

การพัฒนาอุปกรณ์ของหุ่นยนต์ในการกัดผิวชิ้นงานแบบอัลตราโซนิกสำหรับกระบวนการแต่ง
พื้นผิวแบบละเอียด

*A Development of Robot Ultrasonic Burnishing Tool for Free-form Finishing
Surface*

กัณฐ์ณัฐ ทิยาพงศ์¹, ชนะ รัชศิริ², ชัยยกร จันทรสุวรรณ³

¹ นิสิต สาขาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตบางเขน แขวงจตุจักร กทม.10900

² อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตบางเขน แขวงจตุจักร กทม.10900

³ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตบางเขน แขวงจตุจักร กทม.10900

*ติดต่อ: fengcnr@ku.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 02-797-0999 ต่อ 1603

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ของหุ่นยนต์ในการกัดผิวชิ้นงานแบบอัลตราโซนิกสำหรับกระบวนการแต่งพื้นผิวแบบละเอียด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำคลื่นอัลตราโซนิกที่เป็นคลื่นความถี่สูงไปใช้ในกระบวนการกัดผิวชิ้นงานแบบละเอียดแบบใช้ลูกกลิ้งโลหะ (Burnishing Surface) โดยออกแบบเครื่องมือหัวกัดผิวชิ้นงานแบบลูกกลิ้งสแตนเลสผสมกับชุดอุปกรณ์ปล่อยคลื่นอัลตราโซนิก ย่านความถี่ 40 kHz และทำการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบนำไปติดตั้งกับแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่อิสระ 6 แกน จากนั้นนำไปทดลองกัดผิวชิ้นงานอลูมิเนียมทดสอบภายใต้หลักการออกแบบการทดลอง ซึ่งค่าเป้าหมายที่สนใจคือ ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (R_a) ของชิ้นงานอลูมิเนียม โดยได้แบ่งระดับปัจจัยที่มีผลต่อเป้าหมาย คือ การจ่ายคลื่นอัลตราโซนิก, ระยะที่ใช้ในการกัดผิว และความเร็วในการกัดผิวชิ้นงานทดสอบ โดยออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 (2^k Factorial Design) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งผลของการทดลองนี้ พบว่าการใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าเป้าหมาย คือ ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (R_a) ทำให้ได้กระบวนการกัดผิวชิ้นงานแบบละเอียดด้วยลูกกลิ้งโลหะที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการไม่ใช้คลื่นอัลตราโซนิก

คำหลัก: อัลตราโซนิก, การกัดผิวด้วยลูกกลิ้งโลหะ, หุ่นยนต์, การแต่งผิวละเอียด, ความหยาบผิว

Abstract

This research presents the design and development of robot ultrasonic burnishing tool for free-form surface finishing. The objective is to study using ultrasonic wave in burnishing process. Designed by burnishing stainless steel ball combines with the ultrasonic system at frequency 40 kHz, that is a hybrid process. After that made prototype and installing to the six-axis robot arm. Under the principle of design of the experimental process (DOE), the interested target is an average of surface roughness (R_a) of aluminum workpiece. There have 3 factors that effect on target including ultrasonic wave, depth of cut and feed rate. The research using

factorial design at 95% of confident level, replicate = 3, result found that using ultrasonic wave is a main factor effect the target and make the burnishing process better when compare with non-ultrasonic wave.

Keywords: Ultrasonic, Burnishing, Robot, Finishing, Roughness

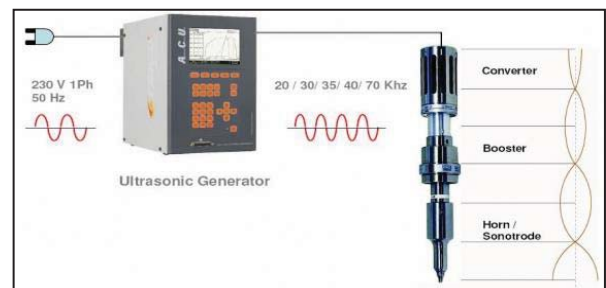
1. บทนำ

อัลตราโซนิก (Ultrasonic) หมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วมนุษย์จะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงเฉลี่ยเพียงแค่ 15 kHz ดังนั้นคำว่าอัลตราโซนิกจึงมักหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป โดยคลื่นย่านอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้เราสามารถเล็งคลื่นไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างเจาะจง ซึ่งปัจจุบันมีการนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น นำไปใช้ในเครื่องเชื่อมพลาสติก (Ultrasonic Welding) และเครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic Cleaner) เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้เริ่มจากศึกษาของงานวิจัยของ A. Barani 2014 [1] ซึ่งทำการพัฒนาเครื่องเจาะชิ้นงานแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Drilling) ซึ่งผลที่ได้คือ ผิวของรูเจาะมีความหยาบที่ต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับการเจาะแบบทั่วไป จึงเป็นแนวคิดที่จะนำระบบอัลตราโซนิกไปใช้ในการกัดผิวชิ้นงานสำหรับกระบวนการแต่งพื้นผิวแบบละเอียด โดยใช้ลูกกลิ้งโลหะสแตนเลสติดกับอุปกรณ์จ่ายคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Burnishing) โดยทำการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบและนำไปติดกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่อิสระ 6 แกน จากนั้นนำไปทดสอบกัดผิวชิ้นงานอลูมิเนียม ซึ่งสมมติฐานคาดว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการบวนการแต่งผิวแบบละเอียดด้วยลูกกลิ้งโลหะ (Burnishing Surface) ได้ดีขึ้น และทำการออกแบบการทดลองเพื่อสรุปหาความเป็นไปได้ของการนำกระบวนการนี้ไปใช้จริง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบอัลตราโซนิก

ระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Systems) ประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟ (Generator), ตัวแปลงสัญญาณ (Converter), บูสเตอร์ (Booster) และหัวส่งแรงสั่น (Horns) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic system)

2.1.1 แหล่งจ่ายไฟอัลตราโซนิก (Generator) ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีความถี่ 50–60 Hz จากความต่างศักย์ที่ใช้งาน ไปเป็นความถี่ย่านอัลตราโซนิก โดยทั่วไปใช้ที่ 20-40 kHz

2.1.2 ตัวแปลงสัญญาณ (Converter) ถือเป็นอุปกรณ์หลักของระบบอัลตราโซนิก เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ให้กลายเป็นพลังงานกลในรูปของการสั่น

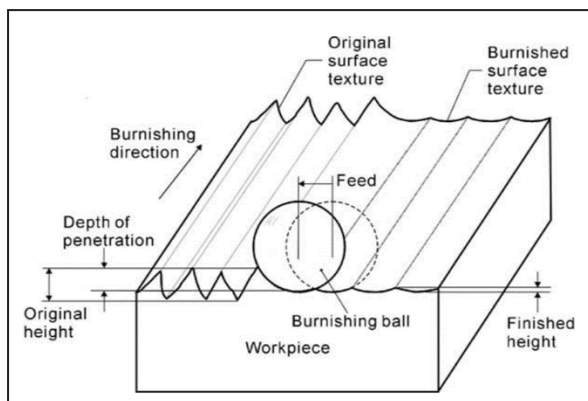
2.1.3 บูสเตอร์เป็นอุปกรณ์ทางกลที่ติดตั้งอยู่ระหว่างตัวแปลงสัญญาณ (Converter) และหัวส่งแรงสั่น (Horns) บูสเตอร์มีหน้าที่ในการแปลงแอมพลิจูดในการสั่นแบบอัลตราโซนิกที่ได้รับจากตัวแปลงสัญญาณ และส่งผ่านไปยังหัวส่งแรงสั่น

2.1.4 หัวส่งแรงสั่น (Horns) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งผ่านคลื่นการสั่นแบบอัลตราโซนิกจากบูสเตอร์ไปสู่ชิ้นงาน การส่งผ่านแรงสั่นของ Horns เกิดจากการสั่นสะท้อนระดับโมเลกุลตามแนวยาวไปกับทิศทางของ

Horns ซึ่งต้องทำการออกแบบ Horns ให้มีการสั่นพ้อง (Resonance) โดยต้องให้ Horns มีความถี่ธรรมชาติ เท่ากับแหล่งกำเนิด

2.2 การกดผิวงาน (Burnishing)

เป็นกระบวนการหนึ่งของการกัดผิวชิ้นงานแบบละเอียด (Finishing Process) โดยใช้ลูกกลิ้งโลหะกดลงบนผิว ส่งผลให้ผิวชิ้นงานมีการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก โดยทำการกดส่วนแหลมของผิวให้ไปเติมเต็มส่วนที่เป็นหลุม ดังรูปที่ 2 ประโยชน์ของกระบวนการนี้ ช่วยปรับปรุงผิวงานให้มีความแข็งเพิ่มขึ้น (Hardness), เพิ่มความต้านทานการสึกหรอ (Wear Resistance) และปรับปรุงค่าความหยาบผิว (Surface Roughness) จัดเป็นกระบวนการที่สะอาดกว่ากระบวนการกัดผิวชิ้นงานแบบละเอียดแบบอื่น เพราะไม่มีเศษชิ้นงานจากการตัดเฉือน [2]



รูปที่ 2 การกดผิวงาน (Burnishing)

2.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง Montgomery (2005) [3] ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุดจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่าการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองใน

เชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่และถ้อยปัญหาที่สนใจนั้น เกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการ สำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลอง คือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา (2551) [5] ระบุว่า การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย

ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เพลทเคต (Replicate) จะประกอบด้วย การทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล จะกล่าวได้ว่า ปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลมีรูปแบบทั่วไป คือ $A*B*C \dots$ แฟคทอเรียล รูปแบบ ของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่สำคัญ ได้แก่

1) 2^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่กำหนดระดับของปัจจัยแค่ 2 ระดับเท่านั้น ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2) 3^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่กำหนดระดับของปัจจัยแค่ 3 ระดับเท่านั้น ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

3. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์
- 2) โปรแกรม Solid works 2013
- 3) โปรแกรม Minitap Ver. 16
- 4) อุปกรณ์ลูกกลิ้งโลหะกัดผิวชิ้นงานแบบอัลตราโซนิกต้นแบบ ย่านความถี่ 40 kHz
- 5) แหล่งจ่ายไฟอัลตราโซนิก (Generator) 40 kHz HORN SONIC
- 6) แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่อิสระ 6 แกน KUKA KR150
- 7) เครื่องวัดค่าความหยาบผิว INSPEX IPX-103

3.2 วิธีการวิจัย

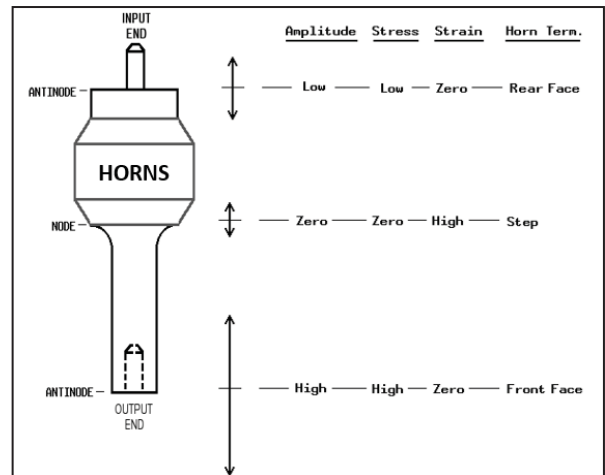
1) ทำการออกแบบหัวส่งแรงสั่น (Horns) โดยใช้หัวลูกกลิ้งสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.32 mm จากบริษัท Misumi ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลูกกลิ้งสแตนเลส บริษัท Misumi

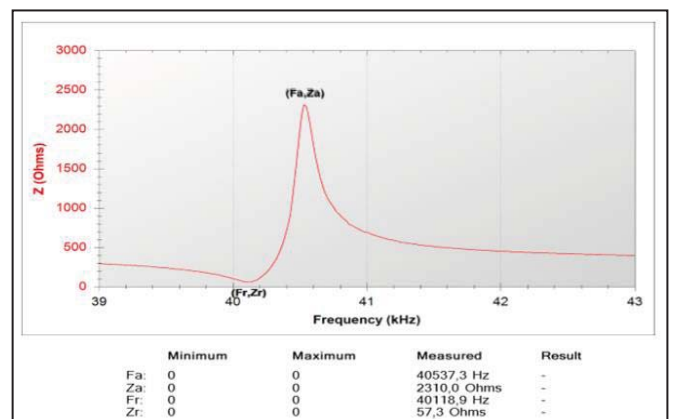
เพื่อไปทำการต่อกับส่วนของหัวส่งแรงสั่น โดยในการทดสอบใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการของบริษัทฮอรันิค (ประเทศไทย) จำกัด โดยงานวิจัยนี้ใช้กับระบบอัลตราโซนิกย่านความถี่ 40 kHz ซึ่งในกระบวนการผลิตหัวส่งแรงสั่นให้สั่นได้ความถี่สอดคล้องกับแหล่งกำเนิดนั้น ต้องทำการกลึงปรับระยะให้หัวส่งแรง

สั่นนี้ได้ระยะที่สามารถสั่นพ้อง [4] ที่ความถี่ของแหล่งกำเนิด 40 kHz ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ปรับระยะปลาย Horns ให้เกิดการสั่นพ้อง

ซึ่งกระบวนการหาระยะในการสั่นพ้องนี้ เป็นกระบวนการที่ใช้ความละเอียดสูงมาก ต้องใช้โปรแกรม TRZ ซึ่งเป็นโปรแกรมเฉพาะของบริษัทฮอรันิค โดยหลักการทำงานของโปรแกรมจะทำการส่งสัญญาณความถี่ที่กำหนดเข้าไปในระบบ ซึ่งจะประมวลผลออกมาเป็นกราฟว่า ขณะนั้นสามารถสั่นพ้องได้หรือไม่ และต้องปรับระยะอีกเท่าใด ดังรูปที่ 5



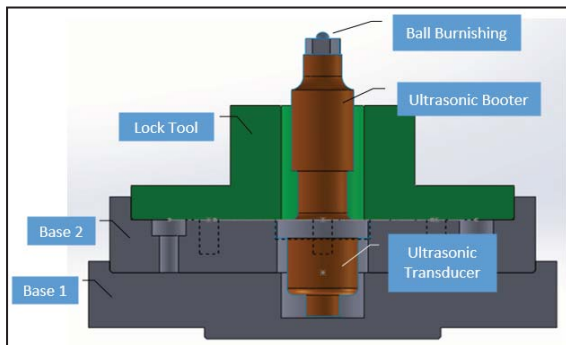
รูปที่ 5 TRZ แสดงการสั่นพ้องที่ 40 kHz

หลังการปรับระยะเหมาะสม พบว่าลูกกลิ้งสแตนเลสสามารถสั่นที่ความถี่ 40 kHz จากนั้นได้ทำการผลิตอุปกรณ์ต้นแบบขึ้นมา โดยเรียกอุปกรณ์นี้ว่า อุปกรณ์กัดผิวชิ้นงานด้วยลูกกลิ้งแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Burnishing) แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 Ultrasonic Burnishing

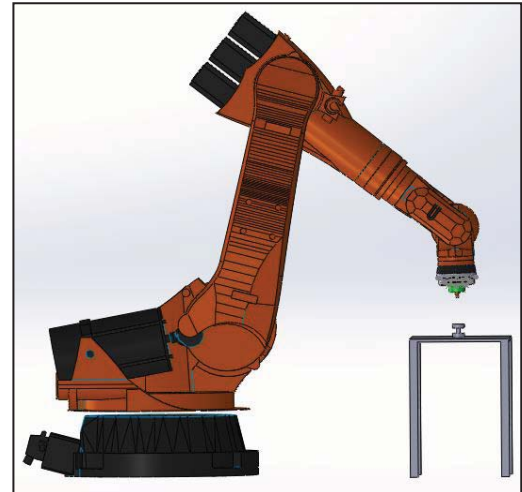
2) ออกแบบชุดจับยึดอุปกรณ์ลูกกลิ้งโลหะกัดผิวชิ้นงานแบบอัลตราโซนิกต้นแบบ โดยใช้โปรแกรม Solid works 2013 และใช้หลักการคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) [6] ได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การออกแบบอุปกรณ์จับยึด

ทำการผลิตอุปกรณ์ตามแบบ โดยใช้หลักการคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAM) ใช้วัสดุเป็นเหล็ก และทำการทดสอบเบื้องต้น [7]

3) นำอุปกรณ์ต้นแบบไปติดตั้งกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่อิสระ 6 แกน KUKA KR150 ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบกับหุ่นยนต์

4) ออกแบบการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ไปกัดอลูมิเนียมเกรด 6063 ขนาด 20x20x10 mm โดยค่าเป้าหมายคือค่าความหยาบผิว (R_a) ที่น้อยที่สุด งานวิจัยนี้ผู้ทดลองจะใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 โดยทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (2^k Factorial with 3 replicate) ตัวแปรอิสระประกอบด้วย 3 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลองแบบสุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย(Factor)	ระดับ (Level)	รหัส
การจ่ายคลื่นอัลตราโซนิก	จ่ายคลื่น	1
	ไม่จ่ายคลื่น	-1
ระยะในการกัด (Depth of cut)	200 μ m	1
	100 μ m	-1
ความเร็วในการกัด (Feed rate)	1,800 mm/ min	1
	600 mm/ min	-1

*รหัส ใช้สำหรับโปรแกรม Minitaps

1 หมายถึงตำแหน่ง High

-1 หมายถึงตำแหน่ง Low

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการของบริษัทแมชชีนเนอรี่ เอ็มโปเรียม จำกัด โดยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อิสระ 6 แกน เดินหัวกัดเป็นเส้นตรงบนผิวงานเป็นแนวยาว โดยให้ระยะห่างแต่ละแนวเท่ากับ 0.1 mm จนได้พื้นที่ขนาน 10X10 mm ดังแสดงในรูปที่ 9 จากนั้นทำการวัดค่าความหยาบผิวโดยใช้เครื่องวัดแบบหัวลาก INSPEX IPX-103 ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 แสดงการกัดชิ้นงานด้วยหุ่นยนต์ 6 แกน



รูปที่ 10 วัดค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องวัด INSPEX IPX-103

ซึ่งออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 โดยทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จะได้ทั้งหมด 24 การทดลอง และทำการทดลองแบบสุ่ม ซึ่งผลของการวัดค่าความหยาบผิว (R_a) หน่วย μm ได้ดังตารางที่ 2

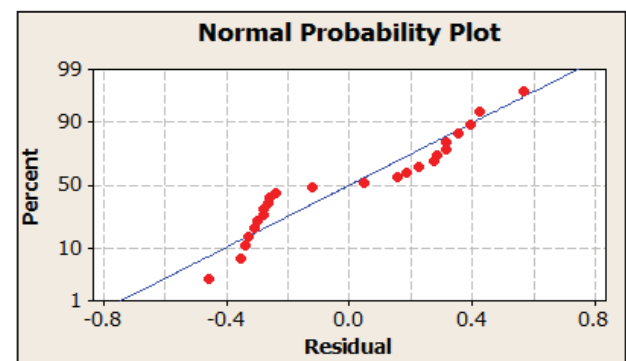
ตารางที่ 2 ผลการทดลอง

ปัจจัย factors	B = ความเร็วในการเดินหัวกัด Feed Rate									
	Low Feed Rate (-1)					High Feed Rate (+1)				
	C = Depth of Cut					C = Depth of Cut				
	Low Depth (-1)		High Depth (+1)			Low Depth (-1)		High Depth (+1)		
A ไม่จ่าย คลื่น (-1)	1.37	1.24	1.58	2.47	2.99	2.61	1.36	1.45	1.47	2.59
A จ่ายคลื่น (+1)	0.52	0.52	0.56	0.66	0.62	0.63	0.50	0.44	0.49	0.60

4.1 ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ

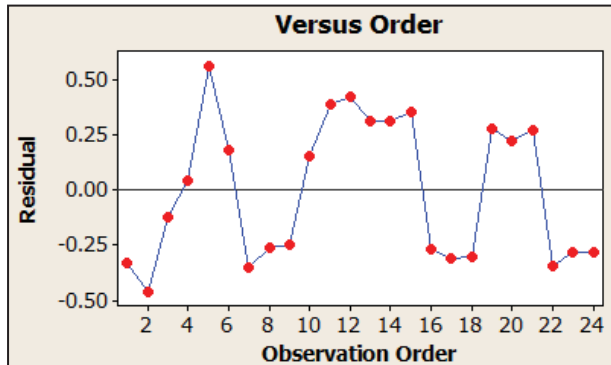
ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitaps version 16 ซึ่ง Montgomery (2005) [3] กล่าวว่า ก่อนที่จะนำข้อสรุปจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้จะต้องมีการตรวจสอบความเพียงพอของการทดลองที่จะนำมาใช้เสียก่อน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคือการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ซึ่งประกอบด้วย

4.1.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง ซึ่งใช้ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ โดยพิจารณากราฟจากรูปที่ 11 พบว่า ค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายแบบปกติ



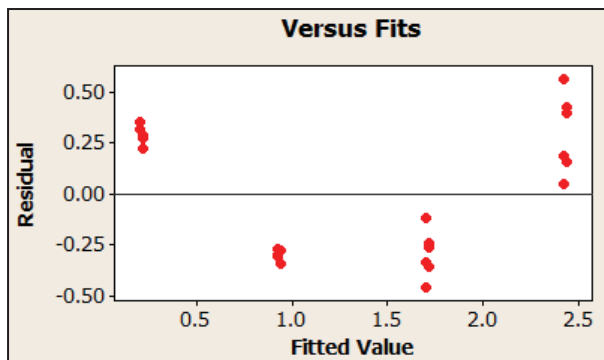
รูปที่ 11 กราฟแสดงการแจกแจงปกติของค่า Residuals R_a

4.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้างโดยพิจารณาจากกราฟรูปที่ 12 พบว่า การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนหรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลนี้มีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 12 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่า Residuals เทียบกับ Observation Order

4.1.3 การตรวจสอบความเสถียรของ σ^2 (Variance Stability) โดยพิจารณาจากกราฟรูปที่ 13 พบว่า σ^2 ของค่าส่วนตกค้าง มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง และไม่พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างใด แสดงให้เห็นว่าข้อมูลชุดนี้มีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 13 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่า Residuals เทียบกับ Fitted Value

ดังนั้นจากรูปที่ 11 ถึง 13 พบว่าการวิเคราะห์ค่าส่วนตกค้างที่ได้จากข้อมูลในการทดลองชุดนี้มีความ

ถูกต้องและน่าเชื่อถือ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนในขั้นตอนต่อไปได้

4.2 วิเคราะห์ความแปรปรวน

ในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitaps Version 16 มาทำการวิเคราะห์ค่าจากผลการทดลอง การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความหยาบผิว (R_a) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ เพื่อศึกษาปัจจัยทั้งหมดโดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha=0.05$) ได้ดังตารางที่ 3

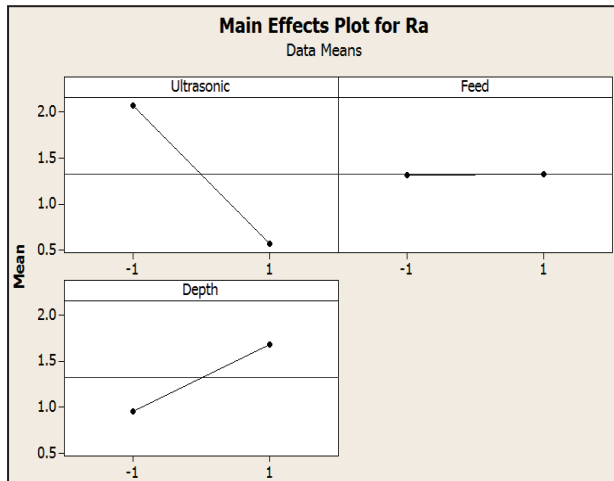
ตารางที่ 3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Analysis of Variance for R_a						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ultrasonic	1	13.4401	13.4401	13.4401	113.80	0.000
Feed	1	0.0008	0.0008	0.0008	0.01	0.935
Depth	1	3.1393	3.1393	3.1393	26.58	0.000
Error	20	2.3620	2.3620	0.1181		
Total	23	18.9422				
$S=0.34366$		$R-Sq = 87.53\%$		$R-Sq(adj) = 85.66\%$		

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหยาบผิว R_a โดยใช้โปรแกรมทางสถิติพบว่า การปล่อยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Wave) และระยะในการกัดชิ้นงาน (Depth of Cut) มีผลต่อค่าความหยาบผิว (R_a) อย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากค่า P-Value ของปัจจัยหลักทั้งปัจจัยการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกและปัจจัยระยะในการกัดผิว ซึ่งเท่ากับ $0.000 < \alpha$ (ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดไว้ $\alpha = 0.05$) จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอิทธิพลหลัก (Main Effect) จาก 3 ปัจจัยดังรูปที่ 14 พบว่า ปัจจัยการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกมีลักษณะเส้นกราฟชันลง ซึ่งหมายความว่าเมื่อได้ทำการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิก

ในกระบวนการทดสอบ จะส่งผลให้ค่าความเรียบผิว (Ra) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการพิจารณาที่ปัจจัยระยะในการกัดผิว พบว่าลักษณะเส้นกราฟชันขึ้น ซึ่งหมายความว่าเมื่อผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มระยะกัดผิว จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความเรียบผิวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์หลักของแต่ละปัจจัย

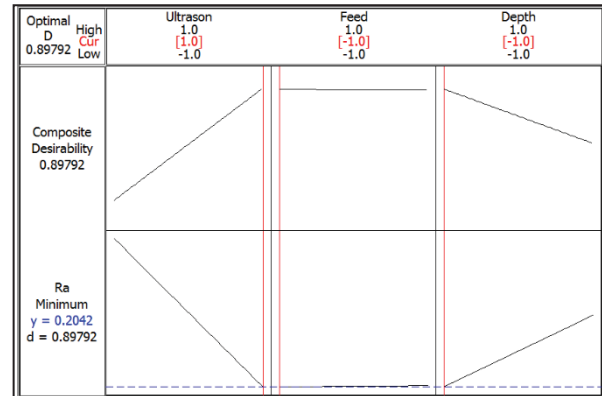
จากรูปที่ 15 พบว่ามีปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ร่วมกัน (Interaction) คือ ความเร็วในการเดินหัวกัด (Feed Rate) และระยะในการกัดผิว (Depth of Cut)



รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ร่วมของแต่ละปัจจัย

4.3 วิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ทำการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่มีผลให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด (Ra) โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยพิจารณาทั้งสามปัจจัยได้ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 กราฟแสดงผลตอบสนองปัจจัยที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ Response Optimizer พบว่า ถ้าต้องการให้ได้ค่าความหยาบผิว (Ra) ต่ำสุด ต้องเลือกใช้ระดับปัจจัย คลื่นอัลตราโซนิก 1 คือ ปล่อยคลื่นอัลตราโซนิก, ความเร็วในการกัดชิ้นงาน (Feed Rate) -1 คือ 600mm/min, ระยะลึกในการกัดผิว (Depth of Cut) -1 คือระยะ 100 μ m

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยในการนำกระบวนการกัดผิวชิ้นงานด้วยลูกกลิ้งโลหะ (Burnishing Surface) ผสานกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก และนำไปทดลองกัดผิวชิ้นงาน พบว่าผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐาน คือ การใช้คลื่นอัลตราโซนิก สามารถทำให้การกัดผิวชิ้นงานด้วยลูกกลิ้งมีค่าความหยาบผิวน้อยมากเมื่อเทียบกับการไม่ใช้คลื่นอัลตราโซนิก จึงสรุปว่ากระบวนการนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งานได้จริง

6. ข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความเป็นไปได้เบื้องต้น และแสดงให้เห็นว่ากระบวนการนี้มีผลทำให้ค่าความหยาบผิว (Ra) ลดลงได้อย่างมาก ซึ่งมีแนวโน้มว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ยังไม่เพียงพอ ในลำดับต่อไปต้องมีการทดสอบมากกว่านี้ เช่น ในด้านการศึกษา

ความแข็งของพื้นผิวชิ้นงานที่เปลี่ยนไป, ความโค้งงอของพื้นผิวทดสอบ และการศึกษาผ่านภาพถ่ายชิ้นงานทดสอบระดับไมโคร เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยและอุปกรณ์วิจัยต่างๆ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บริษัท ฮาร์นโซนิค จำกัด และบริษัทแมชินเนอรี่ เอ็มโพรีเยม จำกัด ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือขอขอบคุณ ผศ.ดร.ชนะ รักษศิริ และ ผศ.ดร.ชัยการ จันทร์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำและแนวคิดในการทำวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Barani, Built-up edge investigation in vibration drilling of Al2024-T6, Ultrasonic, Volume 54, Issue 5, July 2014.
- [2] Aysus Sagbas, Analysis and optimization of surface roughness in the ball burnishing process using response surface methodology and desirability function, Mersin University, Tarsus Technical Education Faculty, Department of Mechanical Education, 33400 Tarsus-Mersin, Turkey, PP-992-998, 2011.
- [3] Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. 5th edition, The United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [4] การสั่นพ้องของคลื่นเสียง (Resonance) (2542) การสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายเปิดสองข้าง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.sa.ac.th/winyoo/mechanicswave/wa_resonace.htm, เข้าดูเมื่อวันที่ 24/04/2559
- [5] รศ. ดร. ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา 2551, การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and

analysis of Experiment). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[6] ดร.เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์ 2553, การเขียนแบบทางวิศวกรรม และสถาปัตยกรรม (Solidworks 2013). สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

[7] ผศ. ดร. กรรณชัย กัลยาศิริ 2551, กรรมวิธีการผลิต (Manufacturing Process). ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.