในส่วน
ของการตรวจสอบมุม 90 องศา ของรอยบากร่องที่มี
ขนาดพิกัดความเผื่อ ± 0.5 องศา (อ้างอิงค่าพิกัดความ
เผื่อทั่วไป DIN ISO 2768-1) [7] พบว่า ขนาดของมุม
เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 90.016 องศา และมีค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐาน 0.057 องศา โดยมีค่าสมรรถนะของ
กระบวนการตัดเท่ากับ 2.924 (คำนวณจาก $[(90 + 0.5) - (90 - 0.5)] / (6 \times 0.057)$) แสดงภาพที่ 8
จากภาพเมื่อเทียบกับดัชนีชี้วัดสมรรถนะของ
กระบวนการทำให้สามารถสรุปได้ว่าการตัดชิ้นงาน
โลหะด้วยลวดไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดที่
ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาอยู่ในเกณฑ์ใช้งานได้ดี



ภาพที่ 8 สมรรถนะการตัดชิ้นงานโลหะด้วยลวด
ไฟฟ้า

4. สรุปผล

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับ
ยึดสำหรับการตัดชิ้นงานแบบหลายชั้นตอนบนเครื่อง
ตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าจากการศึกษาและทดลองตัด
ชิ้นส่วนปลอกจับตอกส่วนแบบสปริง (Spring collet)
สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ความสามารถในการจับยึดของอุปกรณ์ที่
ออกแบบและสร้างขึ้นมาจากการทดสอบประเมิน

สมรรถนะของกระบวนการในการจับยึดเพื่อตัดส่วนที่
เป็นกันของชิ้นงานโดยอ้างอิงตำแหน่งในแนวแกน x
และ y ซึ่งเป็นการถอดและประกอบโดยใช้ชิ้นงานเดิม
มีค่า 1.529 และ 1.587 ตามลำดับ ในส่วนของ
การจับยึดชิ้นงานเพื่อตัดส่วนที่เป็นปลอกจับ มีค่า
สมรรถนะของกระบวนการ 1.401 และ 1.355 และ
เมื่อทำการหมุนปรับตำแหน่ง 90 องศา สมรรถนะ
ของกระบวนการจับยึดมีค่า 1.425 และ 1.355
ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าสมรรถนะของอุปกรณ์ช่วยใน
การจับยึดชิ้นงานอยู่ในเกณฑ์การใช้งานได้ดี

2) สมรรถนะของกระบวนการจับยึดเมื่อ
เปลี่ยนชิ้นงานใหม่โดยอ้างอิงระยะการวัด [8] ตาม
แนวแกน x สำหรับการตัดส่วนที่เป็นกันและปลอกจับ
ลดเหลือ 0.231 และ 0.215 จัดว่าอยู่ในเกณฑ์การใ้
งานไม่ได้ การลดลงของสมรรถนะมีสาเหตุมาจาก
ความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานที่จัดเตรียมผลิตซึ่งอยู่
ในเกณฑ์การยอมรับของระบบพิกัดความเผื่อ ดังนั้น
ในการปฏิบัติงานจริงต้องทำการปรับตั้งตำแหน่ง
อ้างอิงของชิ้นงานสำหรับการตัดในแนวแกน x ทุก
ครั้ง

3) สมรรถนะของกระบวนการตัดชิ้นงานโดย
ใช้อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดสำหรับการตัดชิ้นงาน
ส่วนที่เป็นกันและปลอกจับมีค่าสมรรถนะอยู่ที่ 1.852
และ 2.924 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าสมรรถนะของ
การตัดชิ้นงานบนเครื่องตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าโดยใ้
อุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานที่ออกแบบและสร้าง
ขึ้นมาอยู่ในเกณฑ์การใช้งานได้ดี

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัย ไครขอขอบคุณสาขาวิชา
วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ
สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมณฑลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนในการ
ดำเนินงานวิจัย

6. อ้างอิง

- [1] Bicknell G, Manogharan G. A Comparison of the Effects of Wire Electrical Discharge Machining Parameters on the Processing of Traditionally Manufactured and Additively Manufactured 316L Stainless Steel Specimens. Proceedings of the ASME 2018 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE2018); 2018 November 9-15; Pittsburgh, PA, USA; 2018. 1-6.
- [2] Gangil M, Pradhan MK, Purohit R. Review on modelling and optimization of electrical discharge machining process using modern techniques. Materials Today: Proceedings. 2017;4(2):2048-2057.
- [3] Wang Y, Chen X, Wang Z, et al. Fabrication of micro gear with intact tooth profile by micro wire electrical discharge machining. Mater Process Tech. 2018;252:137-147.
- [4] Bouquet J, Hensgen L, Klink A, et al. Fast production of gear prototypes—a comparison of technologies. Procedia CIRP. 2014;14:77-82.
- [5] Manoj IV, Narendranath S. Influence of machining parameters on taper square areas during slant type taper profiling using wire electric discharge machining. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021;1017(1):012012.
- [6] วีรพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์. วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2541.
- [7] บรรเลง ศรีนิล, สมนึก วัฒนศรีกุล. ตารางคู่มืองานโลหะ. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2553.
- [8] ฐปนันท อ่อนหวานวรกิจ, ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์. การเพิ่มกำลังการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์โดยการเพิ่มความเร็วยรอบในการผลิตของเครื่องจักร. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2562;(30):131-141