การศึกษาและวิเคราะห์กรรมวิธีการขึ้นรูปและผลิตชิ้นงานต้นแบบ ด้วยวิธีการขึ้นรูปในระดับไมโครสเกล

Study and Analysis of Machining Process and Prototype Manufacturing Using a Microscale Machining Method

ธีรยุทธ จีรพงษ์อุดม[1*] และ วรพงษ์ สว่างศรี[2]

Teerayut Jeerapongudom[1*] and Worapong Sawangsri[2]

[1]นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

[2]อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

[1]Graduate student in Master of Engineering (Industrial Production Technology) of Engineering Faculty, Kasetsart University, Ngamwongwan Rd. Lat Yao, Jatujak Bangkok, Thailand 10900

[2]Lecturer in Master of Engineering (Mechanical) of Engineering Faculty, Kasetsart University, Ngamwongwan Rd. Lat Yao, Jatujak Bangkok, Thailand 10900

[*]Corresponding author, E-mail: jrp.inter@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าและหาแนวทางการพัฒนากรรมวิธีการขึ้นรูปในการผลิตชิ้นงานโลหะขนาดเล็ก และมีรูปร่างซับซ้อน ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ยาง โดยการปรับใช้เทคโนโลยีการผลิตเท่าที่มีในประเทศให้สามารถผลิตชิ้นส่วนต้นแบบเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ดังกล่าว การพัฒนาแนวทางการขึ้นรูปนี้จะใช้ชิ้นส่วนเข็มกระทุ้งขนาดเล็กของแม่พิมพ์ยาง เป็นชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งโดยปกติจะต้องสั่งผลิตและนำเข้ามาจากต่างประเทศเนื่องด้วยเทคโนโลยีการผลิตภายในประเทศยังมีความจำกัดในการขึ้นรูปลักษณะรูปทรงของชิ้นงานในระดับไมโครสเกล ซึ่งต้องการความเที่ยงตรงของขนาดและรูปร่างของชิ้นงานในระดับเพียงไม่กี่ไมครอนหรือน้อยกว่า ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็เพื่อเป็นการพัฒนาวิธีการขึ้นรูปลักษณะรูปร่างชิ้นงานในระดับไมโครและ เพื่อเป็นการลดต้นทุนการสั่งผลิตและนำเข้าชิ้นส่วนจากต่างประเทศ โดยชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ ยังคงไว้ซึ่งขนาด, รายละเอียดของรูปร่างและรูปทรง, และคุณภาพผิวชิ้นงาน ตลอดจนฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆ ที่ไม่ต่างไปจากชิ้นงานต้นแบบเดิม

การวิจัยนี้จะทำการทดลองด้วยกรรมวิธีการกลึงขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซีที่มีการออกแบบเครื่องมือตัดและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบพิเศษ โดยจะแบ่งการทดลองเป็นสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก จะทำการจำลองการขึ้นรูปด้วยโปรแกรม Visi-Vero Vesion 20 เพื่อวิเคราะห์และประเมินกระบวนการและขั้นตอนการขึ้นรูปจำลองก่อนขึ้น

รูปชิ้นงานจริง, วิเคราะห์ขนาดและการทำงานของเครื่องมือตัดที่ออกแบบมาเฉพาะตลอดจน การหาจุดวิกฤตของรูปทรงชิ้นงาน ขั้นตอนที่สอง คือการขึ้นรูปชิ้นงานจริงด้วยการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์การตัดเฉือนซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบ และอัตราการป้อนที่เหมาะสมกับเครื่องมือตัด ที่ได้ออกแบบมาพิเศษ ตลอดจนเพื่อให้ได้คุณภาพผิวชิ้นงานที่ดีและเหมาะสมต่อการนำชิ้นงานที่ผลิตได้ไปใช้งาน ซึ่งการประเมินผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะวิเคราะห์จากขนาดและผิวสำเร็จของชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ เทียบกับชิ้นงานต้นแบบเป็นหลัก

จากผลการศึกษาทดลองสรุปได้ว่าเครื่องมือตัดที่ออกแบบคมตัดพิเศษและมีขนาดเล็กตามชิ้นงานต้นแบบนั้น สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ด้วยขนาดที่ถูกต้องและคุณภาพผิวชิ้นงานที่ดี แต่ยังคงต้องอาศัยการควบคุมตัวแปรอื่นร่วมด้วย คือการปรับความเร็วรอบ และอัตราการป้อนงาน ให้สัมพันธ์กับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำลองการขึ้นรูป รวมถึงต้องมีการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานร่วมด้วย

คำสำคัญ *: การตัดเฉือนในระดับไมโคร การออกแบบเครื่องมือตัดเฉพาะ การออกแบบอุปกรณ์จับยึดเฉพาะ ชิ้นงานขนาดเล็ก ตัวแปรการตัดเฉือน*

Abstract

The study and development of machining process to produce the micro-feature parts with complex shape have been used in rubber mold industry. Manufacturing of the prototyping parts using rubber mold industry as mentioned is based on the adaptation of domestic manufacturing technology. In regard to development of machining process, the micro ejector pin, the so-called ‘ the prototyping part’, always have to be ordered and imported from abroad. The prototyping part cannot be machined with the domestic-manufacturing technology due to the limitations of machining micro-features in which high accuracy of dimensions and geometric features with errors in the order of a few microns or less are needed. Thus, the research purposes the needs for accurately producing part with the precise dimensions, shapes, geometric features and machined surface quality, maintained throughout various functions as similar to the prototyping part for development of micro-features manufacturing process, and cost reduction of ordering and importing of the parts from abroad.

The research methodology is based on the experimental machining using CNC turning process with a specific design of cutting tool and jig as working holder. The experiment was divided into 2 procedures. The first is a machining process simulation by Visi-Vero Version 20 software to analyze and assess the virtual manufacturing processes before real experimental testing, analyze dimensions and working functions of the designed cutting tool, including estimate critical points of the part. The second is the cutting experiment with analytical findings of optimum cutting parameters particularly cutting speed and feed rate which are in accordance with the specific cutting tool. The results are mainly assessed and compared to the prototyping part in regards to the geometric dimensions and machined surface quality.

The experimental results present the ability of a small-specific design of cutting tool as machining part with the acceptance of precise dimensions and good quality of machined surface. However, the control of various parameters are also needed such as relative adjustments of spindle speed and feed rate which are accordingly related to the machining simulation as well as specific design of jig.

Keywords *: Micro Machining, Specific design of cutting tool, Specific design of jig, Micro part, Cutting Parameters*

1. บทนำ

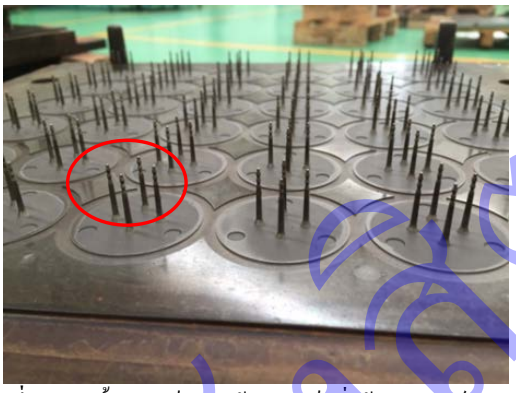
อุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยในปัจจุบันนั้น ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมการผลิตประเภทอื่นๆ ต่างก็มีการแข่งขันกันในด้านราคา, ต้นทุนการผลิต, เทคโนโลยีการผลิตที่ซับซ้อนและมีความแม่นยำสูง เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีขนาดที่เล็กลงเรื่อยๆ แต่ตรงกันข้ามกับคุณภาพและความเที่ยงตรงของชิ้นงานกลับสูงมากขึ้นเรื่อยๆเช่นกัน งานที่ใช้ทักษะน้อยหรือใช้แรงงานเป็นส่วนใหญ่ต่างก็ถูกกระจายออกไปสู่ประเทศที่มีต้นทุนการผลิตและค่าแรงที่ต่ำกว่า การแข่งขันเพื่อที่จะได้มาซึ่งงานนั้นจะต้องแข่งขันด้วยทักษะฝีมือและเทคโนโลยีขั้นสูง (Advanced manufacturing technology) จึงมีผลทำให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิตต่างก็ต้องมีการปรับตัวเพื่อแก้ไขสถานการณ์เหล่านี้ โดยการพัฒนาทักษะ ฝีมือและความเชี่ยวชาญ รวมถึงการปรับใช้เครื่องจักรและเทคโนโลยีการผลิตและการขึ้นรูปที่ทันสมัยมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยฉบับนี้จึงได้เสนอแนวทางการพัฒนากรรมวิธีการตัดเฉือนเพื่อผลิตชิ้นส่วนหรืออะไหล่ที่มีขนาดเล็กๆ (Miniature parts) ซึ่งต้องการคุณภาพและความเที่ยงตรงสูง สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตหลากหลายประเภท โดยขนาดโครงสร้างของชิ้นงานอยู่ในระดับไมโครเมตร ชิ้นส่วนหรืออะไหล่ขนาดจิ๋วเหล่านี้ ในปัจจุบันได้ถูกนำไปใช้เป็นชิ้นส่วนหรืออะไหล่ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์การแพทย์ อะไหล่และชิ้นส่วนของไมโครโมล และดาย (micro molds and dies) รวมถึงชิ้นส่วนขนาดเล็กๆ ของอุปกรณ์ไฮเทคต่างๆ รอบตัวเรา ชิ้นส่วนหรืออะไหล่เหล่านี้มีขนาดที่เล็กมากๆ และมีความเที่ยงตรงสูง มีรูปร่างทางเรขาคณิตและฟีเจอร์ (geometric dimensions and features) ที่ค่อนข้างสลับซับซ้อน มีรายละเอียดของผิวสำเร็จมาก จนหลายครั้งเป็นข้อจำกัดในการขึ้นรูปและดำเนินการผลิตด้วยเทคโนโลยีที่จำกัดของเครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์สนับสนุนการผลิตที่มีอยู่ภายในประเทศ จึงเป็นเหตุให้ต้องสั่งผลิตและนำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่

ปัจจุบันไทยมีโรงงานทำแม่พิมพ์ทั้งหมด 2,000 โรงงาน โดยส่วนใหญ่ทำการผลิตแม่พิมพ์โลหะและพลาสติกถึงร้อยละ 90 และอีกร้อยละ 10 ผลิตแม่พิมพ์แก้ว ยาง และเซรามิกส์ เป็นต้น โดย 1,500 โรงงานเป็นโรงงานที่ผลิตแม่พิมพ์ใช้เอง และอีก 500 โรงงานรับจ้างผลิตแม่พิมพ์ ซึ่งในจำนวนนี้มีเพียง 3% ที่สามารถผลิตแม่พิมพ์ที่ได้คุณภาพและมีประสิทธิภาพความเที่ยงตรงสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ในประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตงานที่มีคุณภาพและความถูกต้องแม่นยำสูงได้

ภาวะการค้าระหว่างประเทศของอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ตั้งแต่ปี 2552-2557(ม.ค-มิ.ย) จากสถิติมูลค่าการนำเข้าและส่งออกแม่พิมพ์ พบว่าประเทศไทยขาดดุลการค้าในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์มาโดย

ตลอด โดยในปี 2554 มีการขาดดุลการค้ามากกว่า 20,000 ล้านบาท และมูลค่าการนำเข้าแม่พิมพ์ของไทยมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นมาโดยตลอดยกเว้น ปี 2555 ซึ่งมีอัตราการขยายตัวลดลงร้อยละ 7.69 เทียบกับปี 2554 ส่วนมูลค่าการนำเข้าในปี 2557 คาดว่ามีแนวโน้มการนำเข้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากในช่วงเดือนมกราคม-มิถุนายน มีอัตราการขยายตัวของการนำเข้าเพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันในปี 2556 ถึงร้อยละ 33.57 การที่ไทยมีมูลค่าการนำเข้าแม่พิมพ์มากเนื่องจากโรงงานที่เป็นกิจการร่วมทุนกับต่างประเทศ มีกลุ่มตลาดส่วนใหญ่เป็นต่างประเทศซึ่งมีความต้องการสินค้าที่มีคุณภาพสูง จึงทำให้มีการนำเข้าแม่พิมพ์ที่มีคุณภาพและความเที่ยงตรงสูงจากต่างประเทศเข้ามาใช้ในการผลิตสินค้าเป็นจำนวนมาก รวมทั้งผู้ผลิตชาวไทยที่สามารถผลิตแม่พิมพ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงได้นั้นยังมีไม่มากนัก ทำให้ยังคงมีความต้องการนำเข้าแม่พิมพ์ค่อนข้างสูง โดยเป็นการนำเข้าจากประเทศญี่ปุ่นมากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ ไต้หวัน และเกาหลีใต้ (สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน(BOI). 2557)

รูปที่ 1 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่ใช้ใน Micro mold



รูปที่ 2 แสดงชิ้นส่วนเข็มกระทุ้งขนาดเล็กที่ใช้ในแม่พิมพ์ยาง

2.วัตถุประสงค์

งานวิจัยฉบับนี้มีเป้าหมายที่จะค้นคว้า พัฒนาและหาแนวทางปรับใช้เทคโนโลยีการผลิตด้วยเครื่องกลึง CNC ที่มีในประเทศซึ่งโดยส่วนใหญ่เครื่องกลึงซีเอ็นซีที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในประเทศนั้น ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงมาก โดยเราจะทำการผลิตชิ้นงานต้นแบบที่มีขนาดเล็ก และมีรูปร่างที่ซับซ้อนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ปัจจุบันชิ้นงานต้นแบบที่เราจะนำมาทำการทดลองนั้นมีการนำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่น ถ้าเราสามารถผลิตเองได้จะทำให้เราสามารถลดต้นทุนการผลิตและนำเข้าชิ้นส่วนจากต่างประเทศได้ ตลอดจนการหาแนวทางพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเพื่อให้มีศักยภาพเพียงพอที่จะขึ้นรูปและผลิตชิ้นส่วนโดยยังคงมีขนาดรูปร่าง (Dimensions) รูปทรงและฟีเจอร์ (Geometric features) คุณภาพผิวชิ้นงาน (Machined surface quality) ตลอดจนฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆ ไม่ต่างไปจากชิ้นงานต้นแบบ รวมถึงการพัฒนาทักษะ ความสามารถและองค์ความรู้ของวิศวกรและผู้ปฏิบัติการในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์ขนาดเล็กๆ (Parts of micro molds and dies) ทั้งนี้วัตถุประสงค์สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเด็นหลัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปและดำเนินการผลิตชิ้นงานต้นแบบ โดยแยกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมจำลองการตัดเฉือนและการทดลองการขึ้นรูปชิ้นงานจริง โดยชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้จะต้องมีคุณภาพผิวสำเร็จที่ดี มีความเที่ยงตรงของขนาด (Dimensions) รูปทรงทางเรขาคณิตและฟีเจอร์ (Geometries and features) รวมถึงมีฟังก์ชั่นการทำงานเทียบเท่ากับชิ้นงานต้นแบบ

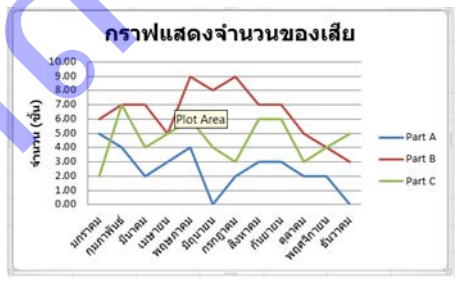
2. ศึกษาและพัฒนาแนวทางการปรับใช้เทคโนโลยีการผลิตภายในประเทศ ให้เหมาะสมและมีศักยภาพเพียงพอในการผลิตชิ้นงานต้นแบบซึ่งเป็นชิ้นงานขนาดเล็กๆ ความเที่ยงตรงสูง (Micro or miniature parts) ซึ่งจะใช้วิธีการกลึงขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบด้วยการพัฒนาเครื่องมือตัดและ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานขึ้นใหม่ซึ่งเป็นการออกแบบพิเศษโดยเฉพาะ รวมถึงการวิเคราะห์และคำนวณความเร็วรอบและอัตราการป้อนงาน ของเครื่องกลึงซีเอ็นซีร่วมด้วยทั้งนี้เพื่อให้สามารถเลือกใช้พารามิเตอร์การตัดเฉือนได้เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของเครื่องมือตัดที่ถูกออกแบบมาให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพผิวที่ดี มีขนาดและรูปร่างในระดับไมโครสเกล

3.อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

3.1 เลือกชิ้นงานต้นแบบ

ผู้วิจัยเลือกชิ้นงานต้นแบบที่จะนำมาทำการทดลองโดยได้รับการสนับสนุนข้อมูลจากบริษัท เจ.อาร์.พี.อินเตอร์ กรุ๊ป จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์ยาง ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยเลือกชิ้นงานต้นแบบ เป็นชิ้นส่วน Part B หรือที่เรียกว่า Core Insert Rubber Plug Sensor ดังแสดงในรูปที่ 3 เพราะมีประวัติการเสียหายที่มีการสั่งเปลี่ยนบ่อยที่สุดในรอบ 1 ปี (เมื่อเทียบกับชิ้นส่วน Part A และ Part C ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4) อีกทั้งชิ้นงานมีขนาดเล็กรูปร่างซับซ้อน และชิ้นงานยังไม่สามารถหาผู้ผลิตได้ในประเทศยังต้องนำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่น เพื่อใช้ประกอบในแม่พิมพ์อีกด้วย

รูปที่ 3 รูปชิ้น Part B ซึ่งนำมาเป็นชิ้นงานต้นแบบ



รูปที่ 4 กราฟแสดงสถิติความเสียหายของชิ้นงานต้นแบบ 3 Part ในระยะเวลา 1 ปี

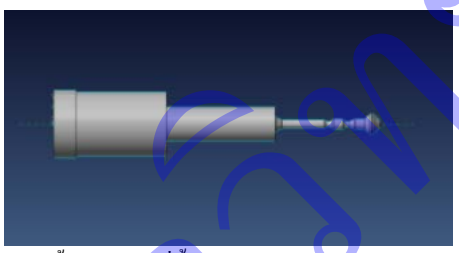
3.2 การออกแบบและเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงานต้นแบบ (บรรเลง ศรนิล, สมนึก วัฒนศรียกุล. 2550) โดยในแบบกำหนดเป็นวัสดุเหล็ก SKH51 ที่ความแข็ง 60 HRC เนื่องจากเหล็ก SKH51 เป็นเหล็ก High Speed ที่ใช้ทำพวกเครื่องมือที่ทนแรงกระแทกสูงใช้ได้ในสภาวะอุณหภูมิสูง หรืออุณหภูมิต่ำได้ แต่โดยปกติจะมีความแข็งอยู่ที่ 30-35 HRC เท่านั้น แสดงว่าชิ้นงานต้นแบบนี้จะต้องผ่านกระบวนการชุบแข็งด้วย จึงจะได้ค่าความแข็งที่ต้องการและนำไปใช้งานได้

รูปที่ 5 รูปเหล็ก SKH51 ก่อนนำไปชุบแข็ง ขนาด Ø 13 mm.

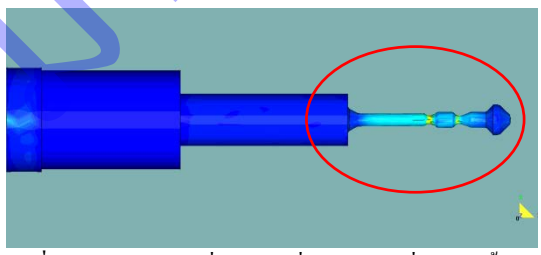
เนื่องจากขนาดที่ใหญ่ที่สุดของชิ้นงานต้นแบบอยู่ที่ Ø 6 mm. แต่ขนาดของวัสดุเหล็ก SKH51 ที่ผู้ผลิต ผลิตออกมาจำหน่ายมีขนาดเล็กที่สุดอยู่ที่ 13 mm. จึงต้องทำการปรับขนาดด้วยการกลึงให้ได้ขนาด 6 mm. ตามชิ้นงานต้นแบบ

3.2.2 ใช้โปรแกรมออกแบบ Visi-Vero Version20 ในการออกแบบและวิเคราะห์ ความแข็งแรงของชิ้นงาน (รูปที่ 6) จากแบบชิ้นงาน 2 มิติ ที่ได้ นำมาสร้างเป็นรูปชิ้นงาน 3 มิติ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความแข็งแรงและกรรมวิธีการขึ้นรูปในลำดับต่อไป



รูปที่ 6 รูปชิ้นงาน 3 มิติที่ขึ้นรูปด้วยโปรแกรม Visi-Vero V.20

เมื่อได้รูปชิ้นงาน 3 มิติแล้วจึงนำ CAD file ที่ได้ แปลงเป็น file .stl เพื่อนำไปวิเคราะห์ความแข็งแรงและจุดที่วิกฤตที่สุดของชิ้นงาน



รูปที่ 7 แสดงจุดวิกฤตซึ่งเป็นจุดที่มีขนาดเล็กที่สุดของชิ้นงาน ซึ่งมีขนาด Ø 0.47 ± 0.02 mm

รูปที่ 8 รูปขยาย 5 เท่าแสดงตำแหน่งจุดที่เล็กที่สุดของชิ้นงาน

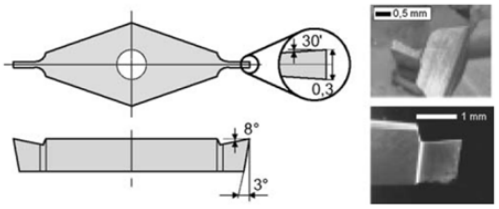
3.2.3 การเลือกเครื่องจักรที่จะใช้ในการผลิตชิ้นงานต้นแบบ

เนื่องจากการทดลองการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ ได้เลือกใช้การกลึงขึ้นรูป ดังนั้นจึงเลือกเครื่องกลึงซีเอ็นซี รุ่น L250E เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง

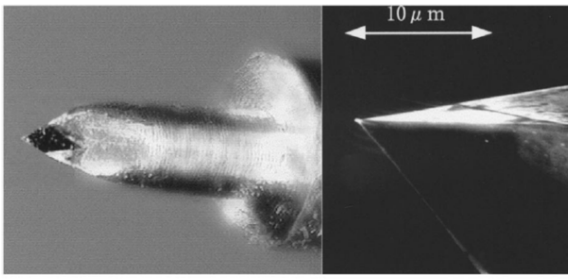
รูปที่ 9 เครื่องกลึงซีเอ็นซี รุ่น L250E

3.2.4 การออกแบบเครื่องมือตัดเฉือน (Cutting Tool) ที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ

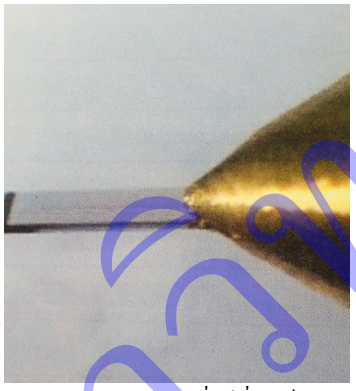
เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดเล็ก จึงไม่สามารถหาเครื่องมือตัดเฉือนที่มีขนาดคมตัดและมุมมีดต่างๆตามมาตรฐานที่มีจำหน่ายทั่วไปได้ จึงต้องทำการออกแบบเครื่องมือตัดเฉือนพิเศษ (Graham T. Smith 2008) สำหรับใช้งานนี้โดยเฉพาะ



รูปที่ 10 รูปแสดงหน้าตัดของมีดตัดเฉือนที่ ออกแบบพิเศษ



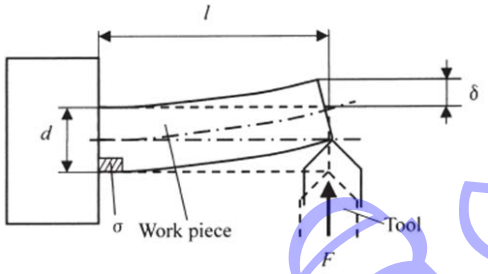
รูปที่ 11 รูปแสดงการยึดติดของเม็ดมีดที่ออกแบบมากับด้ามมีด



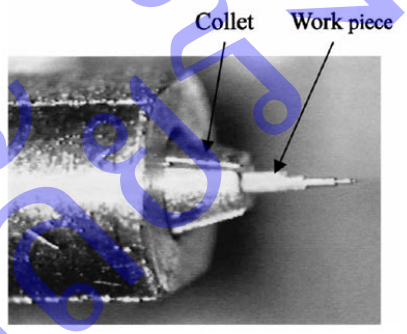
รูปที่ 12 รูปขยายขนาด 5 เท่า วัสดุที่ใช้เชื่อมเม็ดมีดกับด้ามมีด

3.2.5 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig)

เนื่องจากชิ้นงานที่ทำการทดลองขึ้นรูปมีขนาดเล็กและมีการควบคุมขนาด ที่ละเอียด ทั้งยังต้องการความเรียบของผิวสำเร็จเป็นพิเศษด้วย จึงต้องออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานให้มีค่าการแกว่งที่ต่ำ (Runout)ในการหมุนด้วยรอบการหมุนที่สูงได้ เพื่อลดการเสียรูปของชิ้นงานที่เกิดจากการสะบัด (Out Specification) (Moriwaki, T , Shamoto, E, 1995)



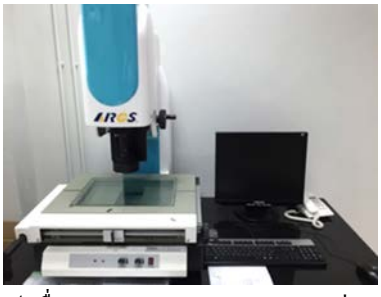
รูปที่ 13 รูปแสดงการตัดเฉือนของชิ้นงาน ที่เสียรูปเกิดจากการแกว่งตัวของชิ้นงานที่เกิดจากการหมุนด้วยความเร็วรอบสูง



รูปที่ 14 รูปแสดงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อลดการแกว่งตัวของชิ้นงานเมื่อใช้ความเร็วรอบสูงในการขึ้นรูป โดยการจับชิ้นงานให้สั้นที่สุดเพื่อลดการแกว่ง

3.2.6 เครื่องมือที่ใช้วัดขนาดและคุณภาพผิวของชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองมีขนาดเล็กมาก เราจึงเลือกเครื่องมือวัดขนาดและความเรียบผิว (Video Microscope Measuring) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้กล้องกำลังขยายสูงและยังสามารถวัดความเรียบผิวได้ด้วย



รูปที่ 15 รูปเครื่อง Video Microscope Measuring รุ่น KIM-3020

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

นำแบบของชิ้นงานต้นแบบที่มีการกำหนดค่าความคลาดเลื่อนเอาไว้ในแบบของชิ้นงานแล้ว มาทำการสร้างด้วยโปรแกรม Visi-Vero Version 20 ให้เป็นชิ้นงาน 3 มิติ โดยแปลงขนาดของชิ้นงานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนให้อยู่ในค่ากลางของแบบ เพื่อเวลาเราให้โปรแกรมซีเอ็นซีคำนวณออกมาเป็น G-Code เครื่องจักรจะได้เคลื่อนที่ตามขนาดของชิ้นงานที่มีการกำหนดค่าความคาดเคลื่อนไว้แล้ว โดยโปรแกรม G-code ที่เราทำขึ้นมานั้นจะใช้ร่วมกับอุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานที่ และเครื่องมือตัดเฉือนที่เราออกแบบพิเศษ โดยกำหนดให้ทั้ง 3 ตัวแปร คือ G-code, อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และ เครื่องมือตัดเฉือนเป็นตัวแปรคงที่ โดยเราจะทำการขึ้นรูปชิ้นงานจำนวน 12 ชิ้น โดยจะมีการปรับเปลี่ยน ความเร็วรอบและอัตราการป้อน (Feed) ให้เป็นตัวแปรแปรผัน โดยชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 12 ชิ้นจะไม่มีค่าความเร็วรอบ และ อัตราการป้อนที่เท่ากันเลย เพื่อจะทำการหาค่าที่ทำให้ได้ชิ้นงาน ที่เหมือนชิ้นงานต้นแบบมากที่สุด โดยใช้สมการคำนวณ ความเร็วรอบและคำนวณอัตราการป้อนงาน ดังนี้ (Phillip F.Ostwald, 1996)

$$\text{ความเร็วรอบ(รอบ/นาที)} = \frac{\text{ความเร็วตัด (เมตร/นาที)} \times 1000}{\pi \times \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของงานกลึง (mm)}}$$

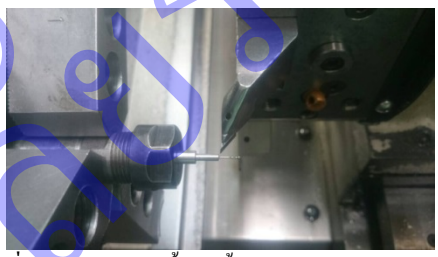
$$\text{อัตราการป้อน(มม./รอบ)} = \text{อัตราการป้อนต่อฟัน} \times \text{ความเร็วรอบ}$$

3.4 การวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการทดลอง

หลังจากที่ได้ชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 12 ชิ้นแล้ว จึงนำชิ้นงานทั้ง 12 ชิ้นนั้นไปทำการวัดขนาดด้วยเครื่องไมโครสโคป (Microscope)แบบวัดความเรียบผิวได้ เพื่อเช็คขนาดและความเรียบผิวของชิ้นงาน เพื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานต้นแบบ โดยมีขนาดจากแบบชิ้นงาน (Drawing) เป็นตัวกำหนด

4. ผลการวิจัย

จากการทดลองจะพบว่าการใช้ความเร็วรอบและ อัตราการป้อน (Feed) ที่ต่างกันจะมีผลต่อขนาดและความเรียบผิวของชิ้นงาน (Surface Roughness) ที่ต่างกันด้วย (N.lkawa, S.) แม้จะใช้อุปกรณ์จับยึดและเครื่องมือตัดชนิดเดียวกันก็ตาม



รูปที่ 16 รูปแสดงการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ (Machining)

ตารางที่ 1 แสดงขนาดของชิ้นงานบริเวณตำแหน่งที่เล็กที่สุด (รูปที่ 7) ที่วัดได้จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์การตัดเฉือน ซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบ และอัตราการป้อน โดยกำหนดอัตราการตั้งลึกคงที่ เท่ากับ 0.1 มม./รอบ (mm./rev)

ชิ้นงานตัวอย่าง	ความเร็วรอบ (RPM)	ความเรียบผิว (mm) ที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้จากขนาดที่เล็กที่สุด (mm)
1	4000	0.015	0.024
2	4500	0.012	0.020
3	5000	0.010	0.017
4	5500	0.010	0.010

ตารางที่ 2 แสดงขนาดของชิ้นงานบริเวณตำแหน่งที่เล็กที่สุด (รูปที่ 7) ที่วัดได้ โดยมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์การตัดเฉือน ซึ่งได้แก่ความเร็วรอบ และอัตราการป้อนเหมือนเดิมแต่กำหนดอัตราการตั้งลึกใหม่ เท่ากับ 0.2 มม./รอบ

ชิ้นงานตัวอย่าง	ความเร็วรอบ(RPM)	ความเรียบผิว (mm) ที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้จากขนาดที่เล็กที่สุด (mm)
5	4000	0.018	0.026
6	4500	0.016	0.024
7	5000	0.013	0.020
8	5500	0.014	0.012

ตารางที่ 3 แสดงขนาดของชิ้นงานบริเวณตำแหน่งที่เล็กที่สุด (รูปที่ 7) ที่วัดได้ โดยมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์การตัดเฉือน ซึ่งได้แก่ความเร็วรอบ และอัตราการป้อนเหมือนเดิมแต่กำหนดอัตราการตั้งลึกใหม่ เท่ากับ 0.3 มม./รอบ

ชิ้นงานตัวอย่าง	ความเร็วรอบ(RPM)	ความเรียบผิว (mm) ที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้จากขนาดที่เล็กที่สุด (mm)
9	4000	0.019	0.030
10	4500	0.022	0.025
11	5000	0.023	0.022
12	5500	0.026	0.016

จากการวัดค่าความเรียบผิวและขนาดของชิ้นงานด้วยเครื่องไมโครสโคป (Micro scope) สรุปได้ว่า การปรับค่าความเร็วรอบ และอัตราการป้อนงานของมีดตัดที่ออกแบบมาพิเศษ ทำการขึ้นรูปชิ้นงานทั้ง 12 ตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าขนาดของชิ้นงานที่แม่นยำที่สุดคือ ชิ้นงานที่มีค่าความเรียบผิวน้อยที่สุด และมีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดน้อยที่สุด คือชิ้นงานตัวอย่างที่ 4 ซึ่งเกิดจากการใช้ความเร็วรอบสูงที่ 4500 รอบ/นาที และอัตราการป้อนอยู่ที่ 0.1 มม./รอบ

รูปชิ้นงานต้นแบบ รูปชิ้นงาน nco.4

รูปที่ 17 รูปเปรียบเทียบชิ้นงานต้นแบบกับชิ้นงานทดลอง No.4 ซึ่งจากการทดลองได้ขนาด และความเรียบผิวที่ดีที่สุด

5. การอภิปรายผล

จากผลการทดลองในการขึ้นรูปชิ้นงานขนาดเล็กและมีรูปร่างซับซ้อนสูงระดับไมโครสเกลนั้น จะเห็นได้ว่าเราสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ และยังคงความเรียบของผิวสำเร็จได้ในระดับเดียวกับชิ้นงานต้นแบบ โดยการอาศัยอุปกรณ์การจับยึดชิ้นงานและ มีดตัดที่ออกแบบพิเศษให้เหมาะสมกับรูปร่างของชิ้นงานต้นแบบ รวมถึงมีการกำหนดอัตราความเร็วรอบ และอัตราการป้อนให้สัมพันธ์กันกับค่าความแข็งของเนื้อวัสดุชิ้นงาน แต่ทั้งนี้ตัวแปรต่างๆสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดและรูปร่างของชิ้นงานที่แตกต่างกัน

จากการทดลองพบว่าทฤษฎีการตัดเฉือนโลหะในระดับไมโครสเกล (micro cutting scale) ซึ่งมีความแตกต่างจากสเกลปกติ (conventional cutting scale) การจะควบคุมความเที่ยงตรงของชิ้นงานตัดเฉือนได้นั้น เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูป มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจาก เครื่องจักรเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ทั้งหมดของกระบวนการตัดเฉือน แต่หากพิจารณาให้ลึกเข้าไปอีก วัสดุที่ใช้ทำมีดกลึง การหล่อเย็น รูปทรงของชิ้นงาน การจับยึดชิ้นงาน และความแข็งของชิ้นงานมีผลต่อความเที่ยงตรงของขนาดของชิ้นงานทั้งสิ้น

อนึ่งเนื่องจากความจำกัดของเทคโนโลยีของเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองรวมถึงเป็นการยากมากหากต้องการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบนี้ งานวิจัยฉบับนี้จึงใช้ตัวแปรคงที่หลายตัวไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักร การหล่อเย็น และรูปร่างของชิ้นงานต้นแบบ แต่ศึกษาและปรับเปลี่ยนเฉพาะ ความเร็วรอบ และอัตราการป้อน ร่วมกับการออกแบบมีดตัดและอุปกรณ์จับยึดแบบพิเศษ ซึ่งผลลัพธ์ คือชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ มีขนาดและค่าความเรียบผิวอยู่ในระดับดี ค่าความคาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ตลอดจนสามารถนำไปใช้ทดแทนชิ้นงานต้นแบบเดิมที่นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่นได้

6. บทสรุป

งานวิจัยฉบับนี้ได้กำหนดปัญหาและสมมติฐานการวิจัยจากสภาพปัญหาจริงในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ยาง ซึ่งจะพบได้ว่าการผลิตชิ้นส่วนโดยเฉพาะชิ้นส่วนและอะไหล่ขนาดเล็กความเที่ยงตรงสูงนั้น ปัจจุบันในประเทศไทยยังมีข้อจำกัดอยู่มาก อาทิเช่น ข้อจำกัดในด้านเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตไม่ว่าจะเป็นเรื่องความเที่ยงตรง, ความแม่นยำ, ประสิทธิภาพ และสมรรถนะ ของเครื่องจักรด้านรูปร่างชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูง ตลอดจนทักษะและความเชี่ยวชาญของวิศวกรผู้ออกแบบและควบคุมการผลิต ฯลฯ ดังนั้น จะเห็นได้ว่างานวิจัยฉบับนี้ตอบโจทย์และแก้ปัญหาให้ไม่เฉพาะอุตสาหกรรมผลิตแม่พิมพ์เท่านั้น แต่สามารถนำองค์ความรู้และเทคโนโลยีการผลิตที่ถูกพัฒนาจากงานวิจัยนี้ ไปปรับใช้ได้กับอุตสาหกรรมการผลิตทุกประเภท อนึ่งเพื่อให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ด้านการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานให้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำเพื่อให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปชิ้นงานในระดับไมโครสเกล (micro scale machining) นั้น ยังต้องอาศัยการวิจัยและพัฒนาอีกมาก โดยเฉพาะการวิจัยและการพัฒนาเครื่องจักรความเที่ยงตรงสูง ซึ่งผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีและกระบวนการผลิตชิ้นงานขนาดเล็กในประเทศให้มีศักยภาพเทียบเท่าประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำของโลกในอนาคตต่อไปได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำงานวิจัยฉบับนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ประสาทความรู้และแนวความคิดในการทำงานวิจัยตลอดจนการให้ความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่ประสานงานต่างๆ ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จรุร่วงไปได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน(BOI). (2557) รายงานการประชุม. เรื่องภาวะการค้าแม่พิมพ์ระหว่างประเทศ. : กระทรวงอุตสาหกรรม

บรรเลง ศรนิล และสมนึก วัฒนศรียกุล. (2550). คู่มือตารางงานโลหะ. นนทบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Graham T. Smith. (2008). Cutting Tool Technology. Springer-Verlag. New York

Moriwaki T, Shamoto E. (1995). Ultrasonic Ellptical Vibration Cutting. Annals of the CIRP, 48/1: 441-444

N. lkawa, S. Shimada, R. R. Donaldson, C. K. Syn, J. S. Taylor, G. Ohmori, H. Tanaka and H. Yoshinaga. (1993). Chip morphology and

minimum thickness of cut in micromachining, J. Jap. Soc. Pree. Eng., Vol. 59 . (p. 673)

Phillip F. Ostwald. (1996). Manufacturing Processes And System. 9 th ed. Colorado: University Of Colorado Boulder.

มหาวิทยาลัยรังสิต