



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การปรับปรุงตัวหนุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผันในอุปกรณ์จับยึดสำหรับงานเจาะ Improvement of a variable-length work support for a drill fixture

จตุรงค์ รวยดี¹ พงศธร พรหมบุตร^{2*}

¹ โครงการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Jaturong Ruaydee¹ Pongtorn Prombut^{2*}

¹ Master of Engineering (Industrial Production Technology) Major Filed: Industrial Production Technology, Faculty of Engineering Kasetsart University

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

* Corresponding author.

E-mail: pongtorn.p@ku.ac.th; Telephone: 087 654 2709

วันที่รับบทความ 3 มกราคม 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 8 มีนาคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ 20 พฤษภาคม 2567

บทคัดย่อ

ในการผลิตท่อไอต์สำหรับเครื่องยนต์ซึ่งขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่ออะลูมิเนียมและนำไปปรับแต่งด้วยการเจาะรู เนื่องจากขนาดของชิ้นงานหล่อมีความเล็กใหญ่ต่างกันเล็กน้อย อุปกรณ์นำเจาะและจับงานจึงต้องมีการยึดด้วยตัวหนีบร่วมกับการใช้ตัวหนุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผันได้เพื่อรองรับความแตกต่างของขนาดท่อไอต์ ซึ่งถ้าการลอคตำแหน่งของตัวหนุนทำได้ไม่ดีท่อไอต์จะเกิดการขยับจนทำให้ตำแหน่งรูเจาะคลาดเคลื่อน การศึกษาจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงตัวหนุนชิ้นงานให้สามารถต้านทานแรงกดจากการหนีบยึดชิ้นงานโดยไม่มีการเลื่อนตามแรงกด และรูเจาะที่ได้มีจุดศูนย์กลางคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดไม่เกิน 0.5 มม. นอกจากนั้นยังสามารถทำงานแบบอัตโนมัติโดยสร้างแรงลอคที่คงที่และลดเวลาการทำงานได้ การดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาหลักการและทฤษฎีของการลอคตำแหน่งแท่งหนุนชิ้นงานโดยใช้พื้นผิวเสียดทานที่มีมุมเอียง ออกแบบ สร้างและทดสอบตัวหนุนชิ้นงานแบบใหม่ จากนั้นก็นำไปติดตั้งทดสอบกับเครื่องจักรในสายการผลิต การออกแบบตัวหนุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผันแบบใหม่ได้สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงกดกับแรงลอคที่ตัวหนุนต้องการ ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรตามเงื่อนไขการใช้งานสำหรับการออกแบบครั้งต่อไปได้ ผลการดำเนินงานพบว่า เมื่อใช้กับระบบไฮดรอลิกความดัน 40 บาร์ ชิ้นงานจะไม่มีการเลื่อนตามแรงกดที่เกิดจากตัวหนีบ จุดศูนย์กลางรูเจาะคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดโดยเฉลี่ย 0.145 มม. โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.056 มม. และสามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้ด้วยระบบไฮดรอลิก การผลิตท่อไอต์ที่ใช้ตัวหนุนชิ้นงานแบบใหม่ทำให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 33.33 เปอร์เซ็นต์ และการลงทุนปรับปรุงตัวหนุนชิ้นงานนี้มีระยะเวลาคืนทุน 4 เดือน

คำสำคัญ

ตัวหนุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผัน อุปกรณ์จับยึด อุปกรณ์นำเจาะและจับงาน ท่อไอต์

Abstract

In the production of intake manifolds for engines, the workpieces are formed by aluminum casting process and finished by machining and drilling. For drilling process, the fixture must secure the workpieces with clamps and variable-length work supports to accommodate the slight variations in the size of the cast workpieces. If the work supports are not completely locked, the workpieces may move along the compression forces from the clamps causing the deviation of the hole position. The objectives of this study are to improve the variable-length work support to withstand the

clamping force without movement. The hole must not deviate by more than 0.5 mm from the design position. Moreover, the new work support can function in automated operation thus generating a consistent locking force and reducing the overall operation time. The study began with the principles and theories on position locking using friction force on inclined surfaces. Followed by the design, production and test of the new work support. Finally, the new work support was installed onto the drilling machine for production testing. The design of the new variable-length work support has resulted in an equation relating the compressive force resistance and the locking force required by the support. This allows for the variable adjustment based on usage conditions in future designs. When the hydraulic pressure of 40 bars is supplied, there is no workpiece movement under the compressive force of the clamps. The average deviation of the hole center is 0.145 mm from the design position with the standard deviation of 0.056 mm. Lastly, the new work support with a hydraulic system can perform automated operation. The production of intake manifolds using the new variable-length work support has increased the production rate by 33.33%. The investment in this improvement has a payback period of 4 months.

Keywords

variable-length work support; fixture; jigs and fixtures; intake manifold

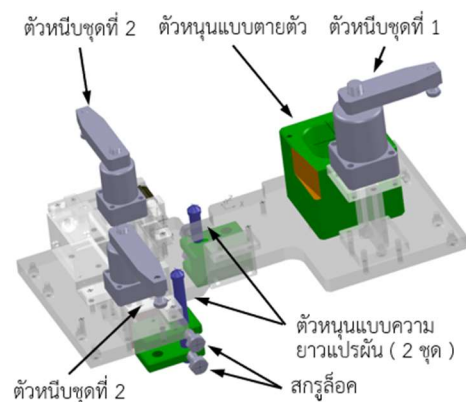
1. บทนำ

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ได้รับความนิยมใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์ ทั้งนี้เพราะสมบัติที่ดีหลายประการเช่น ความหนาแน่นที่ต่ำกว่าเหล็กถึงหนึ่งในสาม ไม่เป็นสนิมได้ง่าย ไม่เป็นพิษ นำความร้อนได้ดี มีคุณสมบัติไม่เป็นแม่เหล็ก[1] และเมื่อนำไปผสมกับธาตุอื่น จะได้โลหะผสมที่มีความแข็งแรง ต่อหน่วยน้ำหนักสูง[2]

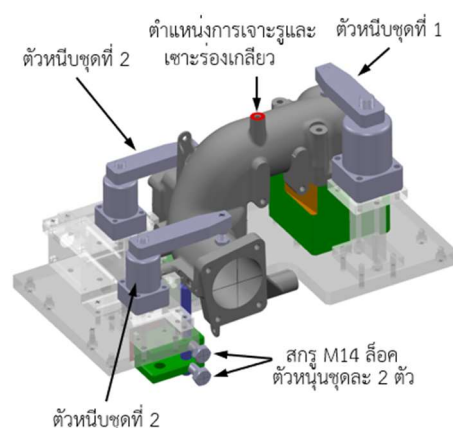
การผลิตชิ้นส่วนท่อไอเสียสำหรับเครื่องยนต์ เริ่มต้นด้วยการขึ้นรูปท่อไอเสียด้วยกระบวนการหล่ออะลูมิเนียม ตามด้วยกระบวนการอื่นๆ ในการปรับขนาด เจาะรู และปรับสภาพผิวชิ้นงาน ในขั้นตอนการเจาะรูซึ่งเป็นหัวข้อของการศึกษานี้ ท่อไอเสียจะถูกยึดเข้ากับอุปกรณ์นำเจาะและจับงานดังภาพที่ 1 โดยการวางท่อไอเสียบนตัวหนุนแบบตายตัวที่มีสลักกำหนดตำแหน่งแล้วจับยึดเข้ากับตัวหนุนดังกล่าวด้วยตัวหนีบชุดที่ 1 ส่วนปลายอีกด้านของท่อไอเสียจะวางอยู่บนตัวหนุนแบบความยาวแปรผัน 2 ชุด การใช้ตัวหนุนที่มีความยาวแปรผันได้มีสาเหตุมาจากท่อไอเสียที่ได้จากการหล่อจะมีขนาดภายนอกแตกต่างกันเล็กน้อยโดยเป็นผลจากความหนาของสารเคลือบแม่แบบ[3] ทำให้ต้องหนุนชิ้นงานที่ระดับความสูงต่างกัน ขั้นตอนต่อมาคือการล็อกตำแหน่งของตัวหนุนแบบความยาวแปรผันด้วยการขันสกรูล็อกแล้วจึงยึดท่อไอเสียด้วยตัวหนีบชุดที่ 2 ท่อไอเสียที่ถูกจับยึดเรียบร้อยแล้วแสดงได้ดังภาพที่ 2

ในขั้นตอนการเจาะรูและเจาะร่องเกลียวจะมีการใช้ดอกสว่านเจาะที่ตำแหน่งของรูเจาะดังแสดงในภาพที่ 2 ถ้าการล็อก

ตำแหน่งของตัวหนุนแบบความยาวแปรผันทำได้ไม่ดี ท่อไอเสียจะขยับได้จนทำให้ตำแหน่งของรูเจาะคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่กำหนด



ภาพที่ 1 อุปกรณ์นำเจาะและจับงานแบบเดิม



ภาพที่ 2 อุปกรณ์นำเจาะและจับงานแบบเดิมพร้อมชิ้นงานท่อไอเสีย

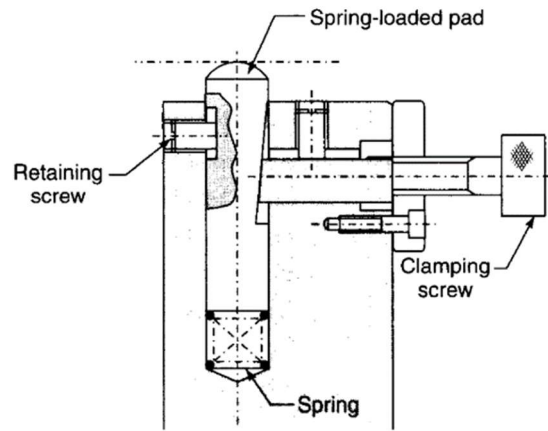
การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงตัวหนุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผันให้สามารถต้านทานแรงกดจากการยึดชิ้นงานด้วยตัวหนีชุดที่ 2 ได้ โดยไม่มีการเลื่อนตามแรงกดและรูเจาะที่ได้มีจุดศูนย์กลางคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดในแบบวิศวกรรมไม่เกิน 0.5 มม. รวมถึงให้สามารถจับยึดท่อไอดีได้แบบอัตโนมัติด้วยการกดปุ่มคำสั่งเพียงครั้งเดียว การปรับปรุงนี้เน้นไปที่การออกแบบให้ตัวหนุนยึดหรือหัดได้ตามตำแหน่งในแนวตั้งของผิวชิ้นงานที่จะจับยึด การทำงานอัตโนมัติเริ่มจากการจับชิ้นงานด้วยตัวหนีชุดที่ 1 ตามด้วยการล็อกตำแหน่งของตัวหนุนแบบความยาวแปรผันแล้วจึงจับชิ้นงานด้วยตัวหนีชุดที่ 2

2. ทฤษฎีและหลักการทำงาน

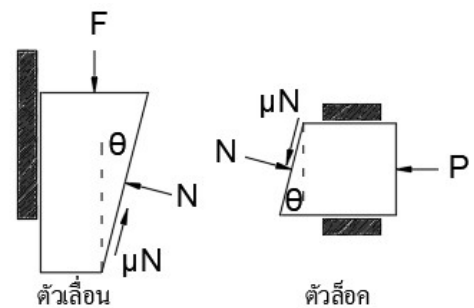
การหนุนชิ้นงานจากพื้นผิวราบ [4,5,6,7,8] เป็นหลักการออกแบบตัวหนุนชิ้นงานเพื่อกำหนดตำแหน่งในแนวตั้งและหนุนชิ้นงานไม่ให้เคลื่อนที่ในระหว่างการตัดเฉือน มีข้อเสนอแนะว่าควรใช้ตัวหนุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผันสำหรับชิ้นงานที่มีพื้นผิวหยาบหรือไม่สม่ำเสมอเช่น ชิ้นงานหล่อ กลไกการปรับระยะมีหลากหลายรูปแบบ การติดตั้งตัวหนุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผันสามารถติดตั้งได้ 1 ตัวหรือมากกว่า ควบคู่กับตัวหนุนแบบตายตัวเพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการจับยึดชิ้นงาน การศึกษานี้เลือกออกแบบตัวหนุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผันชนิดแท่งหนุนบนสปริงตามภาพที่ 3

ตัวหนุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผันชนิดแท่งหนุนบนสปริง[9] มีหลักการทำงานคือ แท่งหนุน (Spring loaded pad) สามารถเลื่อนลงได้ตามขนาดของชิ้นงานโดยจะกดสปริงที่รองรับอยู่ด้านล่างให้ยุบตัว จากนั้นแท่งหนุนจะถูกล็อกตำแหน่งด้วยการขันสกรูล็อค (Clamping screw) และมีสกรูยึด (Retaining Screw) ติดตั้งไว้ป้องกันแท่งหนุนไม่ให้หมุนหรือหลุดออกจากเสื่อตัวหนุน

จากงานวิจัยเรื่องแรงบนผิวสัมผัสแบบลิ้ม [10] ตามภาพที่ 4 มีหลักการทำงานคือ ตัวเลื่อนสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวตั้ง ส่วนตัวล็อกสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวนอน โดยตัวเลื่อนและตัวล็อกมีผิวสัมผัสเอียงเป็นมุม θ เมื่อมีแรงกด F กระทำที่ตัวเลื่อนและแรงล็อก P กระทำที่ตัวล็อก แรงในสถานะสมดุลสถิตจะเป็นไปตามสมการที่ (1), (2) และ (3)



ภาพที่ 3 ตัวหนุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผันชนิดแท่งหนุนบนสปริง [9]



ภาพที่ 4 แรงบนผิวสัมผัสแบบลิ้ม

สมดุลแนวตั้งของตัวเลื่อน

$$F = N \sin \theta + \mu N \cos \theta \quad (1)$$

สมดุลแนวนอนของตัวล็อก

$$P = N \cos \theta - \mu N \sin \theta \quad (2)$$

แรง P ที่ต้องการทำได้จาก

$$\begin{aligned} \frac{(2)}{(1)} &= \frac{P}{F} = \frac{N \cos \theta - \mu N \sin \theta}{N \sin \theta + \mu N \cos \theta} \\ P &= F \left(\frac{\cos \theta - \mu \sin \theta}{\sin \theta + \mu \cos \theta} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

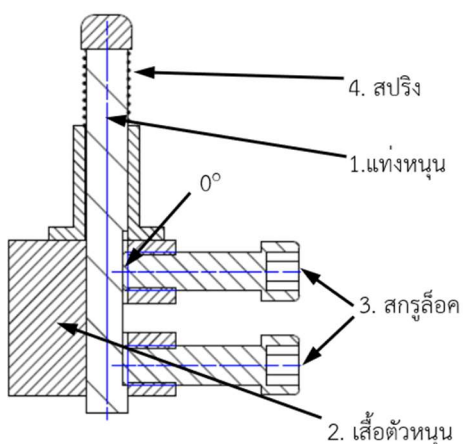
จากสมการที่ (3) ต้องใช้แรงล็อก (P) ดันตัวล็อกเพื่อต้านแรงกด (F) ที่กดลงบนตัวเลื่อนไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ โดย

ขนาดของแรง (P) ที่ต้องการขึ้นกับขนาดของแรงกด (F) ค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (μ) และค่ามุมเอียง (θ) ของผิวสัมผัส

ตัวหมุนขึ้นงาน แบบความยาวแปรผันแบบเดิม ประกอบด้วย แท่งหมุน, เลื้อยตัวหมุน, สกรูล็อค และ สปริง ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยผิวสัมผัสระหว่างปลายสกรูล็อคกับก้านของแท่งหมุนทำมุม 0° องศากับแนวตั้ง สปริงจะทำให้แท่งหมุนสามารถเลื่อนลงเมื่อมีแรงกด และเลื่อนกลับขึ้นมามีตำแหน่งเดิมเมื่อไม่มีแรงกดได้

ในขั้นตอนการทำงาน เมื่อติดตั้งชิ้นงานเข้ากับตัวหมุนแบบตายตัวแล้วชิ้นงานจะกดแท่งหมุนให้เลื่อนลง ซึ่งจะถือว่าชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว จึงต้องล็อคตำแหน่งของแท่งหมุนไม่ให้เลื่อนตามแรงกดของตัวหนีบชุดที่ 2 การล็อคตำแหน่งทำได้โดยการขันสกรูล็อคเพื่อสร้างแรงกดไปยังแท่งหมุน หลังจากการเจาะและนำชิ้นงานออกไปแล้ว เมื่อขันคลายสกรูล็อค สปริงจะดันแท่งหมุนให้เลื่อนกลับขึ้นไปตำแหน่งเดิมก่อนติดตั้งชิ้นงาน

กระบวนการทำงานของตัวหมุนขึ้นงานแบบความยาวแปรผันแบบเดิม มีขั้นตอนการกดปุ่มทำงานที่ละขั้นตอนรวมกับการขันสกรูเพื่อล็อค 41 วินาที และการกดปุ่มรวมกับการขันสกรูเพื่อคลายล็อค 34 วินาทีรวมใช้เวลา 75 วินาทีสำหรับการติดตั้งและถอดชิ้นงาน ดังภาพที่ 6 แสดงการขันสกรูล็อคโดยพนักงานในสายการผลิต การทำงานในขั้นตอนนี้อาจต่อเนื่องจะทำให้เกิดความเมื่อยล้า พนักงานต้องการช่วงเวลาพักและแรงบิดในการขันสกรูล็อคแต่ละครั้งอาจไม่เท่ากัน ดังนั้นหาก



ภาพที่ 5 ตัวหมุนขึ้นงานแบบเดิม

สามารถทำให้ตัวหมุนขึ้นงานทำงานได้แบบอัตโนมัติจะทำให้กระบวนการทำงานมีความสม่ำเสมอมากขึ้นและใช้เวลาน้อยลง

3. การดำเนินงาน

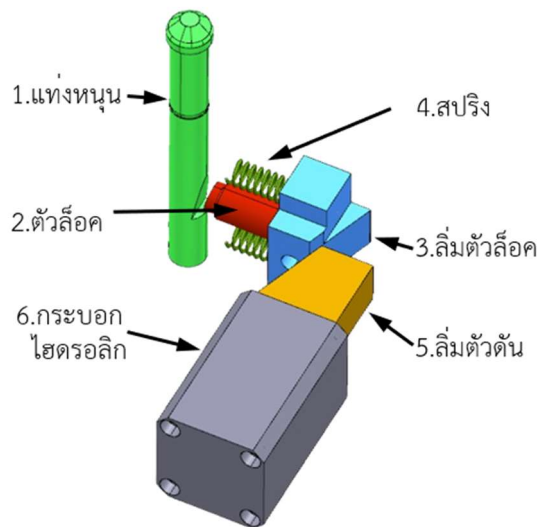
3.1 การออกแบบและสร้างตัวหมุนขึ้นงานแบบใหม่

ตัวหมุนขึ้นงานแบบความยาวแปรผันแบบใหม่ประกอบด้วย แท่งหมุน, ตัวล็อค, ลิ่มตัวล็อค, สปริงลิ่มตัวล็อค, ลิ่มตัวดัน และกระบอกไฮดรอลิก ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยผิวสัมผัสของแท่งหมุนและตัวล็อคมีมุมเอียง 11.18° องศาเทียบกับแนวตั้ง สปริงที่ใช้มีค่าคงที่ $k = 1.51 \text{ N/mm}$ มีการเจียระไนให้มีค่าความเรียบผิวของแท่งหมุน 0.3 Ra และชุบผิวให้มีค่าความแข็ง 48 HRC

การทำงานของตัวหมุนขึ้นงานแบบใหม่ ต่างจากแบบเดิมอยู่ 2 ส่วน คือการเปลี่ยนไปใช้ผิวสัมผัสเอียงแบบลิ่มเพื่อสร้างแรงเสียดทานในการล็อคตำแหน่งแท่งหมุน และการใช้กระบอกไฮดรอลิกสร้างแรงที่ตัวล็อคแทนสกรูล็อคซึ่งระบบไฮดรอลิกสามารถพัฒนาต่อเป็นระบบอัตโนมัติได้[11,12,13] มีสปริงเป็นตัวช่วยให้แท่งหมุนและตัวล็อคเลื่อนกลับตำแหน่งตั้งต้นเมื่อคลายล็อค



ภาพที่ 6 การขันสกรูล็อคเข้าและออกสำหรับตัวหมุนขึ้นงานแบบความยาวแปรผันแบบเดิม



ภาพที่ 7 ตัวหมุนขึ้นงานความยาวแปรผันแบบใหม่

3.2 การทดสอบแรงกดจากการขันสกรูล็อค

เครื่องมือทดสอบแรงกดของสกรูล็อคประกอบด้วยแท่นสำหรับขันสกรู โดยปลายสกรูจะกดเข้ากับโหลดเซลล์ขนาด 500 กก. (4,905 นิวตัน) ดังภาพที่ 8 สกรูจะถูกขันโดยใช้ประแจวัดแรงบิด ทำการทดสอบ 3 ครั้งแล้วนำค่าแรงกดที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 8 เครื่องทดสอบแรงกดจากการขันสกรูล็อค

ผลการทดสอบขันสกรูล็อคขนาด M14 ด้วยแรงบิด 5, 10 และ 15 นิวตัน-เมตร ค่าเฉลี่ยแรงกดได้ดังแสดงในตารางที่ 1

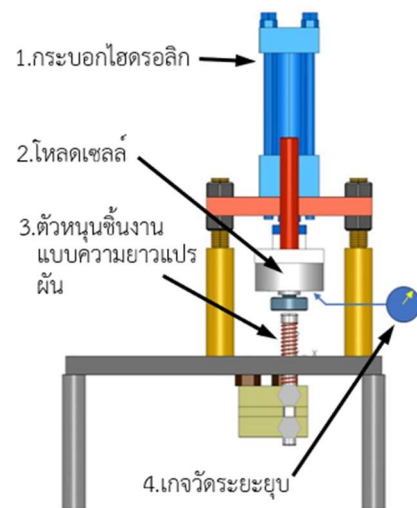
ตารางที่ 1 แรงกดที่ได้จากการขันสกรูล็อค

แรงบิด (N-m)	แรงกด (N)
5	1,36.134
10	2,422.74
15	3,770.96

3.3 การทดสอบหาความต้านทานแรงกด

เครื่องทดสอบหาความต้านทานแรงกดของตัวหมุนขึ้นงานใช้กระบอกลูกสูบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 มม. และต้นกำลังไฮดรอลิกที่มีแรงดันสูงสุด 70 บาร์ สร้างแรงกดผ่านโหลดเซลล์ ไปยังแท่งหมุน โดยใช้เครื่องมือวัดระยะแสดงการเคลื่อนที่ของชุดหัวกดดังภาพที่ 9 กำหนดให้ความต้านทานแรงกดมีค่าเท่ากับค่าแรงที่วัดได้จากโหลดเซลล์เมื่อชุดหัวกดเคลื่อนที่ไป 0.05 มม.

การทดสอบตัวหมุนขึ้นงานแบบเดิมทำโดยการขันสกรูล็อค M14 จำนวน 2 ตัว ด้วยแรงบิด 5, 10 และ 15 นิวตัน-เมตร เพื่อสร้างแรงล็อค (P) จากนั้นเมื่อทำการกดแท่งหมุนด้วย



ภาพที่ 9 เครื่องทดสอบการกดตัวหมุนขึ้นงาน

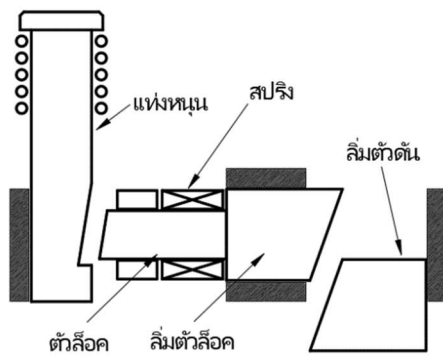
กระบอกลูกสูบจนได้ระยะการเคลื่อนที่ 0.05 มม. จึงสามารถบันทึกค่าแรงกด (F) เป็นค่าความต้านทานแรงกดของตัวหมุนขึ้นงานทำการทดสอบอย่างละ 3 ครั้งและนำค่าเฉลี่ยของแรงกดมาแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความต้านทานแรงกด (F) ของตัวหมุนชิ้นงานแบบเดิม

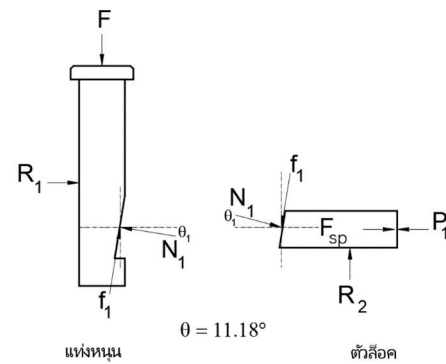
แรงบิด (N-m)	แรงลือก (P) (N)	แรงกด (F) (N)
5	2,268.72	1,359.67
10	4,845.48	1,677.51
15	7,541.92	1,800.79

การทดสอบตัวหมุนชิ้นงานแบบใหม่ทำโดยการให้แรงดันกับกระบอกไฮดรอลิกของตัวหมุน 3 ระดับคือ 30, 40 และ 50 บาร์เพื่อสร้างแรงลือกที่ลิมิตตัวดัน (P_2) จากนั้นทำการกดแท่งหมุนด้วยกระบอกไฮดรอลิกของตัวกดและวัดค่าแรงกด (F) ที่ระยะการเคลื่อนที่ 0.05 มม. บันทึกค่าเฉลี่ยของแรงกดจากการทดสอบ 3 ครั้งเป็นค่าความต้านทานแรงกดของตัวหมุนชิ้นงานแบบใหม่มาแสดงได้ดังตารางที่ 3

การส่งผ่านแรงเพื่อลือกแท่งหมุนอธิบายได้ดังภาพที่ 10 แรงจากกระบอกไฮดรอลิกของตัวหมุนจะทำให้ลิมิตตัวดันเลื่อนในแนวตั้งไปดันลิมิตตัวลือกซึ่งเคลื่อนที่ได้ในแนวนอน จากนั้นลิมิตตัวลือกจะดันให้ตัวลือกกดเข้ากับผิวเสียดทานของแท่งหมุนเพื่อสร้างแรงในการลือกตำแหน่งแท่งหมุนอีกที การคำนวณแรงที่เกี่ยวข้อง เป็นไปตามหลักสมดุลของแรงและแสดงได้ดังภาพที่ 11 และ 12



ภาพที่ 10 ส่วนประกอบในการส่งผ่านแรงเพื่อลือกแท่งหมุน



ภาพที่ 11 สมดุลของแรงระหว่างแท่งหมุนและตัวลือก

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงลือกจากกระบอกไฮดรอลิก (P_2) และความต้านทานแรงกด (F) ของตัวหมุน แสดงได้ดังสมการที่ (4) ถึง (11)

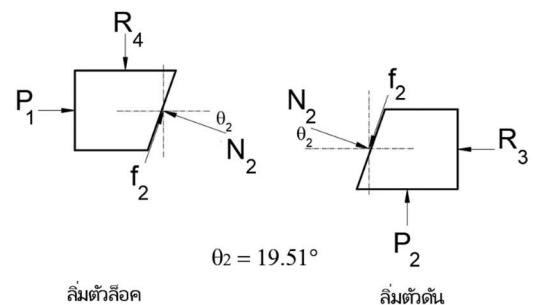
เนื่องจากแรงสปริง (F_{sp}) 2 ตัวรวมกันมีค่าเพียง 30.2 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรง P_1 (2,545.63 นิวตัน) คิดเป็น 1.19 เปอร์เซ็นต์จึงไม่นำมารวมคำนวณ

สมดุลของแรงในภาพที่ 11 อธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = N_1 \sin \theta_1 + \mu_1 N_1 \cos \theta_1 \quad (4)$$

$$P_1 = N_1 \cos \theta_1 - \mu_1 N_1 \sin \theta_1 \quad (5)$$

$$\frac{F}{P_1} = \frac{\sin \theta_1 + \mu_1 \cos \theta_1}{\cos \theta_1 - \mu_1 \sin \theta_1} \quad (6)$$



ภาพที่ 12 สมดุลของแรงระหว่างลิมิตตัวลือกและลิมิตตัวดัน

สมดุลของแรงในภาพที่ 12 อธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_1 = N_2 \cos \theta_2 - \mu_2 N_2 \sin \theta_2 \quad ((7)$$

$$P_2 = N_2 \sin \theta_2 + \mu_2 N_2 \cos \theta_2 \quad ((8)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\cos \theta_2 - \mu_2 \sin \theta_2}{\sin \theta_2 + \mu_2 \cos \theta_2} \quad ((9)$$

เนื่องจากแท่งหมุน ตัวล็อก ลิ่มตัวล็อก และลิ่มตัวดันผลิตจากวัสดุชนิดเดียวกัน ผ่านการชุบแข็ง ชัดผิวด้วยกระบวนการแบบเดียวกันสามารถประมาณได้ว่า

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu \quad ((10)$$

หาความสัมพันธ์ของ F และ P_2 ได้จากการคูณสมการที่ (6) และสมการที่ (9) เข้าด้วยกัน

$$\frac{F}{P_2} = \frac{(\sin \theta_1 + \mu \cos \theta_1) \cdot (\cos \theta_2 - \mu \sin \theta_2)}{(\cos \theta_1 - \mu \sin \theta_1) \cdot (\sin \theta_2 + \mu \cos \theta_2)} \quad (11)$$

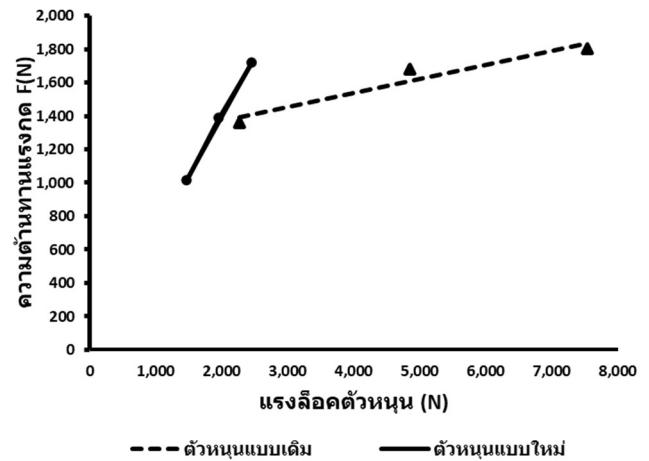
การคำนวณค่า μ จากสมการที่ (11) ใช้ค่า $\theta_1 = 11.18^\circ$, $\theta_2 = 19.51^\circ$, ใช้ค่าแรงล็อก (P_2) และแรงกด (F) จากการทดลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความต้านทานแรงกด (F) และ สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (μ) ของตัวหมุนขึ้นงานแบบใหม่

แรงล็อก (P_2) (N)	แรงกด (F) (N)	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ)
1,473.10	1,012.39	0.185
1,964.13	1,384.85	0.227
2,455.17	1,717.40	0.205

เมื่อนำค่าความต้านทานแรงกด (F) มาพล็อตเทียบกับค่าแรงล็อกสำหรับตัวหมุนขึ้นงานแบบเดิม (P) และแบบใหม่ (P_2) ตามภาพที่ 13 จะเห็นว่าตัวหมุนขึ้นงานแบบใหม่ใช้แรงล็อกน้อยกว่าแบบเดิมในการสร้างความต้านทานแรงกดที่

ใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นเส้นกราฟของตัวหมุนขึ้นงานแบบใหม่ยังมีความชันมากกว่า จึงสามารถเพิ่มความต้านทานแรงกดได้มากกว่าแบบเดิมหากมีการเพิ่มแรงล็อกเท่ากัน



ภาพที่ 13 ความต้านทานแรงกดเทียบกับแรงล็อกของตัวหมุนขึ้นงาน

สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานที่คำนวณได้ในตารางที่ 3 มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.206 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.021 ทำให้เชื่อได้ว่ากลไกการล็อกแท่งหมุน เป็นไปตามหลักการของแรงเสียดทานบนพื้นผิวเอียง

3.4 การตั้งค่าแรงดันไฮดรอลิกของตัวหมุน

เนื่องจากตัวหมุนขึ้นงานแบบใหม่สร้างแรงล็อกโดยใช้แรงดันไฮดรอลิกแทนการขันสกรูล็อกที่ใช้ในตัวหมุนแบบเดิม จึงต้องมีการทดสอบหาค่าแรงดันทำงานที่เหมาะสม ภาพที่ 14 แสดงการวางท่อไอดีเข้ากับอุปกรณ์น้ำเจาะและปั๊มงานที่ติดตั้งตัวหมุนขึ้นงานแบบใหม่

การทดสอบใช้แรงดันไฮดรอลิกสำหรับการหนีบขึ้นงาน 40 และ 50 บาร์ และปรับแรงดันไฮดรอลิกสำหรับตัวหมุนขึ้นงานตั้งแต่ 0 ถึง 50 บาร์ การหนีบขึ้นงานแต่ละครั้งจะมีการวัดระยะเลื่อนของท่อไอดีโดยใช้อุปกรณ์วัดระยะ ตารางที่ 4 แสดงระยะเลื่อนของท่อไอดีที่วัดได้ ผลการทดสอบพบว่าค่าแรงดันน้อยที่สุดที่สามารถหนีบขึ้นงานไม่ให้เคลื่อนที่ตามแรงกดของตัวหนีบคือ 40 บาร์โดยตัวหนีบจะต้องทำงานที่แรงดัน 40 บาร์เช่นกัน



ภาพที่ 14 การวางชิ้นงานท่อไอดีเข้ากับอุปกรณ์นำเจาะและจับงานเพื่อทดสอบ

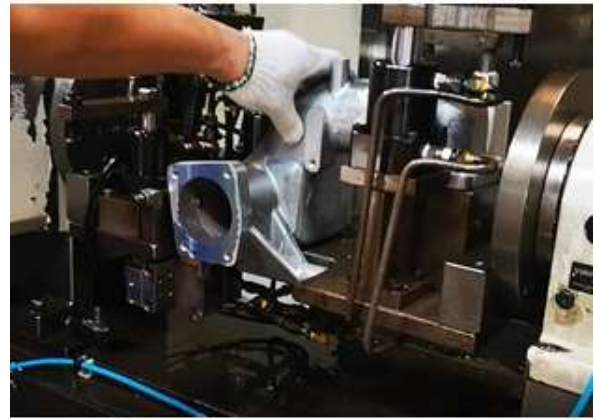
ตารางที่ 4 ระยะเลื่อนของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงตามการตั้งค่าแรงดันไฮดรอลิก

ระยะเลื่อน (มม.)	แรงดันไฮดรอลิกของตัวหมุน (บาร์)					
แรงดันไฮดรอลิกของ ตัวหนีบ (บาร์)	0	10	20	30	40	50
40	0.02	0.02	0.01	0.01	<u>0.00</u>	0.00
50	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00

3.5 การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

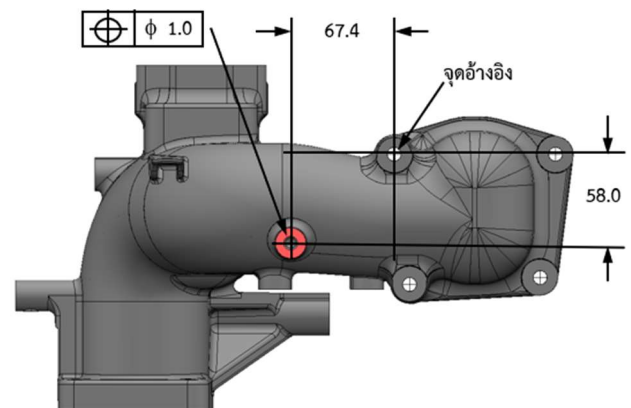
หลังจากติดตั้งอุปกรณ์นำเจาะและจับงานเข้ากับเครื่องจักรในสายการผลิต และตั้งค่าแรงดันไฮดรอลิก 40 บาร์สำหรับทั้งตัวหนีบและตัวหมุน ก็จะสามารถจับชิ้นงานเพื่อทดลองผลิตได้ดังภาพที่ 15 การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานทำโดยการนำท่อไอดีที่ผลิตต่อเนื่อง 3 ชิ้นไปวัดตำแหน่งรูเจาะด้วยเครื่องมือวัด 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine: CMM)

ระยะควบคุมของตำแหน่งรูเจาะวัดจากจุดอ้างอิงประกอบด้วยระยะแนวตั้ง 58.0 มม. ระยะแนวนอน 67.4 มม. และจุดศูนย์กลางของรูเจาะต้องอยู่ภายในวงกลมรัศมี 0.5 มม. วัดจากตำแหน่งในแบบวิศวกรรมดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 15 การทดสอบผลิตชิ้นงาน

จากผลการวัดตำแหน่งรูเจาะในตารางที่ 5 พบว่าระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งจุดศูนย์กลางรูเจาะมีค่าเฉลี่ย 0.145 มม. ระยะแนวตั้งและแนวนอนมีค่าเฉลี่ย 57.880 และ 67.482 มม. จะเห็นได้ว่าตำแหน่งรูเจาะมีความคลาดเคลื่อนที่ยินยอมได้คือน้อยกว่า 0.5 มม. อุปกรณ์นำเจาะและจับงานที่ใช้ตัวหมุนชิ้นงานแบบความยาวแปรผันแบบใหม่จึงสามารถใช้งานได้จริงในสายการผลิต



ภาพที่ 16 ระยะควบคุมของตำแหน่งรูเจาะ

ตารางที่ 5 ผลการวัดตำแหน่งรูเจาะ

การตรวจสอบ	ประเภท	ค่าควบคุม (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)
1	ตำแหน่งรูเจาะ	คลาดเคลื่อน < 0.5	145.0
2	ระยะแนวตั้ง	00.58±3.0	880.57
3	ระยะแนวนอน	4.670±3.0	482.67

4. สรุปผลการดำเนินงาน

การออกแบบตัวหุ่นขึ้นงานแบบความยาวแปรผันแบบใหม่สามารถสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงกดสูงสุดและแรงล้อยที่ตัวหุ่นต้องการได้ ตัวแปรในสมการประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (μ) และมุมเอียงของผิวสัมผัส (θ_1, θ_2) สมการที่ได้สามารถนำไปใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับการออกแบบครั้งต่อไปได้ เช่น การเพิ่มความต้านทานแรงกดหรือการลดแรงล้อยที่ต้องใช้

ตัวหุ่นขึ้นงานแบบใหม่ที่ได้จากงานวิจัยนี้ต้องการแรงล้อยน้อยกว่าตัวหุ่นแบบเดิมในการสร้างความต้านทานแรงกดเท่ากันและสามารถเพิ่มความต้านทานแรงกดได้มากกว่าแบบเดิมหากมีการเพิ่มแรงล้อยเท่ากัน นอกจากนั้นสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานที่คำนวณจากข้อมูลการทดสอบมีค่าค่อนข้างคงที่ จึงเชื่อได้ว่ากลไกการล้อยที่หุ่นเป็นไปตามหลักการของแรงเสียดทานบนพื้นผิวเอียง

เมื่อติดตั้งตัวหุ่นขึ้นงานแบบความยาวแปรผันแบบใหม่เข้ากับอุปกรณ์นำเจาะและจับงานและใช้ค่าแรงดันไฮดรอลิก 40 บาร์สำหรับทั้งตัวหนีบและตัวหุ่น พบว่าชิ้นงานท่อไอดีไม่มีการเคลื่อนที่ตามแรงกดจากตัวหนีบขึ้นงาน การทดลองผลิตชิ้นงานพบว่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางรูเจาะมีระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.145 มม. จากตำแหน่งที่กำหนดในแบบวิศวกรรมโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.056 มม. ระยะคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าข้อกำหนดของชิ้นงานที่ยอมรับความคลาดเคลื่อนได้สูงสุด 0.5 มม. ดังนั้นตัวหุ่นขึ้นงานแบบใหม่จึงสามารถใช้ในการผลิตชิ้นงานได้จริงทั้งนี้ตัวหุ่นขึ้นงานแบบใหม่ทำงานด้วยแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกจึงเหมาะกับการใช้งานในสายการผลิตที่มีระบบไฮดรอลิกอยู่แล้ว

การใช้งานตัวหุ่นขึ้นงานแบบความยาวแปรผันแบบเดิมจะต้องสูญเสียเวลาสำหรับการติดตั้งและถอดชิ้นงานท่อไอดี อีกทั้งยังต้องมีเวลาหยุดพักเนื่องจากความเมื่อยล้าของพนักงาน แรงบิดในการขันสกรูล้อยแต่ละครั้งอาจไม่เท่ากันทำให้ชิ้นงานบางส่วนไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ สำหรับตัวหุ่นขึ้นงานแบบใหม่ สามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติด้วยระบบไฮดรอลิก การจับชิ้นงานด้วยตัวหนีบชุดที่ 1 ตามด้วยการล้อยตำแหน่งของตัวหุ่นแบบความยาวแปรผันแล้วจึงจับชิ้นงานด้วยตัวหนีบชุดที่ 2 เกิดขึ้นจากการกดปุ่มคำสั่งเพียงครั้งเดียว สามารถ

ลดระยะเวลาทำงานและสร้างความต้านทานแรงกดได้สม่ำเสมอ

จากข้อมูลการผลิตท่อไอดีโดยใช้อุปกรณ์นำเจาะและจับงานที่มีการติดตั้งตัวหุ่นขึ้นงานแบบความยาวแปรผันได้แบบใหม่ พบว่าอัตราการผลิตโดยรวมเพิ่มขึ้นจาก 27 ชิ้น เป็น 36 ชิ้นต่อกะ หรือเพิ่มขึ้น 33.33% ทั้งนี้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้นเนื่องจากพนักงานใช้เวลาน้อยลงในการเตรียมอุปกรณ์และการติดตั้งอุปกรณ์ นอกจากนั้นชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ผ่านเกณฑ์ยังมีจำนวนลดลง ผลตอบแทนการลงทุนสำหรับการปรับปรุงตัวหุ่นขึ้นงานแบบความยาวแปรผันได้มีระยะเวลาคืนทุน 4 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมงานฝ่ายวิจัยและพัฒนา ทีมงานแผนกฟีกซ์เจอร์ บริษัท ซี เอส พี คาสติง (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูล และการดำเนินงานอันเป็นประโยชน์ต่อการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] C LINE Limited Partnership. อลูมิเนียมแผ่น เข้าถึงได้จาก: <https://www.clinemetal.com/contecnt/20511/aluminium-sheetww> [เข้าถึงเมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2567]
- [2] Aluminium M. ความสำคัญของอลูมิเนียมต่ออุตสาหกรรม. เข้าถึงได้จาก: <http://www.mka.co.th/important.php> [เข้าถึงเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2563]
- [3] Malhotra V, Kumar Y, Study of process parameters of gravity die casting defects. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2016;7(2): 208-211.
- [4] Hoffman EG. *Jig and Fixture Design*. New York: Delma, Cengage Learning; 2004.p 25-30.
- [5] Boerma JR, Kals HJJ , *Fixture Design with FIXES : the Automatic Selection of Positioning, Clamping and Support Feature for Prismatic Parts*, Laboratory of production Engineering. University of Twente. 1989. p. 400-401

- [6] Panchbhai SS, Raut LP. A Review on design of fixtures. *International Journal of Engineering Research and General Science*.2014;2: 129-132
- [7] Okpala CC, Okechukwu EC.The Design and Need for Jigs and Fixtures in Manufacturing. *Science Research*. 2015: 214-217.
- [8] Radhwan H, Effendi MSM, Rosli MF, Shayfull Z, Nadia KN. Design and Analysis of Jigs and Fixtures for Manufacturing Process. *Joint Conference on Green Engineering Technology & Applied Computing*. 2019: 3-5.
- [9] Joshi PH. *Jigs and Fixtures Design Manual (2nd Ed.)*. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc. 2003: 26-22.
- [10] Aguirrebeitia J, Müftü S, Abasolo M, Vallejo J. Experimental study of the removal force in tapered implant- abutment interfaces: A pilot study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2014; 111(4): 293-300.
- [11] Pachbhai SS, Raut LP. Design and Development of Hydraulic Fixture for Machining Hydraulic Lift Housing, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. 2014;3(3): 205-207.
- [12] Reddy SDVVS, Reddy PS, Subrahmanyam V. Design and analysis of machining (Hydraulic) fixture for AVTEC transmission case component. *International Journal of Science Engineering and Advance Technology*. 2014;2(7): 203-206.
- [13] Dhulia JK, Maniar NP, Design, Modelling and manufacturing of 16 cylinder hydraulic fixture with automated clamping system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019: 4-7.