

การออกแบบด้ามเครื่องมือตัดแบบสั่นสองทิศทางสำหรับ เครื่องกลึงซีเอ็นซี

Design of Two-direction Vibration Cutting Tool Holder for Conventional CNC Turning Machine

สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการตัดแบบสั่นสองทิศทาง เข้ากับเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยการออกแบบด้ามเครื่องมือตัดแบบพิเศษ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการตัดเพื่อให้ได้ผิวชิ้นงานสำเร็จที่มีความหยาบผิวต่ำ และเครื่องมือตัดมีความสึกหรอต่ำ ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองตามเงื่อนไขในการตัดต่างๆ จากการออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคเชิงแฟกทอเรียล จากการทดลองพบว่า การตัดแบบสั่นสองทิศทางสามารถลดค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยได้อย่างมีนัยสำคัญ จาก 64.4 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากกระบวนการตัดแบบดั้งเดิม เป็น 46.30 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากกระบวนการตัดแบบสั่นสองทิศทางหรือลดลง 28.1 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกระบวนการตัดแบบดั้งเดิม นอกจากนี้แล้ว คมเครื่องมือตัดของกระบวนการตัดแบบดั้งเดิมยังมีแนวโน้มของการสึกหรอเร็วกว่า จึงสามารถสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้วิธีการตัดแบบสั่นสองทิศทางจากการใช้ด้ามเครื่องมือตัดที่ออกแบบพิเศษและถูกติดตั้งบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีสามารถทำให้ผิวชิ้นงานมีความหยาบผิวต่ำ และยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดได้

คำสำคัญ : การตัดแบบสั่น เพียโซอิเล็กทริก เครื่องมือตัดเครื่องกลึงซีเอ็นซี ด้ามเครื่องมือตัด

Abstract

This research applied two-direction vibration cutting method on conventional CNC turning machine by designing the special vibration cutting tool holder. The objective is to improve the cutting performance that provides the low surface roughness and low tool wear by using the designed vibration cutting tool holder. The design of experiment (DOE) is utilized to analyze the responses of surface roughness (Ra). The experimental results showed that the designed vibration cutting tool holder can significantly reduce the mean of surface roughness Ra from 64.4 nm obtained by the conventional cutting to 46.3 nm obtained by the vibration cutting, which is reduced about 28.1 percent as compared to the conventional cutting. Furthermore, the rate of tool wear obtained from the conventional cutting method is higher than that obtained from the vibration cutting method. It is understood that the application of two-direction vibration cutting method can give the low surface roughness and prolong the life of the cutting tool by using the designed vibration cutting tool holder installed on conventional CNC turning machine.

บทนำ

ในทุกวันนี้ ได้มีงานวิจัยมากมายที่คิดค้นและ พัฒนาเทคโนโลยีการจัดเนื้อวัสดุขึ้นมาในแนวทางใหม่ อาทิเช่น การตัดแบบสั่น (Vibration cutting) [1],[2],[12],[13] วิธีการนี้เป็นการสั่นเครื่องมือตัดโดยการป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปกระตุ้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการสั่นซึ่งติดตั้งอยู่บนด้ามเครื่องมือตัด ในขณะที่เครื่องกลึงซีเอ็นซีกำลังทำการป้อน เครื่องมือตัดเข้าไปทำการตัดชิ้นงาน การที่เครื่องมือตัดมีการสั่นอยู่ตลอดเวลาขณะที่ทำการตัดนั้น มีผลดี คือส่งผลให้แรงตัดชิ้นงานต่ำทำให้ความหยาบผิวของ ชิ้นงานลดลง นอกจากนี้แล้วยังช่วยให้อายุการใช้งาน ของมีดตัดยาวนานขึ้นอีกด้วยแต่วิธีการตัดแบบสั่นใน ยุคแรกนั้นยังคงเป็นการสั่นเพียงทิศทางเดียวเท่านั้น [1],[2],[12],[13] ต่อมา Eiji Shamoto และคณะ ได้ พัฒนาวิธีการตัดแบบสั่นใหม่ มีชื่อว่า “การตัดแบบ สั่นรูปวงรี(Elliptical Vibration Cutting) [3] ซึ่งเป็น การสั่นสองทิศทางสอดคล้องกัน กล่าวคือ มีการสั่น ของเครื่องมือตัดในระนาบเดียวกันกับทิศทางการตัด และมีการสั่นอีกทิศทางหนึ่งคือทิศทางเดียวกับ ระนาบทิศทางการไหลของเศษวัสดุ (chip) การสั่น สองทิศทางที่เกิดขึ้นอย่างสอดคล้องกันนั้น ทำให้การ เคลื่อนที่ของคมเครื่องมือตัดในแต่ละรอบของคาบเวลา ในการสั่นเกิดเป็นรูปวงรี การตัดแบบสั่นรูปวงรียังมี ข้อดีว่าการตัดแบบสั่นทิศทางเดียวในยุคแรก เช่น ความหยาบผิวที่น้อยกว่า และเพิ่มประสิทธิภาพใน การตัดของเครื่องมือตัดให้ดีขึ้น [4]

Eiji Shamoto และคณะ ยังได้ทำการทดลองเพื่อ ทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแบบสั่นรูปวงรีกับ วัสดุชนิดต่างๆ โดยได้ทดลองตัด แก้ว [4] เหล็กหล่อ [5] เหล็กชุบแข็ง [6] วัสดุแข็งและเปราะหลายประเภท [7] เช่น ทังสเตนคาร์ไบด์, เซรามิก, แคลเซียมฟลูออไรด์ เจอร์มาเนียมผลึกเดี่ยว [8] และทังสเตน อัลลอยด์ [9] ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นเป็นที่น่าพอใจในแง่ ของอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด และคุณภาพ ของผิวชิ้นงานซึ่งมีความหยาบผิวดำมาก แต่อย่างไร

ก็ตาม ด้ามเครื่องมือตัดสำหรับการตัดแบบสั่นรูปวงรี นั้นได้ถูกออกแบบโดยเฉพาะเพื่อติดตั้งบนเครื่อง กลึงซีเอ็นซีความแม่นยำสูง (เครื่องกลึงซีเอ็นซีที่มี ระดับความแม่นยำในการเคลื่อนป้อนเครื่องมือตัด 1 นาโนเมตร) เท่านั้น

จากงานวิจัยทั้งหลายข้างต้น ได้มีการพิสูจน์ แล้วว่าวิธีการตัดแบบสั่นสองทิศทางมีประสิทธิภาพดี กว่าวิธีการตัดแบบสั่นทิศทางเดียว ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเลือกที่จะประยุกต์เอาวิธีการตัดแบบสั่นสองทิศทาง โดยทำการออกแบบ และสร้างด้ามเครื่องมือตัดแบบ พิเศษ ที่สามารถนำไปติดตั้งบนป้อนเครื่องมือของ เครื่องกลึงซีเอ็นซีทั่วไป (มีระดับความแม่นยำในการ เคลื่อนป้อนเครื่องมือตัด 1 ไมโครเมตร) เพื่อขยายขีด จำกัดการผลิตของเครื่องกลึงซีเอ็นซีทั่วไป โดยไม่ จำเป็นต้องลงทุนเพิ่มสำหรับเครื่องกลึงซีเอ็นซีความ แม่นยำสูง ซึ่งอาจเป็นเงินจำนวนมากเนื่องจากเป็น เทคโนโลยีที่ซับซ้อนจากต่างประเทศ และเครื่องจักร เดิมก็ไม่อาจเกิดประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ได้อย่าง ที่ควรจะเป็น อนึ่ง เครื่องกลึงซีเอ็นซีความแม่นยำสูง นั้นเป็นเทคโนโลยีขั้นสูง สนธิสัญญาว่าด้วยการ จำกัดอาวุธนิวเคลียร์ (IAEA: Nuclear Non-Proliferation Treaty) ซึ่งเป็นกฎหมายระหว่างประเทศ มีวัตถุประสงค์คือจำกัดจำนวนอาวุธนิวเคลียร์และ จำกัดการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตอาวุธนิวเคลียร์ มีผลผูกพันประเทศผู้นำทางเทคโนโลยีส่วนใหญ่ของโลกที่ซึ่งได้ให้สัตยาบันแก่สนธิสัญญานี้ อาทิเช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ เยอรมนี ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ ส่งผล ให้การส่งออกเทคโนโลยีขั้นสูงที่ซึ่งคาดหมายได้ว่า อาจถูกนำไปใช้ผลิตอาวุธนิวเคลียร์สู่ประเทศที่ยังไม่ ได้ให้สัตยาบันแก่สนธิสัญญานี้ อาทิเช่น ประเทศไทย ทำได้อย่างยากลำบากมาก นอกจากนี้แล้ว วิธีการตัด แบบสั่นสองทิศทางยังทำให้เครื่องมือตัดสึกหรอน้อย ลงส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดยาวนานขึ้น เป็นการลดต้นทุนการผลิตต่อชิ้นได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

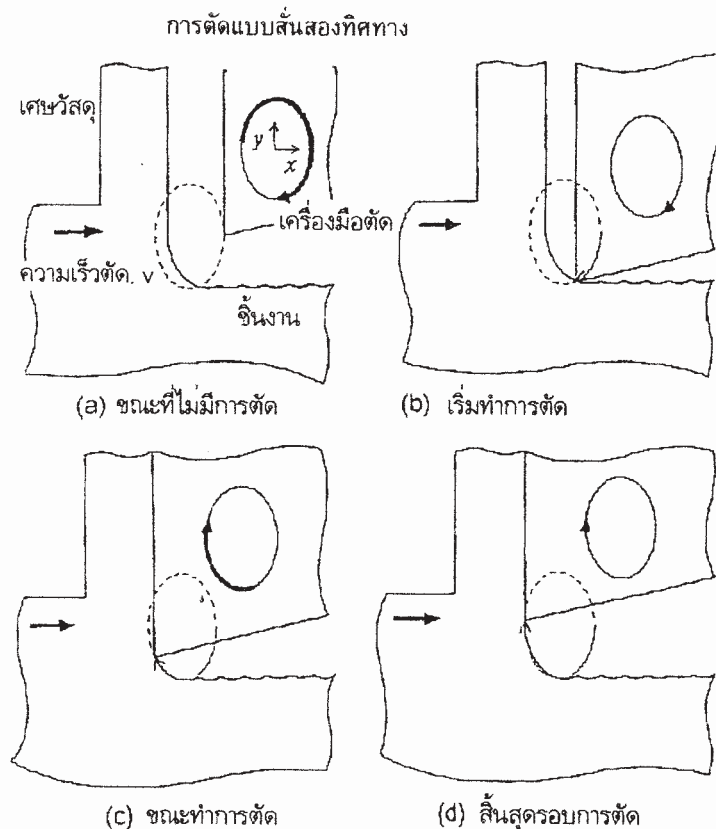
เพื่อออกแบบ และสร้างด้ามเครื่องมือตัดที่ใช้สำหรับการตัดแบบเส้นสองทิศทาง โดยที่ด้ามเครื่องมือตัดนั้นสามารถสั่นได้ตามแนวแกนสองแกนพร้อมกัน และสามารถนำด้ามเครื่องมือตัดต้นแบบไปติดตั้งกับเครื่องกลึงซีเอ็นซีทั่วไปที่ป้อมเครื่องมือ (Tools Turret) มีช่องสำหรับติดตั้งด้ามเครื่องมือตัด มีดิกว้างคุณยาวของช่องติดตั้งเท่ากับ 25 มิลลิเมตร คุณ 25 มิลลิเมตร และสามารถนำมาตัดชิ้นงานที่มีความแข็งต่ำกว่าหรือเท่ากับ 200 HB (เหล็กกล้า JIS:S45C) [10] ได้ รวมถึงศึกษาเงื่อนไขการตัดเพื่อปรับปรุงวิธี

การตัดโดยใช้การตัดแบบเส้นสองทิศทาง ทำให้ผิวชิ้นงานสำเร็จที่ได้มีคุณภาพดีขึ้นโดยวัดจากค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Average Surface Roughness: Ra) ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Tester) และทำการเปรียบเทียบการสึกหรอของเครื่องมือตัดระหว่างวิธีการตัดแบบดั้งเดิมกับวิธีการตัดแบบเส้นสองทิศทางโดยภาพขยายจากกล้องจุลทรรศน์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันของความสึกหรอของเครื่องมือตัดเมื่อใช้วิธีการตัดที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์

หลักการพื้นฐานของการตัดแบบเส้นสองทิศทาง

ในหนึ่งรอบของการตัดแบบเส้นสองทิศทางแสดงให้เห็นดังรูปที่ 1 สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้



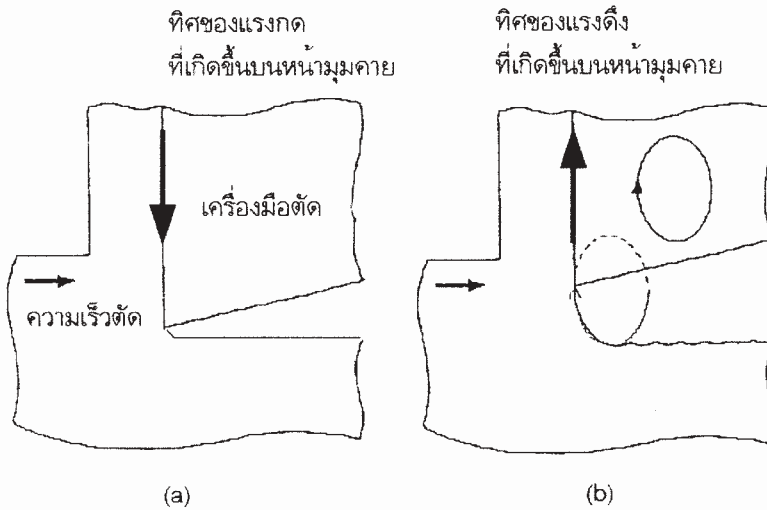
รูปที่ 1 การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดเมื่อทำการตัดแบบเส้นสองทิศทางในหนึ่งรอบการทำงาน

เริ่มต้น เครื่องมือตัดจะอยู่ทางด้านขวาของรูป เส้นประวงรีโดยที่ยังไม่ได้ทำการตัด เส้นประในรูป แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด ดังรูปที่ 1(a) ถัดมา เครื่องมือตัดได้เริ่มทำการตัด ชิ้นงาน ดังรูปที่ 1(b) หลังจากนั้นเครื่องมือตัดได้ทำการทำการตัดชิ้นงาน และมีการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนของรูปวงรี ดังแสดงในรูปที่ 1(c) และ เครื่องมือตัด จะแยกตัวออกจากเศษวัสดุเมื่อความเร็วสั้นในแนวนอน (การสั้นทางแกน x) เร็วกว่าความเร็วตัด ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 1(d)

ในช่วงเวลาที่เริ่มต้นทำการตัด ความเร็วสั้นในแนวตั้ง (การสั้นทางแกน y) จะช้ากว่าเมื่อเทียบกับ

ความเร็วในการไหลของเศษวัสดุ ดังนั้นแรงเสียดทานจากเศษวัสดุจะมีทิศตกลงบนหน้ามุมคาย ในช่วงเวลานี้ ลักษณะแรงกดที่เกิดขึ้นจะเหมือนกับวิธีการตัดแบบดั้งเดิม ดังรูปที่ 2(a)

ต่อมาปรากฏการณ์จะเกิดขึ้นในทางกลับกันเมื่อความเร็วสั้นในแนวตั้งผ่านจุดต่ำสุดเนื่องจากความเร็วสั้น มีลักษณะเป็นคาบ ทำให้ความเร็วสั้นในแนวตั้งจะเริ่มกลับมามีทิศทางเดียวกันกับความเร็วในการไหลของเศษวัสดุ ดังนั้นเศษวัสดุจะถูกดึงโดยแรงเสียดทานจากหน้ามุมคาย เมื่อความเร็วสั้นในแนวตั้งเร็วกว่าความเร็วในการไหลของเศษวัสดุ ตามรูปที่ 2(b)

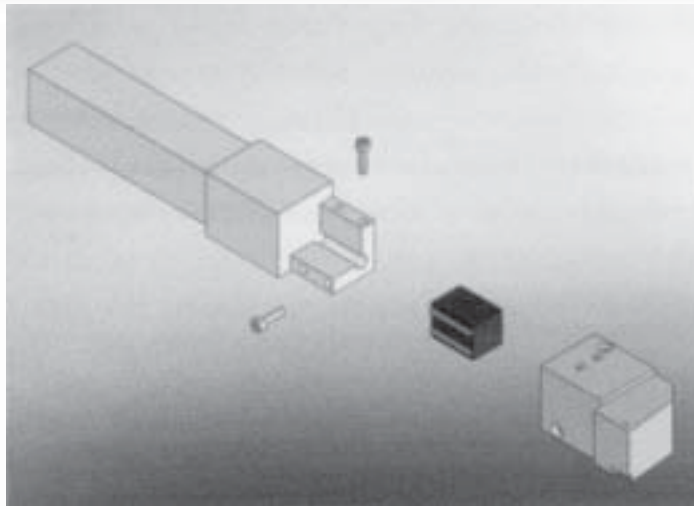


รูปที่ 2 ทิศของแรงดึงและแรงกดที่เกิดบนหน้ามุมคาย

แรงดึงเศษวัสดุนี้สามารถทำให้แรงตัดเฉลี่ยในหนึ่งคาบเวลามีค่าต่ำกว่าศูนย์ได้ การลดลงของแรงตัดเช่นนี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้โดยวิธีการตัดแบบดั้งเดิม ถึงแม้ว่าจะใช้ เครื่องมือตัดแบบหมุนรอบเพลลา (Rotary tool) [11] หรือโดยการใช้สารหล่อเย็นแบบใดๆ ก็ตาม ปรากฏการณ์หล่อลื่นเสมือน (Virtual lubrication effect) ที่เกิดจากการตัดแบบสั้นตามแนวสองแกนพร้อมกันนั้น จะเพิ่มมุมเฉือนขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้เศษโลหะมีความหนาลดลง และยัง สามารถลดแรงตัดลงให้ลดน้อยลงได้อีกด้วย

การออกแบบด้ามเครื่องมือตัดแบบสั้นสองทิศทาง

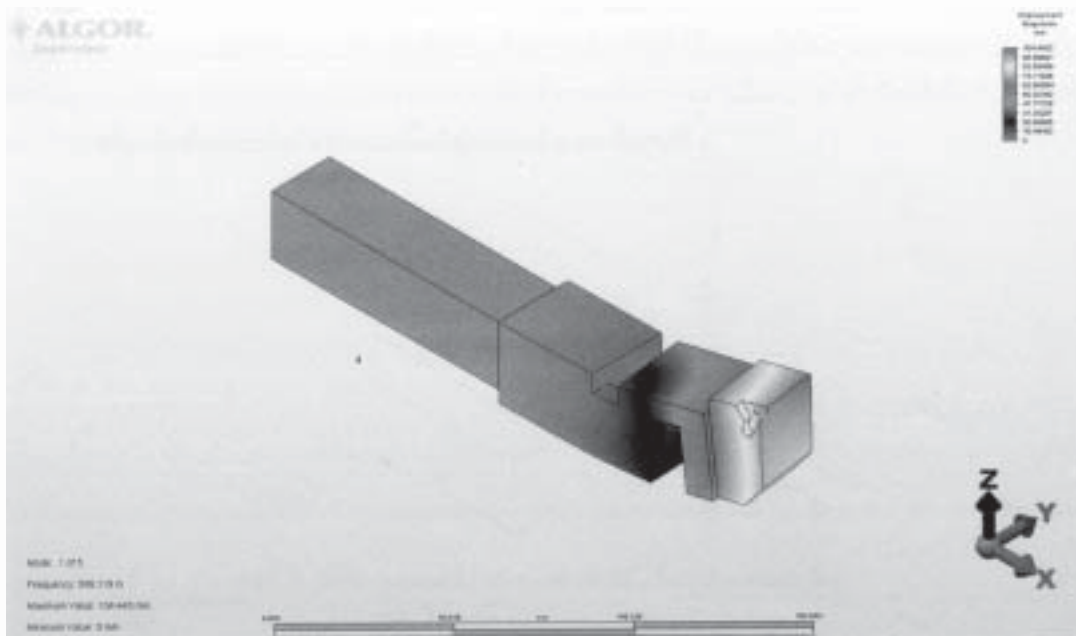
ด้ามเครื่องมือตัดแบบสั้นจะถูกออกแบบสำหรับงานกลึงปาดหน้า โดยสามารถติดตั้งบนป้อมเครื่องมือของเครื่องกลึงซีเอ็นซีได้ การออกแบบด้ามเครื่องมือตัดแบบสั้น ออกแบบให้มีสองส่วน ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3 คือ ส่วนท้าย ใช้สำหรับติดตั้งชุดด้ามเครื่องมือตัดเข้ากับป้อมเครื่องมือของเครื่องกลึงซีเอ็นซี และ ส่วนหัว ใช้สำหรับติดตั้งเครื่องมือตัด การประกอบด้ามเครื่องมือตัดส่วนหัวกับด้ามเครื่องมือตัดส่วนท้ายเข้าด้วยกันนั้น จะใช้สกรูขนาด M3 ในการยึดติดทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การประกอบด้ามเครื่องมือตัดส่วนหัวและส่วนท้ายเข้าด้วยกัน

ค่าความถี่ธรรมชาติของด้ามเครื่องมือตัดแบบ
สั้น สามารถตรวจสอบ และคำนวณได้จากการ
จำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element simulation)
โดยโปรแกรม ALGOR® ดังแสดงในรูปที่ 4 ผลการ
จำลอง 3 โหมดแรกของความถี่ธรรมชาติ คือ โหมดที่
1 มีค่าความถี่ 998.119 เฮิรตซ์ โหมดที่ 2 มีค่าความถี่
1423.7 เฮิรตซ์ และโหมดที่ 3 มีค่าความถี่ 3641.74
เฮิรตซ์ เห็นได้ว่า ค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 มี

ค่าสูงกว่าค่าความถี่ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ซึ่งก็คือความถี่
สูงสุดที่ชุดควบคุมและส่วนขยายสัญญาณสามารถขับ
ตัวขับเพียโซอิเล็กทริกที่เลือก มีค่าเท่ากับ 400 เฮิรตซ์
ดังนั้น โครงสร้างด้ามเครื่องมือตัดแบบสั้นที่ถูกรอก
แบบมานั้น สามารถนำมาใช้ในการทดลองได้ ไม่เกิด
ความเสียหายจากการสั่นพ้อง (Resonant) โดยการ
สั่นสะเทือน ณ ความถี่เดียวกันกับความถี่ธรรมชาติ
(Natural Frequency) ของโครงสร้างแต่อย่างใด



รูปที่ 4 การจำลองความถี่ธรรมชาติของด้ามเครื่องมือตัด

โดยปกติในการเลือกอุปกรณ์เพื่อใช้ในกระบวนการกลึง ยังมีสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาคือ แรงที่กระทำต่อด้ามเครื่องมือตัด ตามสมการ $F = ksfd$ [10]

โดยที่ F คือแรงกระทำ ks คือค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการตัด, f คืออัตราป้อนตัด, และ d คือความลึกตัด ซึ่งจะกระทำอยู่ตาม 3 แนวแกนของด้ามเครื่องมือ

ตัดและมีชื่อเรียกที่ต่างกันไป คือ แรงป้อนตัด (Feed force) แรงรูน (Thrust force) และแรงตัดหลัก (Cutting force)

อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการกลึงจริงบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีแรงตัดที่กระทำต่อด้ามเครื่องมือตัดในแกนต่างๆ จะถูกวัดในขณะที่ทำการตัดจริงก่อน โดยไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) จากวิธีการกลึงปาดหน้า ที่เงื่อนไข

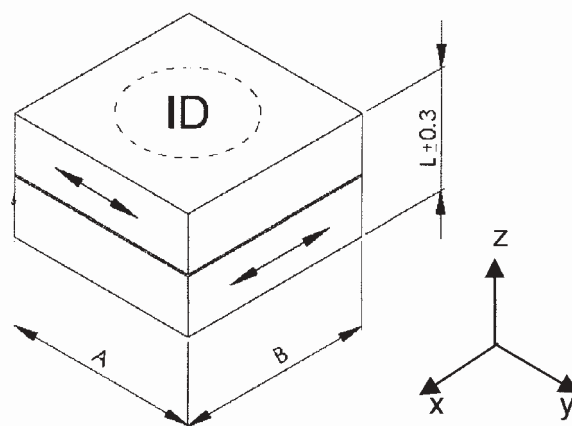
ความลึกตัด 10 ไมโครเมตร และอัตราป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบทุกการทดลอง โดยแปรผันความเร็วรอบตัดเป็น 2 และ 4 และ 10 รอบต่อนาที ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวเหล่านี้เป็นเงื่อนไขเดียวกันกับที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลอง และมีการทำซ้ำ 2 ครั้ง ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองเฉพาะแรงกระทำสูงสุดที่กระทำต่อด้ามเครื่องมือตัดที่วัดได้

ตารางที่ 1 แรงกระทำสูงสุดต่างๆ ที่กระทำต่อด้ามเครื่องมือตัด ณ เงื่อนไขต่างๆ

	แรงป้อนตัด (นิวตัน)	แรงรูน (นิวตัน)	แรงตัดหลัก (นิวตัน)
ความเร็วรอบตัด 2 รอบต่อนาที	1.32	1.82	3.51
	1.17	1.12	2.68
ความเร็วรอบตัด 4 รอบต่อนาที	1.82	2.75	5.12
	1.21	2.71	4.66
ความเร็วรอบตัด 10 รอบต่อนาที	1.74	8.3	6.48
	1.34	9.53	8.02

จากตารางที่ 1 พบว่าในงานวิจัยนี้ จะต้องออกแบบการสั่นให้รับขนาดของแรงกระทำจากการตัดในทุกๆ แกนได้ไม่ต่ำกว่า 9.53 นิวตัน โดยคิดค่าตัวคูณความปลอดภัย (Safety Factor) ประมาณ 10 เท่าของแรงกระทำสูงสุดซึ่งมีค่า 9.53 นิวตัน ซึ่งเพียงพอกับมาตรฐานความปลอดภัยทางอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ค่าตัวคูณความปลอดภัยเพียง 1.5-3.0 เท่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อุปกรณ์

ประเภทตัวขับเคลื่อนเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric actuator) เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของตัวขับเคลื่อนเพียโซอิเล็กทริกคือมีขนาดเล็กมากแต่สามารถรับแรงกระทำได้สูง และสามารถใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการสั่นที่สามารถควบคุมได้ง่าย ตัวขับเคลื่อนเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้สำหรับด้ามเครื่องมือตัดแบบสั่นที่ออกแบบนั้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเพียโซอิเล็กทริกที่เลือก

อุปกรณ์ตัวขับเพียโซอิเล็กทริกที่เลือก มีขนาด 16 มิลลิเมตร 16 มิลลิเมตร และ 23 มิลลิเมตร ตามมิติ กว้าง ยาว และสูง ตามลำดับ มีความถี่สั่นพ้อง (Resonant frequency) 30 กิโลเฮิร์ตซ์ และเมื่อใช้งานผ่านชุดควบคุมและส่วนขยายสัญญาณที่เลือกไว้ตัวขับเพียโซอิเล็กทริกนี้สามารถสั่นได้โดยมีช่วงกว้างของระยะทางการเคลื่อนที่มากที่สุดที่ความถี่ 400 เฮิร์ตซ์สามารถรองรับภาระเฉือน (Shear load) ได้ 100 นิวตัน

ข้อดีอีกประการของตัวขับเพียโซอิเล็กทริกที่ได้ถูกเลือกนี้คือมีการเคลื่อนไหวหลายทิศทางในตัวเดียว (Multi-axis motion) และมีขนาดเล็ก มีระยะทางการเคลื่อนที่วัดจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุด 5 ไมโครเมตรในทุกแกนการเคลื่อนที่ โดยมีลักษณะการเคลื่อนที่ขยายออกและหดตัวเข้าตามทิศทางดังรูปที่ 5 ตัวขับเพียโซอิเล็กทริกที่จะถูกนำไปติดตั้งระหว่างด้าม

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตัดระหว่างด้ามเครื่องมือตัดที่ออกแบบและสร้างขึ้นกับด้ามเครื่องมือตัดปกติ

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ความเร็วรอบตัด	2	70.785	70.785	35.392	17.74	0.003
ชนิดของด้ามเครื่องมือตัด	1	6.750	6.750	6.750	3.38	0.115
ความเร็วรอบตัด*ชนิดของด้ามเครื่องมือตัด	2	20.345	20.345	10.173	5.10	0.051
Error	6	11.970	11.970	1.995		
Total	11	109.850				

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปัจจัย “ชนิดของด้ามเครื่องมือตัด” และ “ความเร็วรอบตัด*ชนิดของด้ามเครื่องมือตัด” ไม่มีอิทธิพลต่อความหยابผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ (P-value > 0.05) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าด้ามเครื่องมือตัดที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการตัดเท่ากันกับด้ามเครื่องมือตัดปกติซึ่งมีมิติของด้ามเครื่องมือตัดเหมือนกันในช่วงของเงื่อนไขที่ได้ทำการทดลอง

การทดสอบความสามารถในการสั่นของด้ามเครื่องมือตัด

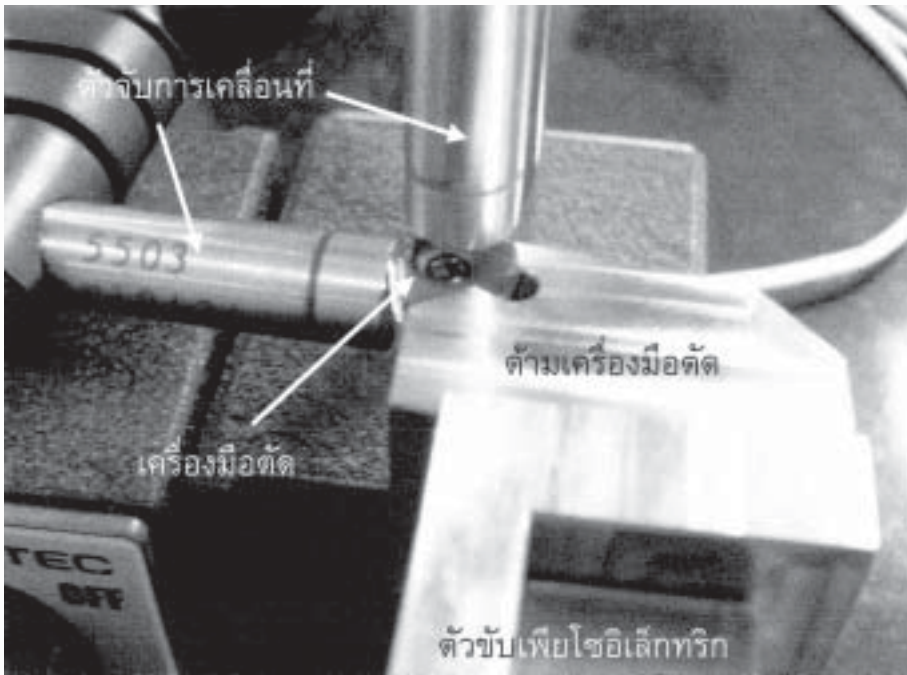
เมื่อได้ออกแบบและผลิตด้ามเครื่องมือตัดต้นแบบแล้ว ก่อนที่จะนำไปติดตั้งและใช้ในการทดลอง

เครื่องมือตัดส่วนท้ายและส่วนหัว แสดงดังรูปที่ 3

ส่วนหัวของด้ามเครื่องมือตัดทำหน้าที่ถ่ายทอดการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดจากตัวขับเพียโซอิเล็กทริกไปยังเครื่องมือตัดที่ติดตั้งอยู่ที่จุดปลายของส่วนหัวเพื่อใช้ในการตัดชิ้นงาน

อย่างไรก็ตาม ด้ามเครื่องมือตัดที่ออกแบบและสร้างขึ้นแล้วนั้น จะถูกนำไปทดลองกลึงปาดหน้าผิวชิ้นงานเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตัดกับด้ามเครื่องมือตัดปกติซึ่งมีมิติของด้ามเครื่องมือตัดเหมือนกัน โดยใช้เงื่อนไขการตัดของด้ามเครื่องมือตัดทั้งสองชนิดเหมือนกัน คือ อัตราป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัดที่ 10 ไมโครเมตร ความเร็วรอบตัดแปรผันระหว่าง 2 และ 4 และ 10 รอบต่อนาที ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน

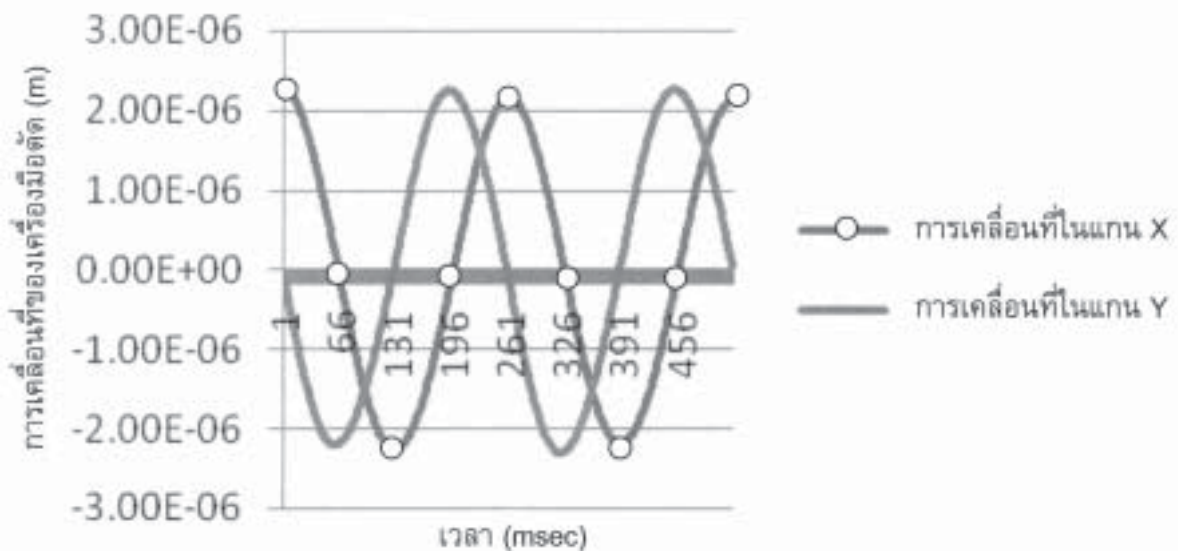
ต้องมีการทดสอบความสามารถในการสั่นของด้ามเครื่องมือตัด การทดสอบจะใช้อุปกรณ์จับการเคลื่อนที่ (Displacement sensor) ซึ่งสามารถตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุได้จากค่าแรงดันขาออกของอุปกรณ์ โดยมีค่าคงที่ในการแปลงคือ 50 ไมโครเมตรต่อโวลต์ และมีความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือเพียง +/- 439.93 นาโนเมตร จำนวน 2 ตัว ทำการวางตัวจับการเคลื่อนที่ให้ปลายของอุปกรณ์วางขนานตามแนวแกนที่ต้องการจับการเคลื่อนไหว มาใช้เพื่อตรวจจับการเคลื่อนที่ของส่วนหัวของด้ามเครื่องมือตัดต้นแบบซึ่งติดตั้งเครื่องมือตัดไว้ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อจับการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด

การเคลื่อนที่ของเครื่องมือจับที่วัดได้จากตัวจับการเคลื่อนที่ แสดงให้เห็นตามรูปที่ 7 โดยที่เส้นแสดงข้อมูล X แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในแนวเดียวกันกับทิศทางการตัด ซึ่งแทนด้วยสมการการเคลื่อนที่ $x = a \cos(\omega t)$ และเส้นแสดงข้อมูล Y แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของ

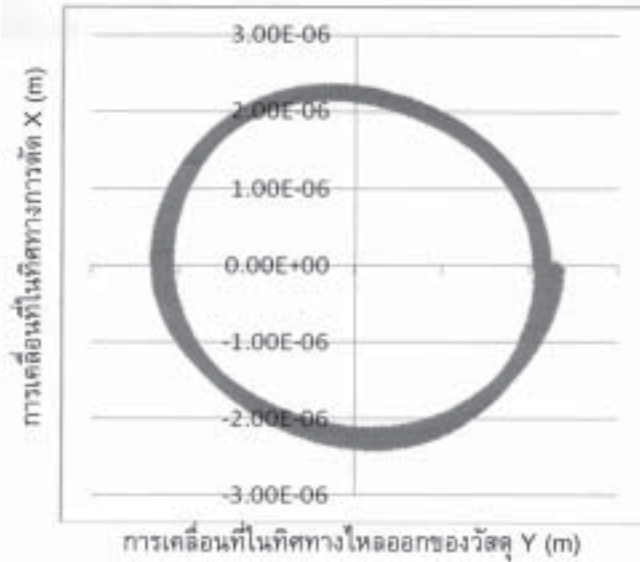
เครื่องมือตัดในแนวเดียวกันกับทิศทางการไหลออกของเศษวัสดุ ซึ่งแทนด้วยสมการการเคลื่อนที่ $y = b \cos(\omega t + t)$ แกนแนวตั้งของกราฟมีหน่วยเป็นเมตร และแกนแนวนอนของกราฟเป็นแกนเวลา มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที



รูปที่ 7 การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดที่วัดได้จากตัวจับการเคลื่อนที่

เมื่อนำข้อมูลระยะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดทั้งสองแกนที่บันทึกไว้มาวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ โดยให้แกนนอนแสดงถึงระยะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในระนาบเดียวกับทิศทางการไหลออกของเศษ วัสดุ และแกนตั้งแสดงถึงระยะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในระนาบเดียวกับ

ทิศทางการตัด เห็นได้ว่าเครื่องมือตัดเคลื่อนที่เป็นรูปวงรีดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 รัศมีทางด้านกว้างของวงรีมีค่า 2.5 ไมโครเมตร ซึ่งค่ารัศมีทางด้านกว้างของวงรีนี้แทนด้วยตัวแปร a โดยอ้างอิงจากสมการเงื่อนไขการตัดแบบสั้น

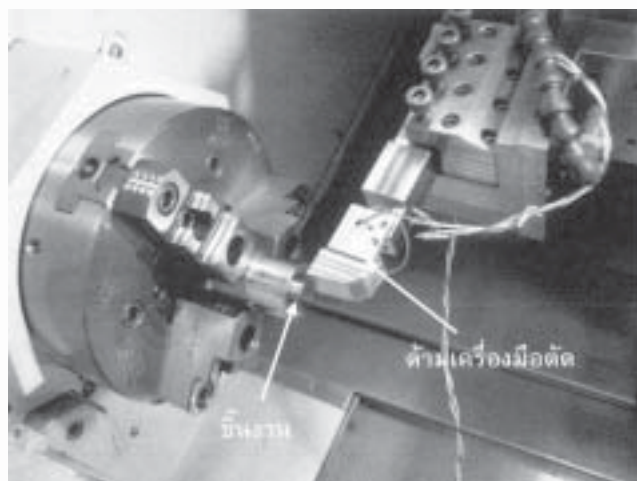


รูปที่ 8 กราฟการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดทั้ง 2 แกนในเวลาเดียวกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือเพื่อออกแบบด้ามเครื่องมือตัดแบบสั้น รวมทั้งศึกษาเงื่อนไขการตัดที่สามารถพัฒนากระบวนการตัดบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีทั่วไปให้ดีขึ้น ดังนั้นจะใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อพิสูจน์ว่าการสั้นเครื่องมือตัดสามารถทำให้ผิวของชิ้นงานเรียบขึ้นหรือไม่เพียงใด โดยที่ผลตอบของการทดลองคือ

ความหยาบของผิวชิ้นงาน ดังนั้นในการทดลองจะทำการแปรผันเฉพาะปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับวิธีการตัดแบบสั้นสองทิศทางที่ส่งผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงานเท่านั้นตามเงื่อนไขของสมการการตัดแบบสั้น [3] คือปัจจัยความถี่ที่ใช้ในการสั้นเครื่องมือตัดและความเร็วรอบตัด ส่วนปัจจัยอื่นจะกำหนดให้คงที่ทุกการทดลอง



รูปที่ 9 การติดตั้งด้ามเครื่องมือตัดบนเครื่องซีเอ็นซี

สำหรับการกำหนดระดับของปัจจัย (Level) จะกำหนดเป็นแบบคงที่ (Fixed effect model) โดยมีระดับของปัจจัยดังนี้ ความถี่ในการสั่นเครื่องมีดตัด 0 และ 400 เฮิรตซ์ ความเร็วรอบคงที่ 2 และ 4 และ 10 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.01 มิลลิเมตร ผลตอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ค่าความหยาบของผิวชิ้นงานเฉลี่ย (Average surface roughness: Ra) ทุกเงื่อนไขการ

ทดลองมีการทำซ้ำเป็นจำนวน 2 การทดลอง และลำดับก่อนหลังในการทดลองนั้นจะทำการทดลองตามลำดับแผนการสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomize Design)

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร เครื่องมือตัดที่ใช้ในการทดลองเป็นเม็ดมีดตัด CBN โดยการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองแสดงไว้ดังรูปที่ 9

ผลการวิจัย

ข้อมูลความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ที่ได้จากการทดลอง ที่ได้จากการวัดและบันทึกค่าไว้ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผิวสำเร็จของชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความถี่ (Hz)	ทำซ้ำรอบที่	ความหยาบผิวเฉลี่ย (nm Ra)
2	0	1	71.8
2	400	1	43.5
4	0	1	62.8
4	400	1	46.8
10	0	1	61.6
10	400	1	65.8
2	0	2	57.4
2	400	2	48.2
4	0	2	65.6
4	400	2	46.7
10	0	2	61.2
10	400	2	62.1

วิเคราะห์ผลการทดลอง

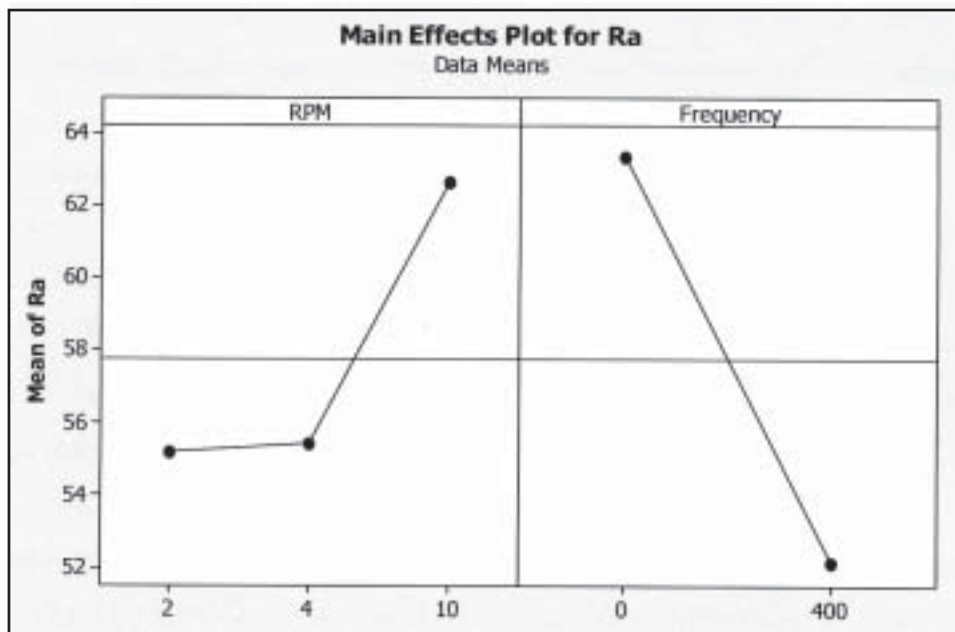
เมื่อนำผลตอบความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) มาวิเคราะห์โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ประมวลผลผ่านโปรแกรมประยุกต์ Minitab™ ได้ผลลัพธ์ดังที่แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย ความเร็วรอบและความถี่ในการสั่น ต่อความหยาบผิวเฉลี่ย

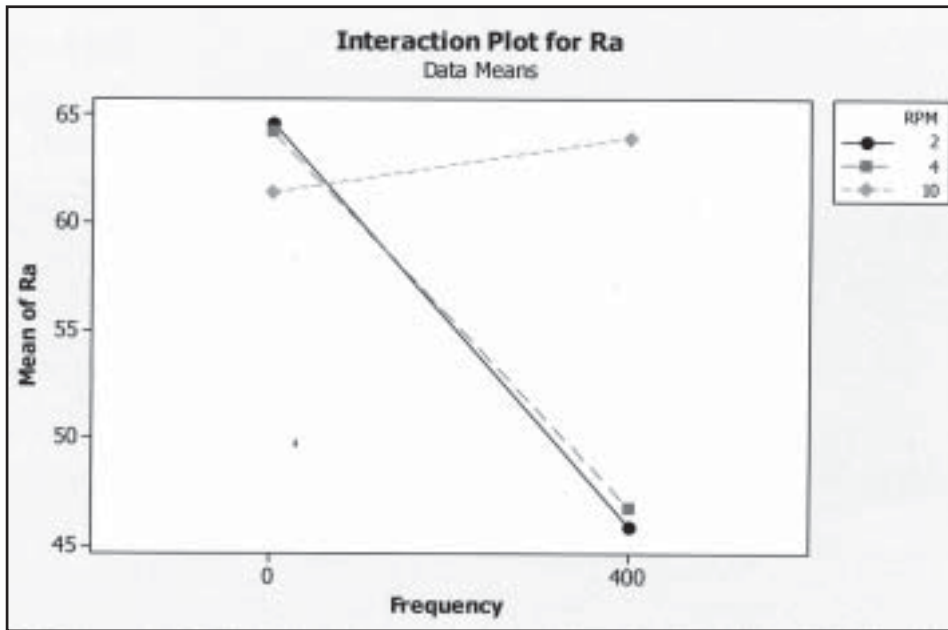
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ความเร็วรอบ (RPM)	2	143.21	143.21	71.60	3.42	0.102
ความถี่ที่ใช้ในการสั่น (Frequency)	1	377.44	377.44	377.44	18.03	0.005
ความเร็วรอบ*ความถี่ที่ใช้ในการสั่น	2	285.13	285.13	142.56	6.81	0.029
Error	6	125.58	125.58	20.93		
Total	11	931.35				

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยเนื่องจากความถี่ในการสั่นเครื่องมือตัดมีผลโดยตรงต่อความหยาบผิวชิ้นงานเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value < 0.05) ในขณะที่ปัจจัยเนื่องจากความเร็วรอบ ไม่มีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value > 0.05) ส่วนอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่าง

ความเร็วรอบกับความถี่ในการสั่นเครื่องมือตัด สรุปได้ว่า มีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานเฉลี่ย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value < 0.05) กราฟผลหลัก (Main effect) และอันตรกิริยา (Interaction) ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ตามลำดับ



รูปที่ 10 กราฟผลหลักระหว่างความหยาบผิวเฉลี่ยกับปัจจัยต่างๆ



รูปที่ 11 กราฟอันตรกิริยาระหว่างความหยาบผิวเฉลี่ยกับปัจจัยต่างๆ

จากกราฟผลหลัก (Main effect plot) ต่อค่าเฉลี่ย (Mean) ความหยาบผิวเฉลี่ย ซึ่งได้จากค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) 2 ครั้งการทำซ้ำ (Replicate) แต่ละเงื่อนไขการตัด และนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย พบว่าการกลึงปาดหน้า ณ ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที จะให้ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานมากที่สุด (62.675 nm) เมื่อกลึงปาดหน้าที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานจะมีค่าต่ำลงเป็น (55.475 nm) แต่เมื่อกลึงปาดหน้าที่ความเร็วรอบ 2 รอบต่อนาที (55.225 nm) จะให้ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานซึ่งต่ำลงมาจากที่ใช้ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาทีเพียงเล็กน้อยคิดเป็น 0.45% เท่านั้น แต่ใช้เวลาในการตัดมากกว่าถึง 2 เท่า ดังนั้นความเร็วรอบตัดที่เหมาะสมจึงควรจะใช้ที่ 4 รอบต่อนาที เพราะประหยัดเวลาในการตัดชิ้นงานได้มากกว่าในขณะที่ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานแทบจะไม่แตกต่างกัน

ส่วนปัจจัยความเร็วในการสั่นเครื่องมือตัด ซึ่งมีผลต่อค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน (Ra) อย่างมีนัยสำคัญนั้น จากกราฟอิทธิพลผลหลักจะ

เห็นได้ว่า การไม่สั่นเครื่องมือตัด ทำให้ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน (63.4 nm) สูงกว่าการใช้ความเร็วในการสั่นเครื่องมือตัด 400 เฮิรตซ์ (52.183 nm) อย่างมีนัยสำคัญ

จากกราฟอันตรกิริยา (Interaction) ต่อความหยาบผิวชิ้นงานเฉลี่ย (Ra) สามารถสรุปได้ว่า ที่ความเร็วรอบ 2 และ 4 รอบต่อนาที ค่าเฉลี่ย (Mean) ความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน (Ra) ที่ใช้ความเร็วในการสั่นเครื่องมือตัด 0 เฮิรตซ์ (64.6 nm และ 64.2 nm ตามลำดับ) จะมีค่าสูงกว่า ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานที่ใช้ความเร็วในการสั่นเครื่องมือตัด 400 เฮิรตซ์ (45.85 nm และ 46.75 nm ตามลำดับ)

แต่ที่ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที ค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานที่ใช้ความเร็วในการสั่นเครื่องมือตัด 0 เฮิรตซ์ (61.4 nm) กลับมีค่าต่ำกว่า ค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานที่ใช้ความเร็วในการสั่นเครื่องมือตัด 400 เฮิรตซ์ (63.95 nm) ทั้งนี้ เงื่อนไขที่จำเป็นของการตัดแบบสั่นตามแนวแกนสองแกนพร้อมกันนั้น สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อเงื่อนไขความเร็วสั่นในแนวนอนต้องมากกว่าความเร็วตัด [3] หรือตามสมการ $aw > v$ โดยที่

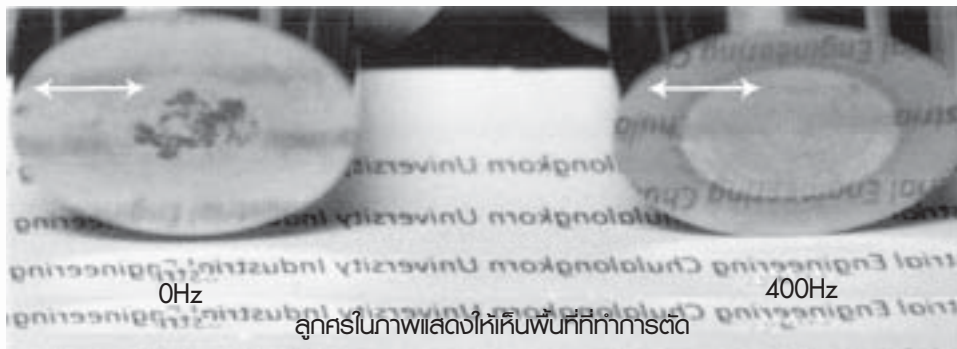
a คือรัศมีทางด้านกว้างของวงรี (เมตร) ω คือความเร็วเชิงมุมของการสั่นรูปวงรี (เรเดียนต่อวินาที) และ v คือความเร็วตัดของชิ้นงาน (เมตรต่อวินาที)

เนื่องจากความเร็วรอบตัด 2 และ 4 รอบต่อนาที เป็นค่าที่สอดคล้องกับสมการการตัดแบบสั้น วิธี การตัดแบบสั้นจึงสามารถลดความหยابผิวของชิ้น

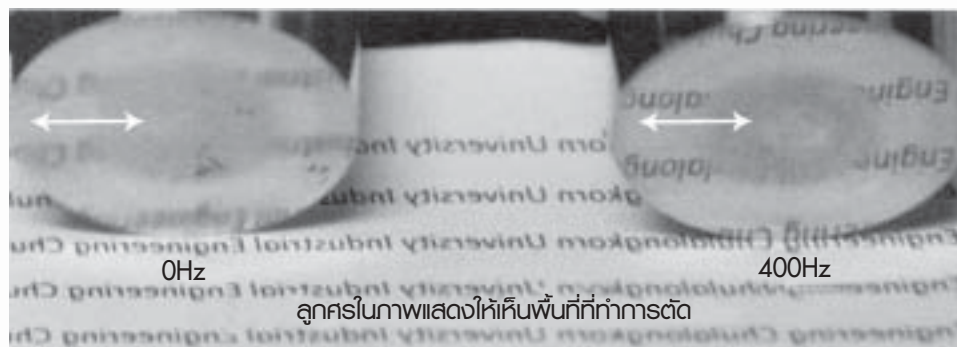
งานได้ แต่ที่ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที เป็นค่าที่ไม่สอดคล้องกับสมการการตัดแบบสั้น ตามเครื่องมือตัดแบบสั้นที่ออกแบบนี้จึงไม่สามารถลดความหยابผิวของชิ้นงานได้ ซึ่งเป็นไปตามที่ Eiji Shamoto และ Toshimichi Moriwaki ได้เคยเสนอไว้ [3]

ภาพถ่ายผิวชิ้นงานสำเร็จ

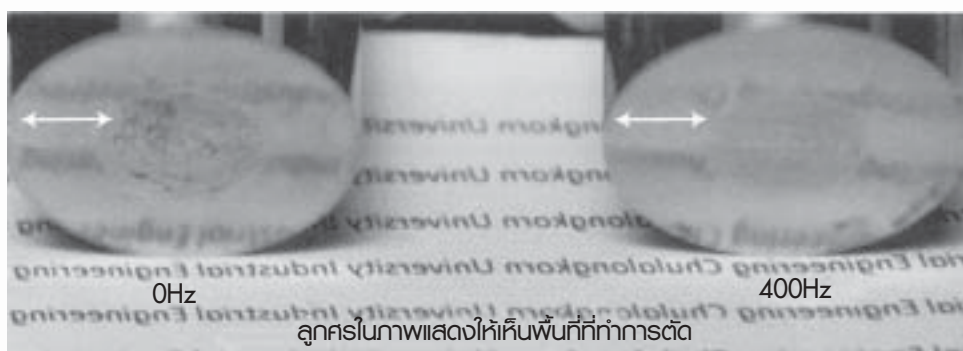
ผิวชิ้นงานที่ผ่านการกลึงตามเงื่อนไขการทดลองต่างๆ แสดงดังรูปที่ 12 รูปที่ 13 และรูปที่ 14



รูปที่ 12 ภาพถ่ายผิวชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 2 รอบต่อนาที



รูปที่ 13 ภาพถ่ายผิวชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที

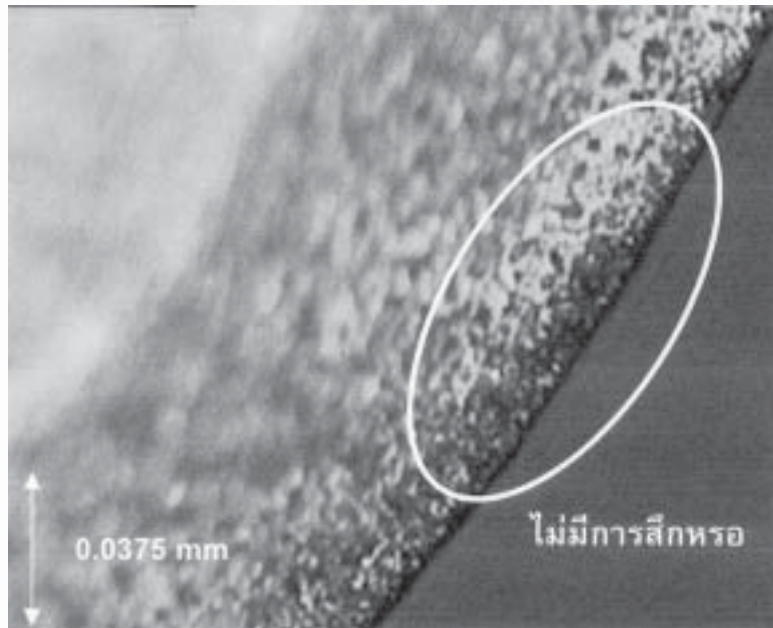


รูปที่ 14 ภาพถ่ายผิวชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที

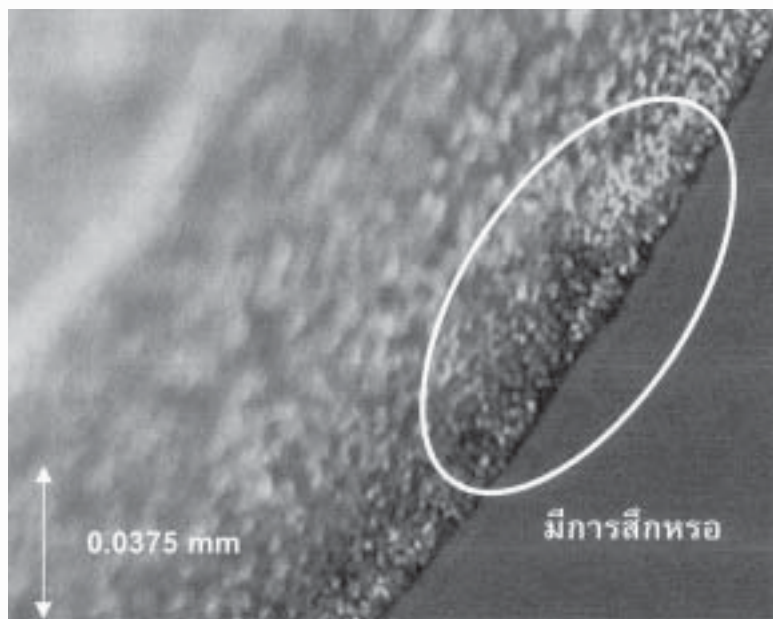
จากภาพถ่ายผิวชิ้นงานสำเร็จ พบว่าผิวชิ้นงานเมื่อผ่านการกลึงปาดหน้าด้วยการตัดแบบสั้น โดยใช้ความเร็วรอบ 2 และ 4 รอบต่อนาที จะให้ผิวชิ้นงานที่มีคุณภาพดีกว่าผิวชิ้นงานที่กลึงปาดหน้าด้วยการตัดแบบไม่สั้น เห็นได้จากการสะท้อนของตัวอักษรที่ปรากฏบนผิวชิ้นงาน ส่วนผิวชิ้นงานที่กลึงปาดหน้าโดยใช้ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที คุณภาพของผิวชิ้นงานที่กลึงปาดหน้าโดยการตัดแบบสั้น และไม่สั้นนั้นไม่มีความแตกต่างกัน

การสึกหรอของเครื่องมือตัด

จากภาพของเครื่องมือตัด เมื่อเปรียบเทียบคมตัดของเครื่องมือตัดระหว่างการตัดแบบสั้นตามรูปที่ 15 และการตัดแบบไม่มีการสั้นตามรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่าคมเครื่องมือตัดที่ไม่มีการสั้น (0 Hz) มีการสึกหรอมากกว่าคมตัดของเครื่องมือตัดที่มีการตัดแบบสั้น (400 Hz) ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า เครื่องมือตัดที่ไม่มีการสั้นจะมีแนวโน้มการสึกหรอเร็วกว่าการตัดแบบสั้น และการประยุกต์ใช้วิธีการตัดแบบสั้นสามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดได้



รูปที่ 15 ภาพขยายของคมเครื่องมือตัดหลังการกลึงปาดหน้าชิ้นงาน 6 ชิ้น โดยการตัดแบบสั้น



รูปที่ 16 ภาพขยายของคมเครื่องมือตัดหลังการกลึงปาดหน้าชิ้นงาน 6 ชิ้น โดยการตัดแบบไม่สั้น

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ด้ามเครื่องมือตัดที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถประยุกต์วิธีการตัดแบบสั้นสองทิศทางเพื่อใช้ปรับปรุงกระบวนการตัดบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีทั่วไปสามารถทำให้ค่าเฉลี่ยซึ่งคำนวณระหว่างความเร็วรอบ 2 และ 4 รอบต่อนาที และการทำซ้ำครั้งที่ 1 และ 2 ของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) จาก 64.4 นาโนเมตร ซึ่งได้จากการตัดแบบไม่สั้น ลดลงเป็น 46.30 นาโนเมตร ซึ่งได้จากการด้ามเครื่องมือตัดแบบสั้นที่ออกแบบหรือลดลงคิดเป็น 28.1 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับวิธีการตัดแบบไม่สั้น โดยที่เงื่อนไขการตัดที่ดีที่สุดของการวิจัยนี้คือใช้ความเร็วในการตัด 400 เฮิร์ตซ์และความเร็วรอบตัด 4 รอบต่อนาที นอกจากนี้ คมเครื่องมือตัดจากวิธีการตัดแบบไม่สั้น ยังมีแนวโน้มการสึกหรอเร็วกว่าวิธีการตัดแบบสั้น แสดงให้เห็นว่าด้ามเครื่องมือตัดที่ออกแบบและสร้างขึ้น เมื่อนำมาใช้กับปลาดหัววัสดุที่มีความแข็งไม่เกิน 200 HB นั้นจะสามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดได้

อภิปรายผลการวิจัย

- 1) ความถี่ที่ใช้ในการสั้นเครื่องมือตัดและความเร็วรอบ ต้องมีความสัมพันธ์กันตามเงื่อนไข $a\omega > v$ จึงจะทำให้การตัดแบบสั้นส่งผลดีต่อผิวชิ้นงานสำเร็จ ถ้าหากความถี่ที่ใช้สั้นเครื่องมือตัดไม่มีความสัมพันธ์กันตามเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น การตัดแบบสั้นจะไม่ทำให้ผิวชิ้นงานสำเร็จดีขึ้นได้ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับทฤษฎีที่ Eiji Shamoto และ Toshimichi Moriwaki ได้เคยทำการวิจัยไว้ [3]
- 2) วิธีการตัดแบบสั้นส่งผลให้ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ซึ่งเป็นความหยาบผิวโดยรวมของชิ้นงานมีค่าลดน้อยลงได้
- 3) วิธีการตัดแบบสั้นช่วยให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดยาวนานขึ้น สามารถสังเกตได้จากภาพขยายเครื่องมือตัด ทั้งนี้เนื่องมาจากในแต่ละรอบของการสั้นเครื่องมือตัดมีจังหวะการตัด

ชิ้นงาน และ จังหวะที่เครื่องมือตัดไม่ได้ทำการตัดชิ้นงาน จังหวะที่เครื่องมือตัดไม่ได้ทำการตัดชิ้นงานนั้นทำให้เกิดการระบายความร้อนซึ่งเกิดขึ้นบนคมมีดตัด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ปรากฏการณ์การหล่อลื่นเสมือน (Virtual lubrication effect)” กับที่ Eiji Shamoto และ Toshimichi Moriwaki ได้เคยทำการวิจัยไว้ [5]

- 4) การวิเคราะห์ความแปรปรวนนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการพิสูจน์ว่าปัจจัยต่างๆ มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวหรือไม่และผลสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้น สามารถใช้ได้เฉพาะช่วงของปัจจัยที่ได้ทำการทดลองเท่านั้น ซึ่งการที่จะสรุปว่าปัจจัยระดับอื่นๆ ที่นอกเหนือจากการทดลองในงานวิจัยนี้มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานได้ จะต้องทำการทดลองเพื่อหาข้อสรุปที่ระดับปัจจัยที่ต้องการพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป

ข้อเสนอแนะ

- 1) เนื่องจากป้อมเครื่องมือตัดของเครื่องกลึงซีเอ็นซีทั่วไปมีความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ตามแนวป้อนเครื่องมือตัด อันเกิดมาจากการใช้งานในการกลึงอย่างหนักดังนั้นจึงควรมีการออกแบบและติดตั้งระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) เพื่อทำการชดเชยความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในแนวป้อนเครื่องมือตัดที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการตัดชิ้นงาน ซึ่งอาจทำให้ผิวของชิ้นงานที่ได้มีความสม่ำเสมอและเรียบยิ่งขึ้นเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการตัดให้ดียิ่งขึ้นไปอีกได้
- 2) งานวิจัยในอนาคตควรออกแบบด้ามเครื่องมือตัดให้ใช้ความถี่ในการสั้นมากกว่าที่ใช้ในการวิจัยนี้ เพราะจะสามารถเพิ่มความเร็วรอบตัดให้มากขึ้นได้ตามเงื่อนไข $a\omega > v$ ทำให้ลดเวลาการตัดชิ้นงานแต่ละชิ้นไปได้อย่างมาก ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลงตามไปด้วย

- 3) ด้ามเครื่องมือตัดแบบสันสองทิศทางที่ออกแบบ
ในงานวิจัยนี้ใช้สำหรับงานกลึงปาดหน้าชิ้นงาน
ที่ไม่มีความซับซ้อน ดังนั้นในการวิจัยต่อไปจึง
ควรออกแบบให้ด้ามเครื่องมือตัดสามารถสันได้
3 ทิศทางตามแนวแกน X, Y และ Z เพื่อรองรับ
กับชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูงได้ต่อไปในอนาคต
กิตติกรรมประกาศ
งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Moriwaki T., Shamoto E., 1991, Ultra precision Diamond Turning of Stainless Steel by Applying Ultrasonic Vibration, *Annals of the CIRP*, 40, 1: 559-562.
- [2] Moriwaki T., Shamoto E., Inoue K., 1992, Ultra precision Ductile Cutting of Glass by Applying Ultrasonic Vibration, *Annals of the CIRP*, 41, 141-144.
- [3] Shamoto E., Moriwaki T., 1994, Study on Elliptical Vibration Cutting, *Annals of the CIRP*, 43, 35-38.
- [4] Shamoto E., Chun-xiang M., Moriwaki T., 1999, Ultra precision Ductile Cutting of glass by applying Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting, *In 1st Topical Conference on the Fabrication & Metrology in Nanotechnology EUSPEN*, 1, 408-411.
- [5] Shamoto E., Moriwaki T., Matsuo M., 1997, Ultra precision Diamond Cutting of Die Steel by Applying Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting, *International Conference and Exhibition on Design and Production of Dies and Molds*, 105-110.
- [6] Suzuki N., Nakamura A., Shamoto E., Harada K., Matsuo M., Osada M., 2003, Ultraprecision micromachining of hardened steel by applying ultrasonic elliptical vibration cutting, *Micromechatronics and Human Science Proceedings of International Symposium*, 221 - 226.
- [7] Suzuki N., Masuda S., Haritani M., Shamoto E., 2004, Ultraprecision micromachining of brittle materials by applying ultrasonic elliptical vibration cutting, *Micro-Nanomechatronics and Human Science, 2004 and The Fourth Symposium Micro-Nanomechatronics for Information-Based Society*, 133 - 138.
- [8] Suzuki N., Yan Z., Hino R., Shamoto E., Hirahara Y., Imasuda T., 2006, Ultraprecision Micro-Machining of Single Crystal Germanium by Applying Elliptical Vibration Cutting, *Micro-NanoMechatronics and Human Science International Symposium*, 1 - 6.
- [9] Suzuki N., Haritani M., Yang J., Hino R., Shamoto E., 2007, Elliptical Vibration Cutting of Tungsten Alloy Molds for Optical Glass Parts, *Annals of the CIRP*, p. 127.
- [10] Moriwaki T., Shibasaka T., Tangjitsitcharoen S., 2004, Development of in-Process Tool Wear Monitoring System for CNC Turing, *JSME International Journal*, 47, 933-938.

- [11] Armarego E. J. A., Karri V., Smith A. J. R., 1993, Computer-Aided Predictive Models for Fundamental Rotary Tool Cutting Processes, *Annals of the CIRP*, 42, 1: 49-54.
- [12] Harada K., Sasahara H., 2004, Cutting Mechanism on Ultrasonic Vibration Cutting (3rd Report) - Effect of Cutting Atmosphere on Lubrication-, *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, 71, 8:1005-1009.
- [13] Nath C., Rahman M., 2008, Evaluation of Ultrasonic Vibration Cutting while Machining Inconel 718, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 9, 2: 63-68.