Engng.J.CMU.(2019) 26 (3), 171−183

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงและแรงตัด ในกระบวนการกลึงอะลูมิเนียม

A Study of Relation Between Straightness and Cutting Force in Aluminium Turning

พรรณิภา พ่วงพัด* **และ สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ**

Pannipa Puangpad* **and Somkiat Tangjitsitcharoen**

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan, Bangkok 10330 Thailand

E-mail: pannipa.puangpad@gmail.com*, somkiat.ta@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงกับอัตราส่วนแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียม โดยติดตั้งไดนาโมมิเตอร์บนชุดป้อมมีดของเครื่องกลึงซีเอ็นซีเพื่อวัดแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัด ซึ่งความสัมพันธ์ของแรงตัด และความตรงของชิ้นงาน จะถูกทดสอบภายใต้เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ดังนี้คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด รัศมีจมูกมีด และอัตราส่วนแรงตัด จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ความเร็วตัด และรัศมีจมูกมีดตัดมากขึ้น จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความตรงที่ดีขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัด และความตรงพิจารณาได้จากสัญญาณความถี่ที่เกิดขึ้นในโดเมนความถี่ด้วยวิธีการแปลงฟูเรียร์อย่างเร็ว (Fast Fourier Transform) ซึ่งสัญญาณความถี่ได้เกิดขึ้นที่ค่าเดียวกัน ดังนั้นอัตราส่วนแรงตัดจึงสามารถนำมาใช้ในการทำนายความตรงของชิ้นงานได้ในขณะตัดได้ อัตราส่วนแรงตัดถูกนำมาใช้เพื่อทำนายความตรงของชิ้นงานในขณะกลึงด้วยสมการเอกซ์โพเนนเชียล วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณถูกประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของสมการที่ใช้ในการทำนายความตรงของชิ้นงานในขณะตัด ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากสมการพบว่าอัตราป้อนตัดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความตรงของชิ้นงานมากที่สุด รองลงมาก็คือ รัศมีจมูกมีด ความลึกในการตัด ความเร็วตัด และอัตราส่วนแรงตัด ตามลำดับ และสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์โดยมีระดับความแม่นยำเท่ากับ 89.13%

ABSTRACT

The objective of this research is to study the relation between the straightness of aluminium and the cutting force ratio during the aluminium turning. The dynamometer is installed on the turret of CNC turning machine in order to monitor and obtain the cutting force. The relation between the cutting force ratio and the straightness is investigated under the cutting conditions, which are the cutting speed, the feed rate, the depth of cut, the tool nose radius and the cutting force ratio. From the experimental results, when the cutting speed and the tool nose radius increase, the straightness will improve. The relation between the dynamic cutting force and the straightness profile can be verified in the frequency domain by using the Fast Fourier Transform (FFT). The results showed that the dynamic cutting force and the straightness profile appear at the same frequency. Therefore, the cutting force

Received 14 December 2018
Revised 15 January 2019
Accepted 13 March 2019

ratio can be used to predict the straightness during the turning process. The relation has been proposed and model by applying the exponential function. The multiple regression analysis is utilized to calculate the powers of the model by using the least square method at 95% confident level. From the model, the feed rate was the most significant factor affecting the straightness. The model has been verified by the cutting tests that the straightness can be predicted by the high accuracy of 89.13%

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นงานประเภทโลหะนอกจากกลุ่มเหล็กกล้าแล้ว ปัจจุบันได้มีการใช้อะลูมิเนียมเข้ามาทดแทน เพื่อช่วยในการลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ และชิ้นงานที่เป็นทรงกระบอกส่วนใหญ่ต้องอาศัยการกลึงในการผลิตจึงมีการนำเครื่องจักรกลที่มีความละเอียดสูงมาใช้ นั่นก็คือเครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (Computerized Numerical Control Machine, CNC) และในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตต้องการชิ้นงานที่มีความถูกต้อง แม่นยำของรูปร่างทางเรขาคณิตของชิ้นงานเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความตรงของชิ้นงานที่มีผลต่อความถูกต้อง และการประกอบชิ้นส่วนชิ้นงานในขั้นตอนถัดไป [1]

ในโลกของการแข่งขันที่สูงขึ้น โรงงานการผลิตต้องปรับตัวให้ตอบสนองอย่างทันท่วงที เมื่อมีเงื่อนไขการผลิตที่แตกต่างกันเข้ามา การพิจารณาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขและอัตราส่วนแรงตัด จึงถูกนำมาพิจารณา เพื่อให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด รวมไปถึงการลดต้นทุนและเวลาในการผลิตด้วย ดังนั้นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงและแรงตัดในกระบวนการกลึงอะลูมิเนียม นั้นถือว่าเป็นประโยชน์สามารถหาความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงานจากแรงตัดในขณะตัด และเงื่อนไขการตัดได้ ส่งผลต่อการผลิตชิ้นงาน ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมานั้นได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานกับแรงตัดในกระบวนการกลึงเหล็กกล้า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดและความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน จะถูกทดสอบภายใต้เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด รัศมีจมูกมีด และมุมคายเศษโลหะ จนสามารถสร้างสมการทำนายความตรงของชิ้นงานได้ในขณะตัดโดยใช้อัตราส่วนแรงตัดแม้เงื่อนไขการตัดจะเปลี่ยนไป จากงานวิจัยพบว่าแรงป้อนตัดสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ค่าความตรงของชิ้นงานได้ เนื่องจากแรงป้อนตัดเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดรอยป้อนตัด (feed mark) ขึ้นบนผิวชิ้นงานซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าของความตรงของชิ้นงาน [2] และได้มีงานวิจัยอื่น ๆ [3], [4] ที่ได้มีการพัฒนาการตรวจสอบความตรงและความขรุขระของชิ้นงานด้วยวิธีการต่าง ๆ กันไป โดยใช้แรงตัดในการหาความสัมพันธ์พร้อมกับพิจารณาเงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ด้วยเช่นกัน ซึ่งได้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันตามปัจจัยดังต่อไปนี้

1) ความเร็วตัด

ถ้าความเร็วตัดเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิในขณะตัดสูง ชิ้นงานจะอ่อน ทำให้แรงในขณะตัดน้อยลง ตัดได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานลดลง นั่นคือชิ้นงานจะมีความตรงมากขึ้น

2) ความลึกในการตัด

ถ้าความลึกในการตัดในการตัดเพิ่ม พื้นที่การตัดจะเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้แรงตัดเพิ่มสูงขึ้นด้วย ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น ความตรงชิ้นงานจึงลดลง

3) รัศมีจมูกมีดตัด

ถ้าใช้มีดตัดที่มีรัศมีจมูกมีดตัดใหญ่ สามารถช่วยลบรอยป้อนตัดที่ตกค้างบนผิวชิ้นงาน ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานจะมีค่าลดลงทำให้ความตรงผิวชิ้นงานดีขึ้น

4) อัตราการป้อนตัด

ถ้าเพิ่มอัตราการป้อนตัด พื้นที่การตัดจะมากขึ้น แรงตัดจะสูงขึ้น ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในขณะตัด ค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์จะสูง ความตรงของชิ้นงานจะลดลง

5) มุมคายเศษวัสดุ

ถ้ามุมคายเศษวัสดุมาก จะทำให้เศษโลหะที่เกิดขึ้นในขณะตัดเคลื่อนที่ออกได้ง่าย ความต้านทานการเคลื่อนที่

ของมีดตัดและเศษโลหะลดลง ดังนั้นแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัดจึงลดลง ค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์จะต่ำ ความตรงของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นได้แสดงให้เห็นว่าความตรงของชิ้นงานมีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งปัจจัยที่สามารถควบคุมได้คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด ชนิดวัสดุของมีด รัศมีจมูกมีด ชนิดของวัสดุ ขนาดของชิ้นงาน ลักษณะเศษโลหะ เป็นต้น นอกเหนือปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ยังมีปัจจัยที่เกิดขึ้นขณะตัดซึ่งไม่สามารถควบคุมได้เช่น การสั่นสะเทือน อุณหภูมิ เสียง แต่สามารถใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์มาช่วยในการตรวจติดตามวัดแรงในขณะตัดได้ นั่นก็คือไดนาโมมิเตอร์นั่นเองซึ่งเป็นเซนเซอร์วัดแรงที่ใช้ในเครื่องจักรกลอัจฉริยะ [5]

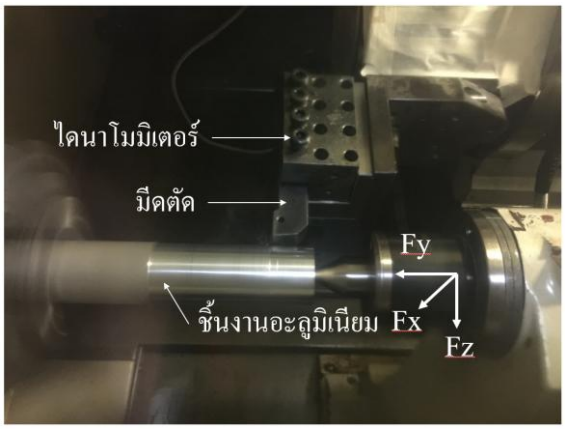
งานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ของความตรงกับแรงตัดส่วนใหญ่จะวิจัยจากชิ้นงานเหล็กกล้า แต่ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตได้ปรับเปลี่ยนมาใช้อะลูมิเนียมมากขึ้นดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จึงต้องนำมาพิจารณาว่าถ้าชิ้นงานเป็นอะลูมิเนียม ความสัมพันธ์ต่าง ๆ จะสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาหรือไม่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ใช้เซนเซอร์เพื่อวัดแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะกลึงโดยใช้การเก็บค่าสัญญาณผ่านเครื่องออสซิโลสโคป เพื่อนำมาอธิบายความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงานอะลูมิเนียมกับแรงตัดที่เกิดขึ้นนั่นเอง

2. วิธีการดำเนินการ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงของชิ้นงานอะลูมิเนียมกับอัตราส่วนแรงตัด รวมถึงเงื่อนไขการตัดต่าง ๆ โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง การกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ จนสามารถสร้างสมการทำนายความตรงผิวชิ้นงานเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ในรูปแบบต่าง ๆได้

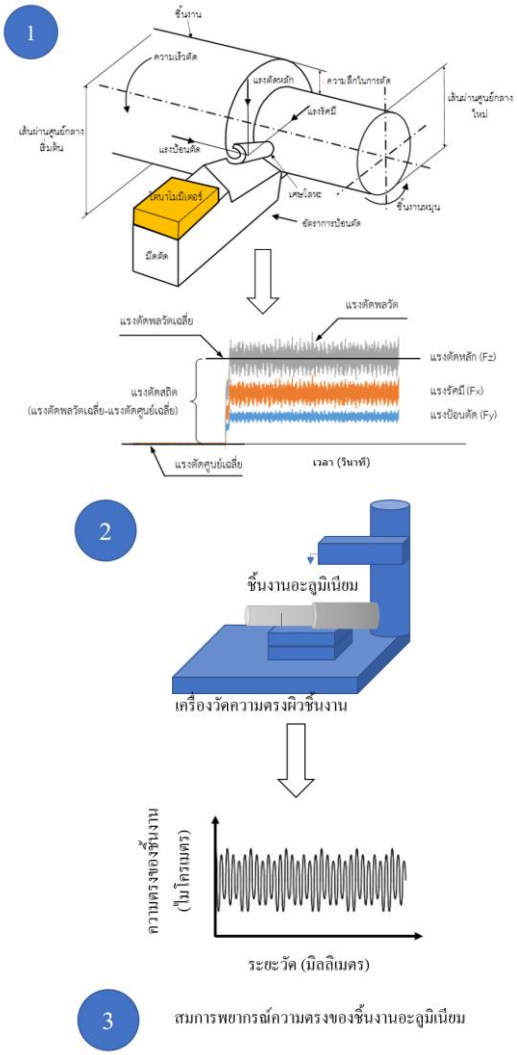
2.1 รูปแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machine) ชนิด 4 แกนยี่ห้อ Mazak รุ่น Nexus 200MY/MSY ที่ติดเซนเซอร์วัดแรงหรือไดนาโมมิเตอร์ในการตรวจติดตามและประมาณค่าความตรงของผิวชิ้นงานอะลูมิเนียมเกรด 6063 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร และทำการปอกผิวชิ้นงานให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.8 – 50.2 มิลลิเมตร และทำการตัดด้วยเม็ดมีด (Insert) คาร์ไบด์เคลือบผิวยี่ห้อ Kyocera มีรหัสเม็ดมีด 2 รหัสคือ TPMR 160304HQ ที่มีรัศมีจมูกมีดขนาด 0.4 มิลลิเมตร และรหัส TPMR 160308HQ ที่มีรัศมีจมูกมีดขนาด 0.8 มิลลิเมตร โดยทั้ง 2 เม็ดมีดมีมุมคายเศษโลหะ 11 องศาเป็นบวกตามคำแนะนำของผู้ผลิต ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การติดตั้งไดนาโมมิเตอร์บนเครื่องกลึงซีเอ็นซี

การทำการทดลองนี้เพื่อที่จะสามารถสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของผิวชิ้นงานอะลูมิเนียมในขณะตัดได้ โดยต้องทดสอบกับเงื่อนไขการตัดที่หลากหลายเพื่อต้องการการจัดเก็บข้อมูลที่เหมาะสม ได้แก่ อัตราป้อนตัด ความเร็วตัด ความลึกในการตัด รัศมีจมูกมีด และอัตราส่วนแรงตัด ซึ่งมีกรอบแนวคิดงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดงานวิจัย

2.2 เงื่อนไขการทดลอง

การกำหนดเงื่อนไขในการตัดที่เกี่ยวกับการเลือกใช้ความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อนตัด (Feed Rate) ความลึกในการตัด (Depth of Cut) และมุมคายเศษวัสดุ (Rack Angle) ต้องมีความถูกต้องและเหมาะสม เพื่อให้กระบวนการตัดเฉือนมีประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของมีดตัด ดังนั้นในการเลือกปัจจัยและระดับปัจจัยต่าง ๆ จึงได้มีการพิจารณาดังต่อไปนี้คือ

1) ความเร็วตัด (v) ได้กำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ 150 200 และ 250 เมตรต่อนาทีเป็นค่าความเร็วตัดที่อยู่ในช่วง 70 - 290 เมตรต่อนาที ซึ่งเป็นช่วงความเร็วตัดที่ใช้สำหรับเม็ดมีดคาร์ไบด์เคลือบผิว และเนื่องจากวัสดุประเภทอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติความแข็ง และจุดหลอมเหลวต่ำ ส่งผลให้มีความอ่อนตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนจากการตัด ถ้าใช้ความเร็วในการตัดที่สูงเกินไป อุณหภูมิในการตัดจะสูงตามไปด้วย ส่งผลทำให้เกิดเศษโลหะหลอมติดกับเม็ดมีด และทำให้ผิวสำเร็จชิ้นงานมีรอยที่เกิดจากเศษโลหะ ทำให้ค่าความตรงชิ้นงานต่ำ

2) อัตราการป้อนตัด (f) ได้กำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับคือ 0.10 0.125 และ 0.150 มิลลิเมตรต่อรอบ เนื่องจากการทดลองเบื้องต้นและการศึกษาความรู้เชิงทฤษฎีพบว่าถ้าอัตราการป้อนตัดต่ำ จะทำให้ผิวชิ้นงานมีค่าความตรงสูง และระดับปัจจัยของอัตราป้อนตัดก็อยู่ในช่วงอัตราป้อนตัดที่ผู้ผลิตเม็ดมีดได้แนะนำอีกด้วย ซึ่งมีช่วงอัตราป้อนตัด 0.08 - 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ

3) ความลึกตัด (D) ได้กำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ 0.10 0.20 และ 0.30 มิลลิเมตร การใช้ความลึกตัดที่น้อยส่งผลให้ได้ผิวชิ้นงานมีค่าความตรงสูงกว่าการใช้ความลึกตัดมาก แต่ไม่ควรใช้ความลึกตัดที่น้อยเกินไป เพราะจะถูกอิทธิพลของรัศมีจมูกมีดมาบดบัง

4) รัศมีจมูกมีด (R_n) ได้กำหนดระดับปัจจัยที่ 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร เนื่องจากต้องการแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของรัศมีจมูกมีดที่ส่งผลต่อความตรงของชิ้นงาน ถ้ารัศมีจมูกมีดมากจะส่งผลให้ชิ้นงานมีคุณภาพผิวที่ดี แต่ถ้าหากรัศมีจมูกมีดมีค่ามากเกินไป จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในขณะตัด ส่งผลให้คุณภาพผิวชิ้นงานไม่ดี

นอกจากนี้ยังมีมุมคายเศษโลหะบวกและลบซึ่งปัจจัยต่อคุณภาพชิ้นงานอีกด้วย แต่ในงานวิจัยนี้จะกำหนดมุมคายเศษโลหะเป็นบวกเท่านั้น เพราะจากทฤษฎีมุมคายเศษโลหะที่เป็นบวก จะช่วยให้เศษโลหะไหลออกดีทำให้เศษโลหะไม่พันกับชิ้นงานและมีดตัด ทำให้ไม่เกิดรอยที่เกิดจากเศษโลหะที่ชิ้นงาน และมุมคายเศษโลหะที่เป็นมุมบวกทำให้มุมระนาบเฉือนเพิ่มขึ้น ระนาบเฉือนสั้นลง ทำให้ลดแรงในการตัดได้ ทำให้คุณภาพผิวสำเร็จของชิ้นงานดี

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการตัด

ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
ความเร็วตัด (v)	150	200	250	เมตรต่อนาที
อัตราป้อนตัด (f)	0.100	0.125	0.150	มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด (D)	0.10	0.20	0.30	มิลลิเมตร
รัศมีจมูกมีด (R_n)	0.4	0.8	-	มิลลิเมตร

การทดลองประกอบไปด้วยปัจจัย 4 ปัจจัยคือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด และรัศมีจมูกมีด แต่ละปัจจัยมีระดับปัจจัย 3 ระดับ ยกเว้นรัศมีจมูกมีด มีระดับปัจจัย 2 ระดับ จะได้การทดลองทั้งหมด 54 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดลองทั้งหมด

Order	V	f	D	R_n
1	150	0.1	0.1	0.4
2	150	0.1	0.1	0.8
3	150	0.1	0.2	0.4
4	150	0.1	0.2	0.8
5	150	0.1	0.3	0.4
6	150	0.1	0.3	0.8
7	150	0.125	0.1	0.4
8	150	0.125	0.1	0.8
9	150	0.125	0.2	0.4
10	150	0.125	0.2	0.8
11	150	0.125	0.3	0.4
12	150	0.125	0.3	0.8
13	150	0.15	0.1	0.4
14	150	0.15	0.1	0.8
15	150	0.15	0.2	0.4
16	150	0.15	0.2	0.8
17	150	0.15	0.3	0.4
18	150	0.15	0.3	0.8
19	200	0.1	0.1	0.4
20	200	0.1	0.1	0.8
21	200	0.1	0.2	0.4

ตารางที่ 2 (ต่อ) เงื่อนไขการทดลองทั้งหมด

Order	V	f	D	R_n
22	200	0.1	0.2	0.8
23	200	0.1	0.3	0.4
24	200	0.1	0.3	0.8
25	200	0.125	0.1	0.4
26	200	0.125	0.1	0.8
27	200	0.125	0.2	0.4
28	200	0.125	0.2	0.8
29	200	0.125	0.3	0.4
30	200	0.125	0.3	0.8
31	200	0.15	0.1	0.4
32	200	0.15	0.1	0.8
33	200	0.15	0.2	0.4
34	200	0.15	0.2	0.8
35	200	0.15	0.3	0.4
36	200	0.15	0.3	0.8
37	250	0.1	0.1	0.4
38	250	0.1	0.1	0.8
39	250	0.1	0.2	0.4
40	250	0.1	0.2	0.8
41	250	0.1	0.3	0.4
42	250	0.1	0.3	0.8
43	250	0.125	0.1	0.4
44	250	0.125	0.1	0.8
45	250	0.125	0.2	0.4
46	250	0.125	0.2	0.8
47	250	0.125	0.3	0.4
48	250	0.125	0.3	0.8
49	250	0.15	0.1	0.4
50	250	0.15	0.1	0.8
51	250	0.15	0.2	0.4
52	250	0.15	0.2	0.8
53	250	0.15	0.3	0.4
54	250	0.15	0.3	0.8

2.3 วิธีการทดลอง

เงื่อนไขการทดลองทั้งหมดนี้จะถูกทำการทดลองดังขั้นตอนต่อไปนี้

1) เตรียมชิ้นงานอะลูมิเนียมทรงกระบอกโดยการทำยันศูนย์ที่ตัวชิ้นงาน เพื่อที่จะติดตั้งกับเครื่องกลึงซีเอ็นซีได้

2) เปิดเครื่องกลึงซีเอ็นซี พร้อมตรวจสอบวาล์วแรงดัน

3) นำไดนาโมมิเตอร์ติดตั้งเข้ากับชุดป้อมมีดของเครื่องกลึงซีเอ็นซี และต่อสายสัญญาณของไดนาโมมิเตอร์เข้ากับเครื่องขยายสัญญาณ

4) นำสายสัญญาณของเครื่องออสซิลโลสโคปต่อเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณซึ่งมีทั้งหมด 3 เส้นคือเส้นของแรงในแนวรัศมี (Fx) เส้นของแรงป้อนตัด (Fy) และเส้นของแรงตัดหลัก (Fz)

5) เปิดเครื่องขยายสัญญาณ รวมทั้งเปิดและตั้งค่าเครื่องออสซิลโลสโคปที่ Low-Pass Filter 500 Hz Sampling Rate 1 Ks/s และRecord Length 10 K

6) ติดตั้งชิ้นงานอะลูมิเนียมทรงกระบอกกับหัวจับชิ้นงาน (Chuck) ที่ระยะจับ 100 มิลลิเมตร พร้อมทั้งยันศูนย์ชิ้นงาน เพื่อไม่ให้ชิ้นงานสั่นสะเทือนขณะตัด

7) กลึงปอกผิวชิ้นงานอะลูมิเนียมเพื่อเตรียมผิวชิ้นงานที่ความยาว 130 มิลลิเมตร

8) กลึงชิ้นงานตามเงื่อนไขดังตารางที่ 2 โดยกลึงความยาว 30 มิลลิเมตรต่อ 1 เงื่อนไขการทดลอง

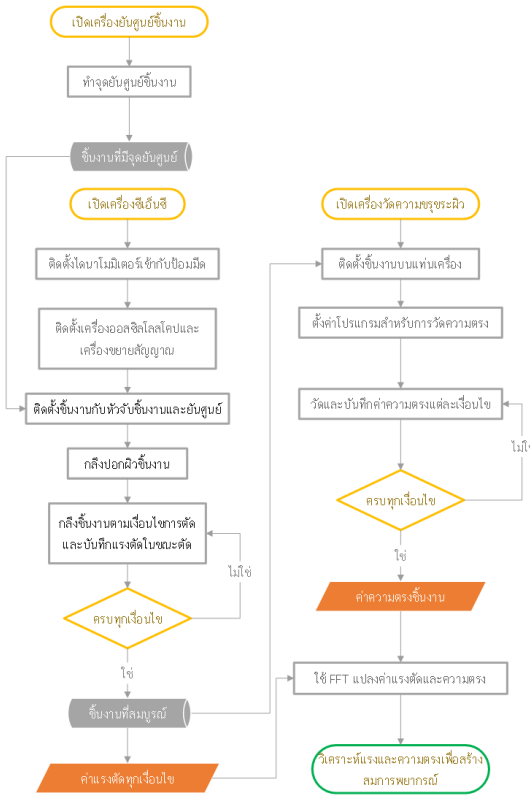
9) บันทึกแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัดผ่านเครื่องออสซิโลสโคปในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ไดนาโมมิเตอร์จะส่งสัญญาณแรงตัดพลวัตไปยังเครื่องขยายสัญญาณเพื่อทำการขยายสัญญาณแรงตัด และเก็บข้อมูลที่ 10,000 ค่าต่อวินาที

10) สังเกตลักษณะของผิวชิ้นงานหลังการตัด ตรวจสภาพการสึกหรอของเม็ดมีดพร้อมบันทึกผล และเก็บตัวอย่างเศษโลหะที่เกิดในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

11) ใช้เครื่องวัดความขรุขระผิวชิ้นงานยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-400 วัดค่าความตรงของชิ้นงาน ตั้งค่าระยะการลากหัวเข็มเท่ากับ 12.5 มิลลิเมตร ความเร็วในการลากเข็ม 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และอัตราการสุ่มเท่ากับ 400 ข้อมูลต่อวินาที โดยวัดแบบทำซ้ำ 3 ครั้งต่อหนึ่งเงื่อนไขการทดลอง

12) ใช้การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) เพื่อแปลงข้อมูลในโดเมนของเวลา (Time domain) ให้อยู่ในโดเมนของความถี่ (Frequency domain) เพื่อนำไปสู่วิเคราะห์สัญญาณแรงตัดที่ได้จากไดนาโมมิเตอร์ และความตรงของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องวัดความขรุขระชิ้นงาน

ซึ่งขั้นตอนการทดลองที่กล่าวมาสามารถแสดงได้ดังแผงผังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง

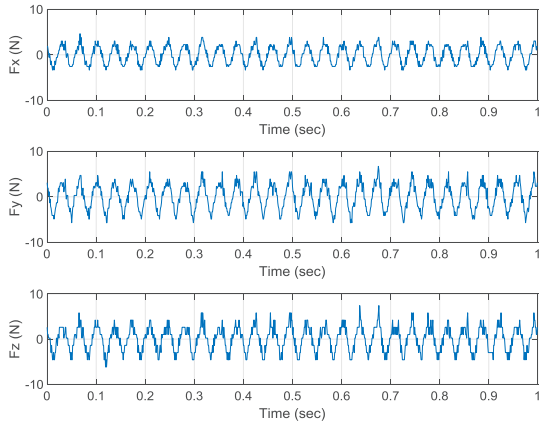
3. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองทั้งหมด 54 เงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 2 สามารถทำการวิเคราะห์สัญญาณแรงตัดที่ได้จากไดนาโมมิเตอร์ และความตรงของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องวัดความขรุขระชิ้นงานได้ดังนี้

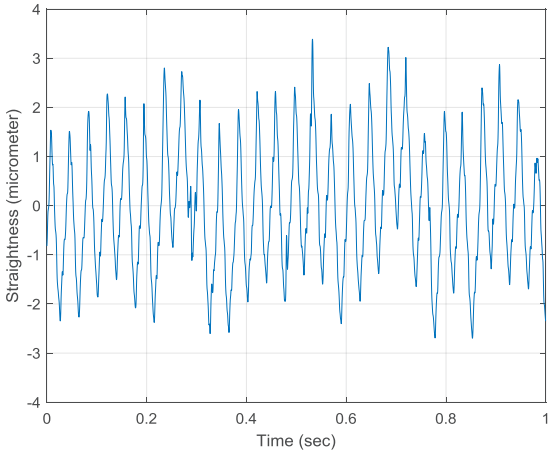
3.1 การวิเคราะห์ความตรงผิวชิ้นงาน และสัญญาณแรงตัดพลวัตโดยวิธีการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงตัดกับความตรงผิวชิ้นงานจะถูกอธิบายได้โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในโดเมนความถี่ของแรงตัดพลวัตและความตรงผิวชิ้นงานโดยอาศัยการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier

Transform: FFT) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่แปลงข้อมูลสัญญาณในโดเมนเวลา (Time Domain) ให้เป็นโดเมนความถี่ (Frequency Domain) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลในโดเมนความถี่จะสามารถแยกความถี่ที่อยู่บนโดเมนเวลาให้อยู่บนกราฟโดเมนความถี่ได้ เมื่อนำข้อมูลสัญญาณมาพล็อตเทียบกับเวลา ข้อมูลจะเป็นคลื่นซายน์ (Sine wave) ส่งผลทำให้การประมวลผลข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังแสดงในตัวอย่างเงื่อนไขการตัดที่ความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีจมูกมีด 0.4 มิลลิเมตร

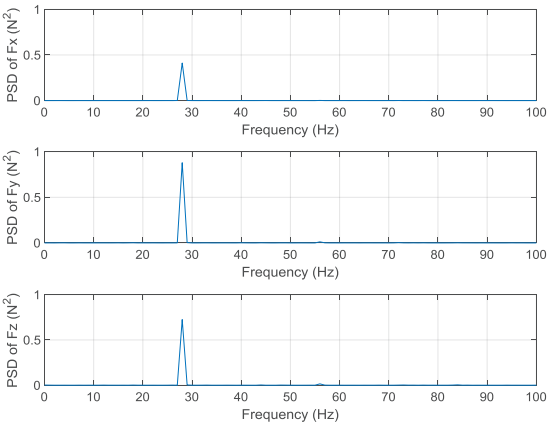


รูปที่ 4 แรงตัดในโดเมนเวลา

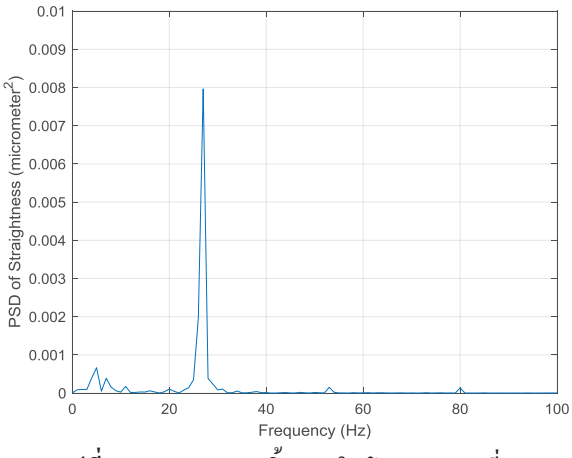


รูปที่ 5 ความตรงของชิ้นงานในโดเมนเวลา

จากรูปที่ 4 และ 5 เป็นการวิเคราะห์ในโดเมนเวลาของสัญญาณแรงตัดพลวัตกับความตรงของชิ้นงานที่มีจำนวนลูกคลื่นที่สอดคล้องกัน ในระยะเวลาอ้างอิงที่เท่ากัน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าสัญญาณทั้งสองน่าจะมีความถี่ที่สอดคล้องกัน จึงได้นำข้อมูลทั้งสองมาทำการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่เพื่อแยกสัญญาณที่เกิดขึ้นด้วยการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว พบว่าการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ของสัญญาณแรงตัดพลวัตและความตรงของชิ้นงานเกิดขึ้นที่ความถี่ตรงกันที่ 27 เฮิรตซ์ ดังรูปที่ 6 และ 7 จึงสามารถกล่าวได้ว่าความตรงของชิ้นงานกับสัญญาณแรงตัดพลวัตที่เกิดขึ้นในขณะตัดมีความสัมพันธ์กัน



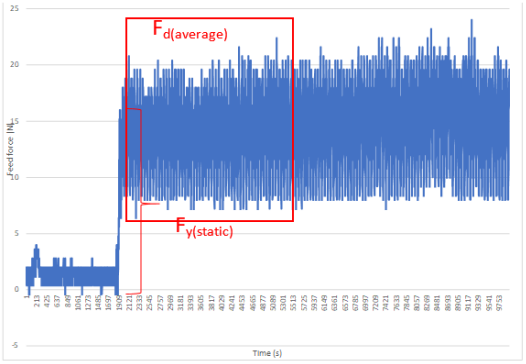
รูปที่ 6 แรงตัดในโดเมนความถี่



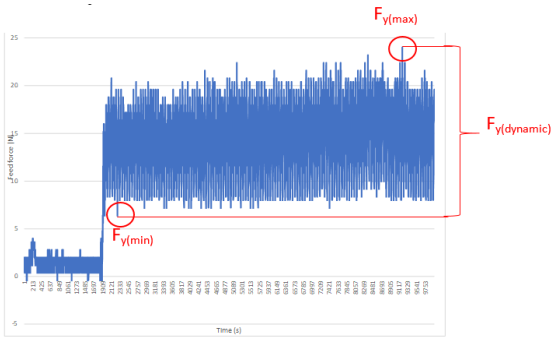
รูปที่ 7 ความตรงของชิ้นงานในโดเมนความถี่

เนื่องจากความตรงชิ้นงานและสัญญาณแรงตัดพลวัตในโดเมนความถี่ที่เกิดขึ้นในขณะตัดมีความสัมพันธ์กัน

จึงสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเพื่อนำมาคำนวณอัตราส่วนแรงตัดจากสัญญาณแรงตัด โดยการคำนวณแรงตัดในโดเมนเวลาจะพิจารณาจากผลต่างของค่าแรงป้อนตัดพลวัตที่มากที่สุด (Fy(max)) กับค่าแรงป้อนตัดพลวัตที่น้อยที่สุด (Fy(min)) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความตรงชิ้นงานเบี่ยงเบนจากศูนย์ที่สูงที่สุด (Max) กับค่าที่น้อยที่สุด (Min) โดยวิธีการคำนวณแรงตัดเพื่อหาอัตราส่วนแรงตัดดังรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 การคำนวณแรงป้อนตัดสถิต



รูปที่ 9 การคำนวณแรงป้อนตัดพลวัต

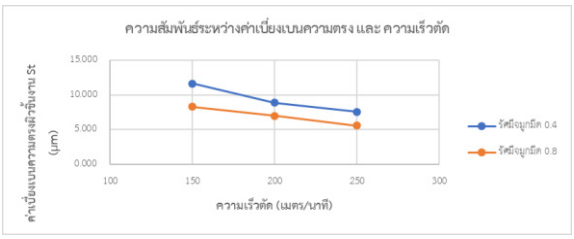
แต่แรงตัดพลวัตอาจแปรผันไปตามเงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ดังนั้นอัตราส่วนแรงป้อนตัดพลวัตและแรงป้อนตัดสถิต จึงนำมาใช้เพื่อประมาณค่าความตรงของชิ้นงาน โดยพิจารณาได้ว่าอัตราส่วนแรงตัดสามารถคำนวณความตรงของชิ้นงานได้โดยไม่แปรเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขการตัด ทำให้สามารถทำนายความตรงของชิ้นงานได้เมื่อเงื่อนไขการตัดเปลี่ยนแปลงดังแสดงในสมการ

$$\text{อัตราส่วนแรงตัด} = \left(\frac{F_{y(\max)} - F_{y(\min)}}{F_{y(s)}}\right) \quad (1)$$

3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความตรงชิ้นงาน และเงื่อนไขการตัด

ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน ที่ได้รับอิทธิพลจากเงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด และรัศมีจมูกมีด แสดงได้ดังต่อไปนี้

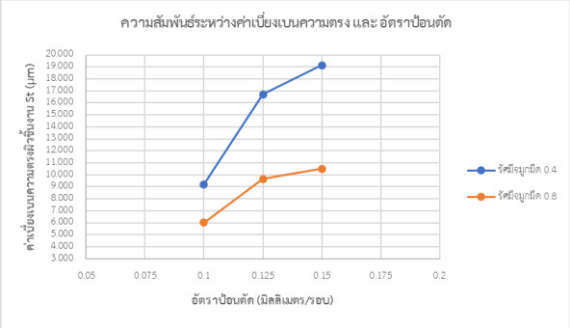
1) ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความเร็วตัด



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานกับความเร็วตัดต่าง ๆ ที่อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 10 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความเร็วตัดที่เงื่อนไขความเร็วตัดต่าง ๆ อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร เมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้นความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานจะลดลง แสดงว่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความเร็วตัดมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม ความตรงของชิ้นงานจะมีแนวโน้มดีขึ้น เนื่องจากความเร็วตัดที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้อุณหภูมิในขณะตัดสูงขึ้น ชิ้นงานจะมีความร้อน และจะอ่อนตัวลง ทำให้ง่ายต่อการตัด แรงที่ใช้ในการตัดจึงน้อยลง

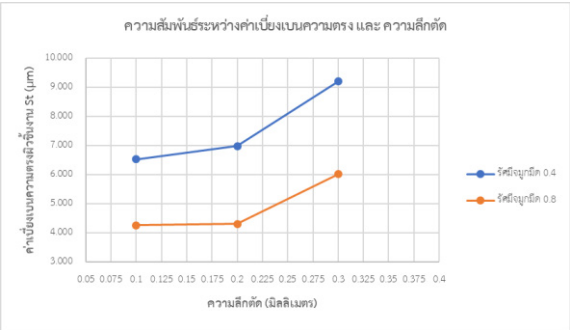
2) ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและอัตราป้อนตัด



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานกับอัตราป้อนตัดต่าง ๆ ที่ความเร็วตัด 200 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร และรัศมีจมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 11 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานกับอัตราป้อนตัดต่าง ๆ ที่ความเร็วตัด 200 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร และรัศมีจมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร โดยความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานกับอัตราป้อนตัดมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัด ค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานจะมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าความตรงของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลง

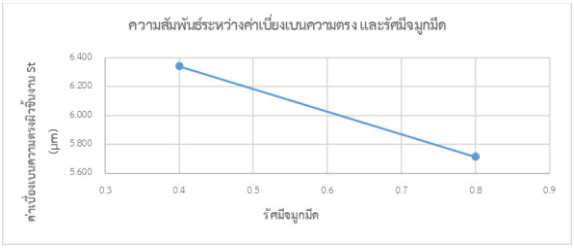
3) ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความลึกตัด



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานกับความลึกตัดต่าง ๆ ที่ความเร็วตัด 200 มิลลิเมตรต่อรอบ อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีจมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความลึกตัดต่าง ๆ พบว่าถ้าความลึกตัดเพิ่มขึ้น จะทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แสดงให้เห็นได้ว่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความลึกตัดมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการใช้ความลึกตัดที่มีค่าสูงขึ้น จะเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นในขณะตัด เพราะพื้นที่ในการตัดเพิ่มมากขึ้น แรงตัดจึงเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ชิ้นงานที่ได้จึงมีแนวโน้มของความตรงของชิ้นงานลดลง

4) ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและรัศมีจมูกมีด



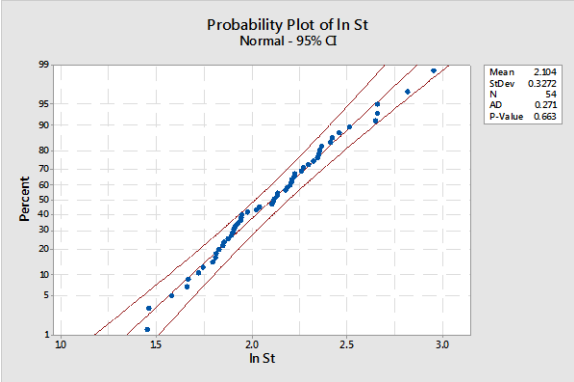
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานกับรัศมีจมูกมีด 0.4 และ 0.8 ที่ความเร็วตัด 150 มิลลิเมตรต่อรอบ อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตร และความลึกตัด 0.1 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและรัศมีจมูกมีด 0.4 และ 0.8 พบว่ารัศมีจมูกมีด 0.8 ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานต่ำกว่ารัศมีจมูกมีด 0.4 จึงสามารถสรุปได้ว่าถ้ารัศมีจมูกมีดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลง นั่นคือผิวชิ้นงานจะดีขึ้น

3.3 การสร้างสมการทำนายความตรงผิวชิ้นงาน

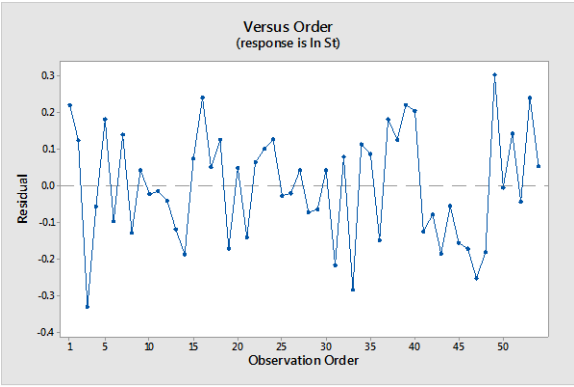
จากการทดลอง และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความตรงชิ้นงานกับอัตราส่วนแรงตัด และเงื่อนไขการตัดต่าง ๆ สามารถสร้างสมการทำนายความตรงผิวชิ้นงานได้ โดยต้องทดสอบข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับ

สมการ โดยจะมีการทดสอบสมมติฐานดังต่อไปนี้คือ การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และการทดสอบความมีเสถียรภาพความแปรปรวน โดยแสดงผลได้ดังนี้



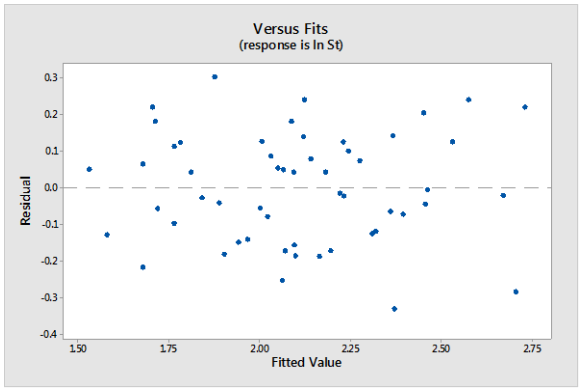
รูปที่ 14 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

จากรูปที่ 14 แสดงการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูล พบว่ากราฟความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน มีลักษณะมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง โดยมีค่า P-value เท่ากับ 0.663 และมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นผลการทดสอบสมมติฐานจึงสรุปได้ว่าข้อมูลความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 15 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

จากรูปที่ 15 แสดงกราฟ Residual versus Order ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อนและลำดับการทดลอง มีลักษณะกระจายตัวไม่มีแนวโน้มเป็นรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ดังนั้นข้อมูลความตรงเบี่ยงเบนศูนย์มีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 16 การทดสอบความมีเสถียรภาพความแปรปรวน

จากรูปที่ 16 แสดงกราฟ Residual versus Fits ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน โดยข้อมูลกระจายตัวรอบศูนย์ใกล้เคียงกัน และไม่มีแนวโน้ม ดังนั้นความแปรปรวนของข้อมูลมีค่าคงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง

ดังนั้นจึงสามารถสร้างสมการทำนายค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน ที่มีตัวแปรคือความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด รัศมีจมูกมีด และอัตราส่วนแรงตัด โดยผ่านการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple linear regression analysis) และประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของการถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) [6] , [7] โดยจะได้สมการดังนี้

$$S_t = 329.3101 \cdot V^{-0.2670} \cdot F^{0.9780} \cdot D^{0.2883} \cdot R_n{}^{-0.3926} \cdot \frac{F_{y(\max)} - F_{y(\min)}}{F_{y(s)}}^{0.2234} \quad (2)$$

โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. ความเร็วตัด (V) มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นลบ แสดงได้ว่าความเร็วตัด และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานแปรผกผันกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น จะเกิดความร้อนทำให้วัสดุชิ้นงานอ่อน ทำให้ตัดได้ง่าย และใช้แรงตัดลดลง ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานลดลง หรือผิวชิ้นงานมีความตรงมากขึ้น

2. อัตราป้อนตัด (F) มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นบวก แสดงว่าอัตราป้อนตัด และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์

ของชิ้นงานแปรผันตรงกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่ออัตราป้อนตัดเพิ่มขึ้น จะใช้แรงตัดมาก ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมากขึ้น หรือผิวชิ้นงานมีความตรงน้อยลง

3. ความลึกในการตัด (D) มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นบวก แสดงว่าความลึกในการตัด และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานแปรผันตรงกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อความลึกในการตัดเพิ่ม ทำให้พื้นที่ในการตัดลึกมากขึ้น ต้องใช้แรงในการตัดมาก ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมากขึ้น หรือผิวชิ้นงานมีความตรงน้อยลง

4. รัศมีจมูกมีด (R_n) มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นลบ แสดงว่ารัศมีจมูกมีด และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานแปรผกผันกัน ซึ่งอธิบายได้ว่ารัศมีจมูกมีด ขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าความขรุขระผิวลดลง หรือมีความเรียบมากขึ้นนั่นเอง ซึ่งอธิบายได้ว่าถ้ารัศมีจมูกมีดขนาดใหญ่จะลดรอยป้อนตัดได้ ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานลดลง หรือผิวชิ้นงานมีความตรงมากขึ้น

5. อัตราส่วนแรงตัด $\left(\frac{F_{y(\max)}-F_{y(\min)}}{F_{y(s)}}\right)$ มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นบวก แสดงว่าอัตราส่วนแรงตัด และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานแปรผันตรงกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่ออัตราส่วนแรงตัดเพิ่มขึ้น จะทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมากขึ้น หรือผิวชิ้นงานมีความตรงน้อยลง

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรแต่ละตัวจะเห็นได้ว่าอัตราป้อนตัดมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมากที่สุด ดังนั้นตัวแปรที่มีผลต่อความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมากที่สุดก็คืออัตราป้อนตัด รองลงมาก็คือ รัศมีจมูกมีด ความลึกในการตัด ความเร็วตัด และอัตราส่วนแรงตัด ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์ทั้งหมดนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้า

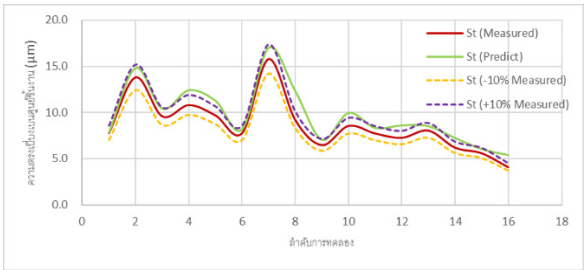
3.4 การทดสอบความแม่นยำของสมการ

เพื่อเป็นการตรวจสอบความแม่นยำของการทำนายความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน จึงทำให้ต้องมีการทดสอบความแม่นยำของสมการเกิดขึ้น ซึ่งได้อุปกรณ์วัสดุชิ้นงานเหมือนเดิม เพียงแต่ทำการกำหนดเงื่อนไขการทดสอบความแม่นยำของสมการเพิ่มเติมดังนี้

ตารางที่ 3 เงื่อนไขการทดสอบความแม่นยำของสมการ

ปัจจัย	ระดับปัจจัย		หน่วย
ความเร็วตัด (v)	180	260	เมตรต่อนาที
อัตราป้อนตัด (f)	0.1	0.15	มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด (D)	0.1	0.3	มิลลิเมตร
รัศมีจมูกมีด (R_n)	0.4	0.8	มิลลิเมตร

จากผลการทดลองค่าเบี่ยงเบนความตรงของชิ้นงาน (St) ที่ได้จากเครื่องวัดความขรุขระผิวชิ้นงาน และค่าที่ได้จากสมการการทำนายค่าเบี่ยงเบนความตรงของชิ้นงานนั้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน มีบางเงื่อนไขที่มีค่าแตกต่างออกไป ดังแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 17 กราฟการทดสอบความแม่นยำของสมการความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน

โดยสามารถคำนวณผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของสมการทำนายความตรงผิวชิ้นงานได้ที่ 10.87% นั่นก็คือ สมการทำนายความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานจะมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 89.13% ซึ่งถือว่าสมการสามารถทำนายความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน กับแรงตัดในกระบวนการกลึงอะลูมิเนียม ได้ว่าแรงตัดแบบพลวัต

มีความสัมพันธ์กันกับความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ และสามารถอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ในเงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ได้ว่าเมื่อใช้ความเร็วตัดสูง และรัศมีจมูกมีดมาก แต่อัตราป้อนตัด และความลึกในการตัดต่ำ จะส่งผลให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมีค่าลดลง ทำให้อะลูมิเนียมมีผิวชิ้นงานที่ดีขึ้น และจากสมการทำนายความตรงผิวชิ้นงานสามารถระบุได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความตรงเบี่ยงเบนของชิ้นงานมากที่สุดก็คือ อัตราป้อนตัด ส่วนปัจจัยอื่น ๆ คือ รัศมีจมูกมีด ความลึกในการตัด ความเร็วตัด และอัตราส่วนแรงตัด เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความตรงเบี่ยงเบนของชิ้นงานรองลงมาตามลำดับ และได้ทำการตรวจสอบความแม่นยำของสมการโดยสร้างเงื่อนไขใหม่ขึ้น พบว่าสมการทำนายความตรงเบี่ยงเบนของชิ้นงานมีความแม่นยำถึง 89.13%

จากความสัมพันธ์ที่กล่าวมานั้น เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเหล็กกล้าจะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์ต่าง ๆ มีความสอดคล้องกันกับการใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้า ดังแสดงในรูปที่ 18

งานวิจัย	วัสดุชิ้นงาน	เงื่อนไขการตัด					ผลการวิจัย
		V	F	D	Rn	γ	
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงและแรงตัดในกระบวนการกลึงอลูมิเนียม	อลูมิเนียม (Al6063)	150	0.1	0.1	0.4	+11	- อัตราป้อนตัด เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความตรงของชิ้นงานมากที่สุด - การเพิ่มความเร็วตัด รัศมีจมูกมีด และลดอัตราป้อนตัด กับความลึกให้น้อยลงจะทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานลดลง ทำให้มีความตรงชิ้นงานมากขึ้น
		200	0.125	0.2	0.8		
		250	0.15	0.3			
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความตรงของชิ้นงานกับแรงตัดในกระบวนการกลึง	เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด S45S	100	0.15	0.4	0.4	-6	- อัตราการป้อนตัด และอัตราส่วนแรงตัดเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความตรงของชิ้นงานมากที่สุด - ความตรงของชิ้นงานดีขึ้นเมื่อใช้ความเร็วตัด รัศมีจมูกมีด และมุมคายเศษโลหะที่มีค่ามาก ส่วนอัตราส่วนแรงตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัดต้องน้อย
		150	0.2	0.6	0.8	+11	
		200	0.25	0.8			
การพัฒนาการทำนายค่าความตรงและความกลมของชิ้นงานในกระบวนการกลึงซีเอ็นซีโดยใช้การแปลงเวฟเลท	เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด S45S	100	0.15	0.4	0.4	-6	- อัตราป้อนตัด มีอิทธิพลต่อค่าความตรงของชิ้นงานมากที่สุด เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัดพบว่าความตรงเบี่ยงศูนย์มีค่ามากขึ้น - การเพิ่มความเร็วตัด รัศมีจมูกมีด และมุมคายเศษโลหะ ในขณะที่ใช้อัตราการป้อนตัด และความลึกตัดที่น้อยๆ ความตรงของชิ้นงานจะมีแนวโน้มที่ดีขึ้น - อัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแปรปรวนแรงตัดพลวัต มีอิทธิพลความกลมมากที่สุด เมื่ออัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแปรปรวนแรงตัดพลวัตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความกลมที่ได้เพิ่มขึ้น - การเพิ่มความเร็วตัด เพิ่มขนาดรัศมีจมูกมีด และใช้มุมคายเศษโลหะที่มีค่ามาก ลดอัตราการป้อน ลดความลึกตัด ส่งผลให้ความกลมที่ได้เพิ่มขึ้น
		150	0.2	0.6	0.8	+11	
		200	0.25	0.8			
การพยากรณ์ในกระบวนการสำหรับความขรุขระผิวชิ้นงานในการกลึงอลูมิเนียม	อลูมิเนียม (Al6063)	150	0.1	0.1	0.4	+11	- อัตราป้อนตัดมีอิทธิพลต่อความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) และความขรุขระผิวสูงสุด (Rz) มากที่สุด - ความขรุขระผิวเฉลี่ยและความขรุขระผิวสูงสุด จะมีค่าลดลงเมื่อใช้อัตราป้อนตัด และความลึกในการตัดต่ำ ในขณะที่ใช้ความเร็วตัดและรัศมีจมูกมีดที่มาก
		200	0.125	0.2	0.8		
		250	0.15	0.3			

รูปที่ 18 การเปรียบเทียบผลการวิจัยที่ผ่านมา

งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีขนาดเล็กและต้องการความตรงของชิ้นงานเพื่อการประกอบในกระบวนการถัดไปได้ ชิ้นงานที่ได้จะมีคุณภาพชิ้นงานที่ตรงตามแบบที่ระบุไว้ สามารถลดอัตราของเสียในการผลิต ลดเวลาและต้นทุนในการผลิตเมื่อไม่มีของเสียในกระบวนการเกิดขึ้น และสามารถนำไปพัฒนาระบบติดตามความตรงของชิ้นงานในขณะตัดได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือสำหรับการทดลองวิจัย รวมถึงคำแนะนำ ช่วยเหลือ ตลอดจนชี้แนะแนวทางแก้ปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. การสำรวจสถานภาพอุตสาหกรรมโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-ferrous metals) อะลูมิเนียม. 2557.

[2] ธารารัตน์ ชาญสูงเนิน. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความตรงของชิ้นงานกับแรงตัดในกระบวนการกลึง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2557.

[3] มุอ์มิน ศาสน์สันติวงศ์. การพัฒนาการทำนายค่าความตรงและความกลมของชิ้นงานในกระบวนการกลึงซีเอ็นซีโดยใช้การแปลงเวฟเลท. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2558.

[4] อาทิตยา ชัยจรีนนท์. การพยากรณ์ในกระบวนการสำหรับความขรุขระผิวชิ้นงานในการกลึงอะลูมิเนียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2560.

[5] สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ. วิศวกรรมการผลิตขั้นสูง. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2555.

[6] ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2545.

[7] Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. ed. 8, John Wiley & Sons, New York, 2009.