



ประสิทธิภาพการตัดผิวเหล็กอุตสาหกรรมด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก
EFFICIENCY OF INDUSTRIAL STEEL SURFACE UTILISING
A MINI CNC MILLING MACHINE

อดุลย์ พุกอินทร์^{1*} สิทธิพันธ์ ทองศิริ¹ ปริญา ดีรัมย์¹ ทศนัย บุญมา¹ บดินทร์ อยู่ยืน¹

ปธานิน อยู่เป็นสุข¹ รพีพล แซ่ฉิน¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

Adun Phuk-in^{1*} Sittinan Thongsiri¹ Prinya Deerasmee¹ Tadsanai Boonma¹ Bodin Yooyern¹

Patanin Yoopensook¹ Rapeepon Seachim¹

^{1*} Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University

*Corresponding author e-mail: Adun999@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เพื่อหาประสิทธิภาพของการกัดเหล็กอุตสาหกรรมเกรด SS41 บนเครื่องกัด Milling Mini CNC มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล และเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง ประสิทธิภาพของดอกกัดชนิด A และดอกกัดชนิด B ที่มีการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของระดับ ปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบดอกกัด ชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z ระยะป้อนลึกการกัดชิ้นงาน และมีการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 วิเคราะห์ผลด้วยวิธี ANOVA แบบ 2 ทาง และหาค่าปฏิเสธสมมติฐาน ระหว่างทรีทเมนต์ A และทรีทเมนต์ B โดยตั้งสมมติฐาน 2 สมมติฐาน จากการวิจัยพบว่า สมมติฐานที่ 1 ดอกกัดชนิด A กับดอกกัดชนิด B ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยค่า F เปิดตาราง ค่าวิกฤตเท่ากับ 5.59 จากการคำนวณ 3.72 ซึ่งแสดงขอบเขตยอมรับ H_0 และสมมติฐานที่ 2 ความเร็วรอบ ดอกกัด ชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z และระยะป้อนลึกของการกัดชิ้นงาน ได้ค่า F เปิดตาราง ค่าวิกฤตเท่ากับ 3.79 จากการคำนวณ 39,244.550 ซึ่งบอกได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยค่า f จากการคำนวณอยู่ในขอบเขตปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 และจากผลการตรวจสอบความหยาบผิว นำมาหาค่าค่าตอบความเหมาะสมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า การปรับตั้งความเร็วรอบที่ใช้ในการกัด ดีที่สุดของดอกกัดชนิด A และดอกกัดชนิด B คือ 1,600 รอบ/นาที และความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z และระยะการกัดชิ้นงาน คือ 70 เมตร/นาที เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการกัดชิ้นงานเหล็ก SS41 การวิเคราะห์ ค่าประสิทธิภาพในการกัดเหล็กอุตสาหกรรมเกรด SS41 สามารถนำมาเป็นแนวทางในการขึ้นรูปเหล็กชนิดนี้ ร่วมกับเครื่องจักรอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติ เพื่อสนับสนุนงานบำรุงรักษาในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพของเครื่องกัด Milling Mini CNC, ความเร็วรอบการกัด, การทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^3

Abstract

This research aimed to find the efficiency of industrial steel forming by using a milling mini-CNC, to design a factorial experiment, and to compare the results of the efficiency of the endmill types A and B. The experiment was to compare the results of 3 factors, namely the speed of the endmill, the spindle speed set on X, Y, and Z, and the endmill feed depth. It was to use the experiment of 2^3 factorial designs, two-way ANOVA for statistical analysis, and find the interaction values between treatment A and treatment B by conducting two hypotheses. The findings revealed as follows: Hypotheses 1: endmill type A and type B do not have a statistical significance at .05, and F values from the table and computation were 5.59 and 3.72, respectively. It was in the accepted area of H_0 . Hypothesis 2: the speed of the endmill, the spindle speed set on X, Y, and Z, and the endmill feed depth got F values as 3.79 and 39,244.50, respectively which had a statistical significance at .05. It was in the rejected area of H_0 , but accepted H_1 . The results of surface roughness inspection are used software package to find the optimization. It found that the adjusted rotational speed of the endmill types A and B was optimized at 1,600 rounds/minute and spindle speed of the X, Y, and Z axes, and the feed rate is 70 meters per minute for milling mini-CNC SS41.

Keywords: Efficiency of Milling Mini CNC, Spindle Speed, 2^3 Factorial Experiment

1. บทนำ

ในกระบวนการผลิต เพื่อแปรสภาพวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป จะต้องใช้เครื่องจักรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เช่น การลดระยะเวลาการทำงาน การลดขั้นตอนหรือวิธีการ การลดต้นทุนในการใช้พลังงาน การลดต้นทุนการขนส่ง และการเพิ่มประสิทธิภาพของพนักงานในการใช้เครื่องจักร เป็นต้น (Mustapha, 2021) ประสิทธิภาพของเครื่องจักรส่งผลต่อต้นทุนการผลิต (Myers and Montgomery, 2018) ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดการขั้นตอนหรือวิธีการที่เหมาะสมในการใช้เครื่องมือ หรือการนำวิธีการมาใช้ในการแก้ไขปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Jankovic, 2021; Montgomery, 2018)

ปัจจุบันเครื่องจักรสามารถแบ่งออกตามลักษณะที่ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม โดยแบ่งเป็นลักษณะพลังงาน (Rai et al, 2024) และประโยชน์ใช้สอยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ เครื่องต้นกำลัง เป็นชิ้นส่วนสำคัญที่มีจุดเด่นและมีขีดความสามารถในการผลิต และเปลี่ยนพลังงานจากรูปแบบหนึ่งไปอีกรูปแบบหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น เครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการเปลี่ยนพลังงานในรูปแบบของไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนเครื่องจักร (Jankovic et al, 2021) อาทิเช่น รถยนต์ไฟฟ้า หรือกรณีเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานจากน้ำแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ในการขับเคลื่อนรถไฟสมัยก่อน เครื่องส่งกำลัง เป็นชิ้นส่วนสำคัญในเครื่องจักรทุกขนาด มีหน้าที่สำคัญ ในการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องต้นกำลังไปยังเครื่องจักรปลายทางหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเครื่องจักรส่งกำลังเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการลำเลียงพลังงาน ยกตัวอย่างเช่น สายพาน โซ่ เฟืองเพลลา และท้อลมประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในเครื่องจักรทุกประเภท เครื่องจักรทำการผลิตจะถูกออกแบบมาเพื่อให้มีขีดความสามารถในการใช้งานประเภทต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น เครื่องเจาะ เครื่องอัด เครื่องตัด เครื่องไส และเครื่องกัด เป็นต้น (สมมาตร พรหมพุด, 2565)



เครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรม เมื่อมีการออกแบบและสร้างแล้ว จะต้องมีการออกแบบ การทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องจักรในด้านต่าง ๆ เช่น ความเร็วรอบในการใช้งาน ระยะเวลาในการผลิต การใช้งานกับเครื่องจักรนั้น ๆ เป็นต้น เครื่องกัด Milling CNC ที่มีการใช้งานในหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ยังไม่ทราบถึงประสิทธิภาพที่ชัดเจนของเครื่องกัด CNC การหาประสิทธิภาพของเครื่องกัด CNC กลุ่มผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบการทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกัด CNC โดยแบ่งปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบดอกกัด ความเร็วรอบแกน X, Y และ Z (Feed) และระยะลิคการกัด รวมถึงการเลือกใช้ดอกกัดที่มีความแตกต่างกัน คือ A และ B การวิจัยนี้จะเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้การใช้งานของเครื่องกัดมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้นในการกัดเหล็กอุตสาหกรรม SS41

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบการทดลองหาประสิทธิภาพของการขึ้นรูปเหล็กอุตสาหกรรมเกรด SS41 บนเครื่องกัด Milling Mini CNC

2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองประสิทธิภาพของดอกกัดชนิด A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เกรดค่าความแข็งเกรด 65 HRC และดอกกัดและดอกกัดชนิด B มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และค่าความแข็งเกรด 55 HRC และสามารถใช้เป็นแนวทางในการขึ้นรูปเพื่อการบำรุงรักษา

3. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมแนวความคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ แสดงดังนี้

3.1 เครื่องจักรอัตโนมัติ หรือเครื่องกัด CNC ย่อมาจาก Computer Numerical Control ซึ่งหมายถึง การใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติต่าง ๆ เช่น เครื่องกัด เครื่องกลึง เครื่องเจาะ โดยควบคุมการทำงานผ่านการสร้างรหัส ตัวเลข และสัญลักษณ์ หรือที่เรียกว่าโปรแกรม NC ซึ่งช่วยให้การผลิตชิ้นงานทำได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง และเที่ยงตรง โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เทคโนโลยีไมโครโปรเซสเซอร์ได้เข้ามาแทนที่หลอดสุญญากาศและทรานซิสเตอร์ จนนำไปสู่การพัฒนาเครื่องจักร NC ให้กลายเป็นเครื่องจักร CNC ปัจจุบันเครื่องจักร CNC มีความสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมเนื่องจาก การมีหน่วยความจำขนาดใหญ่ สามารถบรรจุโปรแกรมการทำงานได้จำนวนมาก การมีจอภาพแสดงผลแบบกราฟิก ที่สามารถจำลองการทำงานได้ และโปรแกรมข้อมูลเข้าสู่ตัวควบคุมเครื่องจักร (Machine Control) ซึ่งเรียกการควบคุมนี้ว่าระบบการควบคุม (Software System) โดยอุปกรณ์แบบเก่าได้รับการเปลี่ยนเป็นอุปกรณ์ที่สามารถจัดเก็บโปรแกรมของเครื่อง CNC ได้ (สมศักดิ์ แก่นทอง และคณะ, 2550)



ภาพที่ 1 แสดงเครื่องกัด Milling Mini CNC

3.2 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลใช้กับการทดลองที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายปัจจัยที่ต้องการศึกษาผลรวมที่มีต่อการตอบสนองของปัจจัยเหล่านั้น การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากในการตรวจสอบอิทธิพลของหลาย ๆ ปัจจัย (Factor) พร้อมกัน คำว่า “แฟกทอเรียล” หมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้ง โดยมีการใช้ระดับของปัจจัยต่าง ๆ ร่วมกัน ทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลต่าง ๆ ได้พร้อมกันในการทดลองครั้งหนึ่ง เช่น ถ้าปัจจัย A มี a ระดับ และปัจจัย B มี b ระดับ ในแต่ละการทดลองซ้ำจะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด b การทดลอง การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลยังสามารถแบ่งรูปแบบการทดลอง (Treatment Combination) ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ (จักรินทร์ กลั่นเงิน, 2558 ; Jankovic et al., 2021)

3.2.1 อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปร ตอบสนองด้วยตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่เกิดขึ้น (Myers & Montgomery, 2018)

3.2.2 อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกันของรูปแบบการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลของการวิจัยนี้ ดังนี้

1) การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัยเป็นรูปแบบการออกแบบที่ง่ายที่สุดซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย เช่น ปัจจัย A และปัจจัย B โดยปัจจัย A จะมี a ระดับ และปัจจัย B จะมี b ระดับ ในการทดลองแต่ละครั้งจะมีการผสมผสานปัจจัย A และ B ทำให้มีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ $a \times b$ การทดลอง โดยทั่วไปแล้วจะทำการทดลองซ้ำทั้งหมด n ครั้ง ซึ่งการวิจัยนี้ใช้การทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นจึงหาค่าเฉลี่ยของค่าความละเอียดผิวที่ได้จากการกัดขึ้นรูป

2) การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ “ 2^k ” ใช้เมื่อมีปัจจัย k ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ซึ่งอาจเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร คนงาน ระดับทั้ง 2 นี้แทนด้วยระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัย การออกแบบในลักษณะนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งหมด “ 2^k ” การทดลอง โดยการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ “ 2^k ” มีประโยชน์อย่างยิ่งในช่วงเริ่มต้นของการทดลองเมื่อมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ต้องการตรวจสอบ โดยปกติ ระดับสูงจะแทนด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำแทนด้วยเครื่องหมาย “-” (ปารเมศ ชูติมา, 2545 ; Myers & Montgomery, 2018)

3.3 การทบทวนวรรณกรรมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arunkumar et al. (2021) ได้ออกแบบกระบวนการ Abrasive Jet Machining (AJM) ซึ่งเป็นกระบวนการตัดเฉือนวัสดุที่มีความแข็งและวัสดุที่อ่อน โดยใช้ลูมินาและซิลิกาเป็นสารกัดกร่อน เนื่องจากการทนทานต่อสารเคมีและการเสียดสีได้ดี การวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองโดยกำหนดพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการตัดในกระบวนการ AJM โดยใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบเต็มรูปแบบที่ประกอบด้วย 3 ปัจจัย และแบ่งเป็น 3 ระดับในการวิเคราะห์กับการวิจัยนี้

Jankovic et al (2021) งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของผิวหนังสองชั้น (DSF) โดยทดสอบการออกแบบการทดลอง (DOE) กว่า 30 รูปแบบ ผ่านการจำลองกว่า 500,000 ครั้ง เพื่อค้นหาและเลือกการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ DOE ต่าง ๆ โดยใช้การออกแบบแฟกทอเรียลแบบเต็ม (FFD) เป็นเกณฑ์มาตรฐาน ผลการวิจัยนำไปสู่การสร้างแนวทางที่ช่วยให้นักวิจัยเลือก DOE ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการประเมินปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการวิจัย



Hwang and Kim (2023) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขัดเงาด้วยไฟฟ้าสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมชุเปอร์ออสเทนนิค UNS N08367 โดยใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบเต็มรูปแบบ การวิจัยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ปัจจัยด้านกลไกการขัดเงา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ 3 มิติ และจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอัตราส่วนขององค์ประกอบของอิเล็กโทรไลต์ เวลาในกระบวนการขัดเงา และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า จากนั้นจึงนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA เพื่อหาปัจจัยที่มีประสิทธิผลในการขัดเงาด้วยไฟฟ้ากับการวิจัยนี้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยได้การศึกษาเครื่องกัด Milling Mini CNC ในการออกแบบหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องกัด โดยมีการเตรียมชิ้นงานเพื่อออกแบบการทดลอง การเลือกใช้ดอกกัด การออกแบบโปรแกรมการกัด และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ แสดงดังนี้

4.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องกัด Milling Mini CNC 6 ส่วน ดังนี้

4.1.1 โครงสร้างของเครื่องมีขนาด 520 × 500 × 760 มิลลิเมตร ประกอบด้วยชุดขับเคลื่อนของแกน X, Y และ Z ให้มีขนาดความสูง 760 มิลลิเมตร มีความกว้าง 500 มิลลิเมตร และมีความยาว 520 มิลลิเมตร

4.1.2 ชุดมอเตอร์ต้นกำลัง มีหลักการในการขับเคลื่อนในการกัดชิ้นงาน มีกำลังขับเคลื่อนอยู่ที่ 350 W. (AC - 230V) 2.2 A. ความเร็วรอบสูงสุด 6,000 รอบ/นาที

4.1.3 ระบบขับเคลื่อนของแกน X, Y และ Z ของเครื่องกัดรุ่น SCNC แกน X ขับเคลื่อนได้สูงสุด 300 มิลลิเมตร แกน Y ขับเคลื่อน และแกน Z ขับเคลื่อนตาม (Feed) ของตัวโปรแกรมได้สูงสุด 130 มิลลิเมตร ใช้มอเตอร์กระแสตรง 2.5 แอมป์ต่อเฟส และมีแรงบิด 2 นิวตัน/เมตร ในการหมุนชุดหัวกัด และควบคุมการทำงานของเครื่องกัดชิ้นงานผ่านโปรแกรมและแผงควบคุม

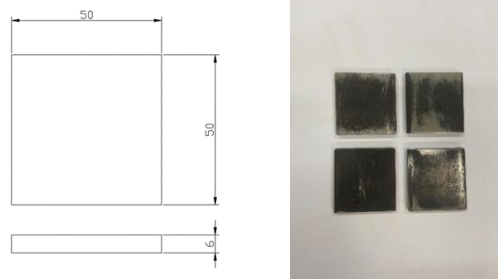
4.1.4 อุปกรณ์ทำงานใช้สำหรับยึดจับชิ้นงานใช้ปากกาขนาด 500 มิลลิเมตร การจับชิ้นงานมีเกจบล็อก (Gauge Block) ที่ใช้บนปากกาให้ได้ฉาก และจับยึดให้แน่นด้วยการหมุนเกลียวสี่เหลี่ยม เพื่อทำการกัดชิ้นงาน

4.1.5 บอร์ดควบคุม ระบบควบคุมจะมีส่วนประกอบเป็นแผงชุดควบคุมของโปรแกรม และการทำงานของเครื่องกัด Milling Mini CNC จะมีปุ่ม ON กับ OFF เป็นตัวปิด และเปิดของระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จะมีไฟแสดงเป็นสีเขียวพร้อมการทำงานประกอบในบอร์ดควบคุม

4.1.6 โปรแกรมควบคุมใช้ Mach3 CNC เป็นโปรแกรมที่มีโหมดการกัดชิ้นงาน เหล็กอุตสาหกรรม SS41 ได้ ซึ่งมีขั้นตอนของการกำหนดจุด $X = 0$, $Y = 0$ และ $Z = 0$ เป็นระบบตรวจสอบศูนย์ของชิ้นงานที่ใช้ปลายของดอกกัดในการตั้งศูนย์ตามมาตรฐาน

4.2 การเตรียมชิ้นงานเพื่อออกแบบการทดลอง กลุ่มผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง โดยการเตรียมชิ้นงานเลือกใช้เหล็กเกรด SS41 แบบเจาะจง ซึ่งมีส่วนธาตุผสมของปริมาณคาร์บอน 0.13-0.18 ซิลิคอน 0.15-0.35 แมงกานีส 0.5-0.7 ฟอสฟอรัส และกำมะถัน 0.05 โดยนำเหล็กแผ่นรีดร้อนขนาดความกว้าง 51 มิลลิเมตร ขนาดความหนา 6 มิลลิเมตร และตัดให้มีขนาดความยาว 51 มิลลิเมตร และมีการเตรียมชิ้นงานทดสอบดังนี้

การออกแบบเตรียมชิ้นงาน การตัดเหล็กให้มีขนาดความกว้าง 51 มิลลิเมตร มีความยาว 51 มิลลิเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร มีการเตรียมการขึ้นรูปด้วยการกัดขอบคมด้วยเครื่องกัดตั้ง และเครื่องเจียรไนราบ เพื่อให้ได้ขนาดกำหนดที่ 50 × 50 ความหนา 6 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 2



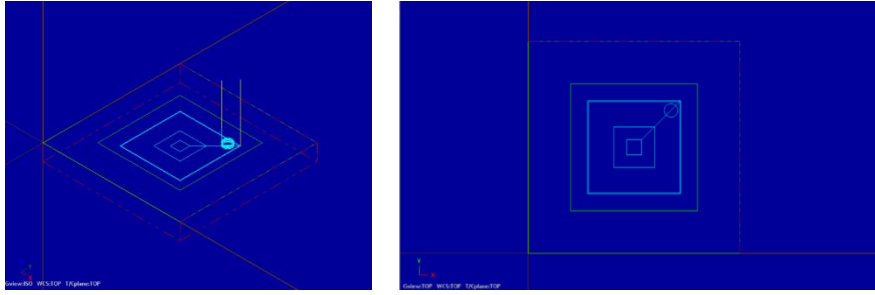
ภาพที่ 2 แสดงการเตรียมชิ้นงานเหล็กเกรด SS41 ตามขนาดกำหนด

4.3 ดอกกัด (Endmill) การออกแบบการทดลองหาค่าประสิทธิภาพของชิ้นงานเหล็กอุตสาหกรรมเกรด SS41 ใช้ดอกกัด (Endmill) 2 เกรด ที่มีความแข็งและการเคลือบผิวที่แตกต่างกัน คือ ชนิด A ใช้ดอกกัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความยาว 60 มิลลิเมตร มี 4 คมตัด ค่าความแข็งเกรด 65 HRC ชนิด Carbide เคลือบ AlTiSiN อะลูมิเนียม (Aluminum) ไทเทเนียม (Titanium) ซิลิคอนไนไตรด์ (Silicon Nitride) และชนิด B ใช้ดอกกัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความยาว 60 มิลลิเมตร มี 4 คมตัด ค่าความแข็งเกรด 55 HRC ชนิด Carbide เคลือบ TiAlN ไทเทเนียม (Titanium) อะลูมิเนียมไนไตรด์ (Aluminum Nitride) ดังแสดงภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงภาพดอกกัดจำนวน 2 เกรด คือ ชนิดความแข็ง ค่าความแข็งเกรด 65 HRC และค่าความแข็งเกรด 55 HRC

4.4 การออกแบบโปรแกรมการกัดของเครื่องกัด (Milling CNC) ชิ้นงานเหล็ก SS41 การวิจัยได้ออกแบบด้วยโปรแกรม Mastercam Design ซึ่งการออกแบบจะได้คำสั่งจีโค้ด (G Code) และเอ็มโค้ด (M Code) โดยมีขั้นตอนของการเขียนแบบในโปรแกรมที่มีเงื่อนไขในการใช้ความเร็วรอบ การใช้อัตราการป้อนระยะลึก และอัตราการเร็วในการกัดชิ้นงาน (Feed Rate) ที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2³ ซึ่งการกัดชิ้นงานเลือกการใช้โปรแกรมแบบ Poker คือ เดินกัดชิ้นงานให้ได้ตามแบบวงกลมที่มีระยะความลึกที่แตกต่าง คือ 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการออกแบบการกัด CNC ด้วยโปรแกรม Mastercam Design

4.5 การออกแบบการทดสอบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 (Montgomery, 2018 ; Myers & Montgomery, 2018 ; Jankovic et al, 2021) โดยออกแบบความเร็วรอบชุดดอกกัด ความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z และระยะลึกการกัดชิ้นงานกับระดับปัจจัยระดับต่ำ (0) และระดับสูง (1) โดยการออกแบบการทดสอบเชิงแฟกทอเรียล 2^3 จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกัดชิ้นงานกับการกัดชิ้นงานเหล็ก SS41 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงตารางการออกแบบการทดลองของการกัดเหล็กเกรด SS41 ด้วยชนิดดอกกัด A และ B

Factors	ระดับต่ำ (0)	ระดับสูง (1)
ความเร็วรอบดอกกัด (End Mill) (A)	1,200 รอบ/นาที	1,600 รอบ/นาที
ชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z (Feed) (B)	100 เมตร/นาที	70 เมตร/นาที
ระยะลึกการกัดชิ้นงาน (C)	0.5 มิลลิเมตร	1.0 มิลลิเมตร

จากตารางที่ 1 แสดงตารางการออกแบบการทดลองของการกัดเหล็กเกรด SS41 ด้วยชนิดดอกกัด A และ B ที่มีการออกแบบการทดสอบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 ทดลองแบ่งเป็น 8 การทดลอง ทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จำนวนชิ้นงานทั้งหมด 24 ชิ้นการทดลอง และนำมาหาค่าเฉลี่ยค่าความละเอียดผิวของการกัดในดอกกัดแต่ละเกรด เพื่อหาค่าเวลาและค่าเฉลี่ยความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Tester) ซึ่งการวิจัยนี้จะใช้เครื่องกัด Milling Mini CNC รุ่น SCNC และทำการออกแบบการทดลองด้วยชนิดของดอกกัด A และ B กับชิ้นงานเหล็ก SS41 โดยแบ่งระดับปัจจัยความเร็วรอบดอกกัด (A) ชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z (Feed) (B) และระยะลึกการกัดชิ้นงาน (C) การทดลองจะทำการบันทึกเวลาในการกัดชิ้นงาน เพื่อเปรียบเทียบค่าเวลาในการกัดชิ้นงานเหล็ก SS41 กับการประมวลผลทดสอบจะใช้ Replicate และนำผลมาวิเคราะห์โดยใช้ ANOVA เพื่อหาความแปรปรวนของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจะทราบถึงปัจจัยหลัก (Main Effect) ของวิธีการกัดชิ้นงานเหล็ก SS41 เป็นการทดลองแบบเต็มรูปแบบ (Full Factorial) การวิเคราะห์ผลใช้ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ วิเคราะห์ผลด้วยวิธี ANOVA (Montgomery, 2018 ; Myers & Montgomery, 2018; Jankovic et al, 2021)

4.6 การออกแบบสมมติฐานการวิจัย การวิจัยได้ออกแบบสมมติฐานที่ 1 ในการกัดเหล็กเกรด SS41 ของดอกกัดแบบเกรด A และดอกกัดแบบเกรด B เพื่อให้ทราบถึงค่าประสิทธิภาพการกัดชิ้นงานเหล็ก SS41 กับเครื่องกัดซีเอ็นซี Milling Mini CNC รุ่น SCNC กับความเหมาะสมกับการกัดของดอกกัด โดยมีการตั้งสมมติฐานการวิจัยดังนี้

สมมติฐานที่ 1

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ดอกกัตชนิด A และดอกกัตชนิด B ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ ดอกกัตชนิด A และดอกกัตชนิด B แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 2

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ความเร็วรอบดอกกัต ชุดความเร็วรอบของแกน ระยะลึกการกัดชิ้นงานไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ ความเร็วรอบดอกกัต ชุดความเร็วรอบของแกน ระยะลึกการกัดชิ้นงานแตกต่างกัน

โดยมีกฎในการตัดสินใจจากค่าสถิติทดสอบที่คำนวณที่ได้จากค่า f ถ้ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าวิกฤตของค่า f เปิดตารางจะมีการปฏิเสธ H_0 และการยอมรับ H_1 และแสดงสูตรที่ใช้ทางสถิติ 1, 2 และ 3

ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between Groups Sum of Square) การออกแบบการทดลองเครื่องกัด เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SSB เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากการที่ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในแต่ละกลุ่มแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวม แสดงสูตร 1 (Montgomery, 2018; Jankovic et al, 2021)

$$SSB = \sum_{i=1}^r \frac{T_i^2}{n_i} - CM \quad \dots\dots\dots(1)$$

ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Square) การออกแบบการทดลองเครื่องกัด เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SSE เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มแต่ละกลุ่มซึ่งไม่ทราบสาเหตุว่าเป็นความแปรปรวนที่เกิดจากสาเหตุใด ในบางครั้งจึงเรียกว่า ความคลาดเคลื่อน (Error Sum of Square) แสดงสูตร 2 (Montgomery, 2018; Jankovic et al, 2021)

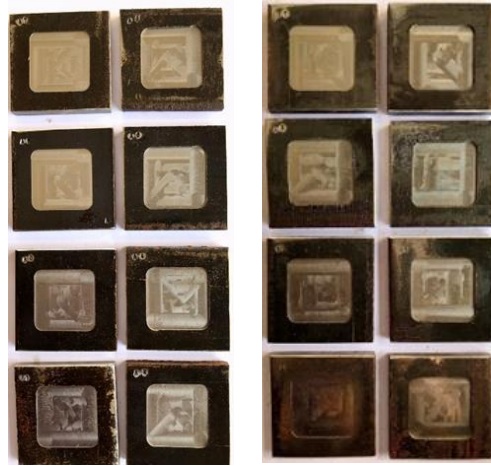
$$SSE = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

ความแปรปรวนรวม (Total Sum of Square) การออกแบบการทดลองเครื่องกัด เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SST เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากค่าสังเกตแต่ละค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวม แสดงสูตร 3 (Montgomery, 2018; Jankovic et al, 2021)

$$SST = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad SST = SSB + SSE \quad \dots\dots\dots(3)$$

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการกัดด้วยเครื่องกัด (Milling CNC) ของชิ้นงานเหล็ก SS41 กลุ่มผู้วิจัยได้ทำการกัดชิ้นงานโดยใช้ดอกกัตชนิด A ค่าความแข็งเกรด 55 HRC ชนิด Carbide เคลือบ TiAlN ไทเทเนียม (Titanium) อะลูมิเนียม ไนไตรด์ (Aluminum Nitride) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความยาว 60 มิลลิเมตร มี 4 คมตัด (แสดงภาพที่ 5 ก.) และดอกกัตชนิด B เกรด ค่าความแข็งเกรด 65 HRC ชนิด Carbide เคลือบ AlTiSiN อะลูมิเนียม ไทเทเนียม (Titanium) ซิลิคอน ไนไตรด์ (Silicon Nitride) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความยาว 60 มิลลิเมตร มี 4 คมตัด (แสดงภาพที่ 5 ข.) ผลของการกัดกับดอกกัตทั้ง 2 ชนิด สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ตามโปรแกรม Mastercam Design ที่กำหนด



ก. ดอกกัดชนิด A. ข. ดอกกัดชนิด B.

ภาพที่ 5 ชิ้นงานจากการทดลองการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องกัด Milling Mini CNC

5.2 ผลการหาประสิทธิภาพเครื่องกัด Milling Mini CNC การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 กลุ่มผู้วิจัยได้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 แบ่งเป็นปัจจัย 3 ปัจจัยที่ 2 ระดับคือ การใช้เครื่องกัด Milling Mini CNC กับการกัดเหล็กอุตสาหกรรมเกรด SS41 เริ่มต้นจาก การทดลองที่ 1 ถึงการทดลอง 8 โดยการทดลองแต่ละครั้งอธิบายลักษณะ ผลที่เกิดขึ้น เช่น การทดลองที่ 1 หมายถึง ความเร็วรอบดอกกัด (End Mill) (A) ที่ 1,200 รอบ/นาที ใช้ชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z (Feed) (B) 100 เมตร/นาที และระยะลิการกัดชิ้นงาน (C) ที่ 0.5 มิลลิเมตร จนถึงการทดลอง 8 หมายถึง ความเร็วรอบดอกกัด (End Mill) (A) ที่ 1,600 รอบ/นาที ใช้ชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z (Feed) (B) 70 เมตร/นาที และระยะลิการกัดชิ้นงาน (C) ที่ 1 มิลลิเมตร และผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องกัด Milling Mini CNC การหาประสิทธิภาพเครื่องกัดเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 โดยแสดงการใช้ดอกกัด ชนิด B มีคุณสมบัติ (Endmill Carbide HRC 65) จำนวน 2 ดอก ซึ่งแสดงผลการทดสอบการหาค่าเวลา แสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 การกัด ชนิด A และชนิด B

การทดลองที่	ค่าเฉลี่ยเวลา ดอกกัด A	ค่าเฉลี่ยเวลา ดอกกัด B	ผลรวม	ผลรวมกำลัง 2 (x^2)	ผลรวม/2
1	367	367	734	538,756	269,378
2	401	402	803	644,809	322,404.5
3	524	524	1,048	1,098,304	549,152
4	573	574	1,147	1,315,609	657,084.5
5	366	368	734	538,756	269,378
6	403	402	805	648,025	324,012.5
7	524	525	1,049	1,100,401	550,200.5
8	573	574	1,147	1,315,609	657,084.5
ผลรวม	3,731	3,736			3,600,134.5

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบดอกกัต ชนิด A และชนิด B เชิงแฟกทอเรียลแบบ 2³ โดยมีการเก็บค่าเวลาในการกัตชิ้นงานของแต่ละการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ผลแสดงดังนี้

การวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับการทดลองด้วยวิธี ANOVA แบบ 2 ทางจากค่าการทดลอง การวิจัยวิเคราะห์ผลดังนี้

สูตรการคำนวณ $\sum_{x_{ij}} = 3,731$ $\sum_{x_{ij}} = 3,736$ $\sum \sum_{x_{ij}} = 3,731 + 3,736 = 7,467$

แทนค่า $CM = \frac{(\sum \sum x_{ij})^2}{n} = \frac{7467^2}{16}$

$CM = 3,484,756$

ความแปรปรวนรวม (Total Groups Sum of Square : SST)

แทนค่า $SST = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c x_{ij}^2 - CM = [367^2 + 401^2 + 524^2 + 573^2 + 366^2 + 403^2 + 524^2 + 573^2 + 367^2 + 402^2 + 524^2 + 574^2 + 368^2 + 402^2 + 525^2 + 574^2] - 3,484,756$

$SST = 115,383.4$

ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between Groups Sum of Square : SSB)

แทนค่า

$SSB = \sum_{i=1}^r \frac{T_i^2}{n_i} - CM$ $SSB = 115,378.9$

ความแปรปรวนระหว่างบล็อกในแต่ละแถว SSA

แทนค่า

$SSA = \sum_{j=1}^c \frac{T_j^2}{n_j} - CM = \frac{3,731^2}{8} + \frac{3,736^2}{8} - 3,484,756$

$= (3,484,757.125 - 13,346,235.6)$

$SSA = 1.5625$

ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Square) เขียนแทนด้วย สัญลักษณ์ SSE

แทนค่า

$SSE = SST - SSB - SSA$

$= (115,383.4 - 115,378.9 - 1.5625)$

$SSE = 2.9375$

การหาค่าปฏิสัมพันธ์ เพื่อต้องการศึกษาความปฏิสัมพันธ์ระหว่างทรีทเมนต์ A และทรีทเมนต์ B เพื่อสืบทราบถึงชนิดของดอกกัตชนิด A และดอกกัตชนิด B มีค่าปฏิสัมพันธ์กันกับความเร็วยรอบดอกกัต ชุดความเร็วยรอบของแกน และระยะระยะการกัตชิ้นงานดังแสดงการคำนวณดังนี้



การคำนวณ

$$\begin{aligned} \frac{T_i^2}{bl} &= \frac{3731^2}{8} = \frac{3736^2}{8} \\ &= 1740045.125 + 1744712 \\ \bar{T}_j &= \frac{3731}{8} = 466.375 & \frac{3736}{8} &= 467 \\ \sum_{i=1} X_{ij}^2 &= 1797665 = 1802474 \\ \sum_{i=1}^k \sum_{i=1}^{bl} X_{ij}^2 &= 1797665 + 1802474 \\ &= 3600139 \\ \frac{T^2}{n} &= \frac{7467^2}{16} \\ &= 3484755.563 \end{aligned}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} SS_b &= \sum_{j=1}^k (T_j^2/bl) - T^2/N &= 3484755.563 - 3484757 \\ &= 1.5625 \\ SS_{bl} &= \sum_{i=1}^{bl} (T_i^2/k) - T^2/N &= 3484755.563 - 3600135 \\ &= 11578.9375 \\ SS_{a,bl} &= \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{bl} X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^k (T_j^2/bl) - \sum_{i=1}^{bl} (T_i^2/k) + T^2/N \\ &= (3600139 - 3484757 - 3600135) + 3484755.563 \\ &= 3600139 - 3484755.563 \\ &= 115383.437 \end{aligned}$$

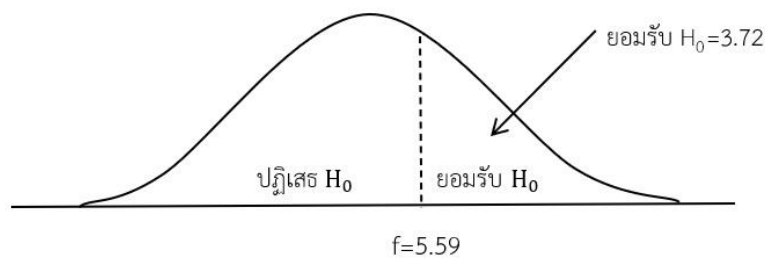
จากผลการวิเคราะห์ ANOVA จากการคำนวณได้มีการนำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมวิเคราะห์ผล Data Analysis ของ Excel แล้วมีความแม่นยำในการวิเคราะห์กับการวิจัยนี้

5.3 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ตารางแจกแจงแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 จากการแทนค่าสูตรในการหาค่าคำตอบของวิธีการ ANOVA แสดงตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงตารางวิเคราะห์ ANOVA ตารางแจกแจงแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

Source of variation	DF	Sum of square (SS)	Mean Square (MS)	F
A treatments	1	1.5625	1.5625	3.720
B treatments	7	115378.9375	16482.70536	39,244.550
AB Interaction	7	2.9375	0.419642857	3.723
Total	15	469.926		

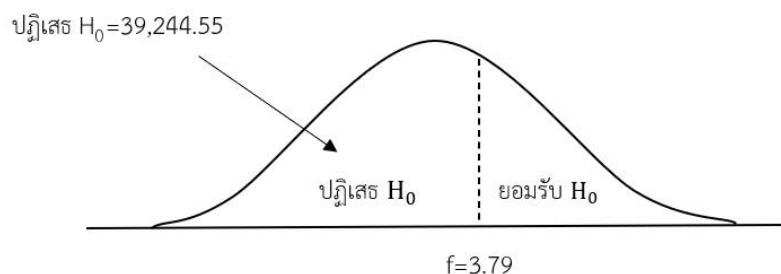
จากตารางที่ 3 แสดงการแทนค่าวิเคราะห์ ANOVA ตารางแจกแจงแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ $\alpha = 0.05$ ได้ค่า F เปิดตาราง $f = 0.05, 1, 7 = 5.59$ และ $f = 0.05, 7, 7 = 3.720$ ผลการวิเคราะห์สมมติฐานที่ 1 ยอมรับ $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ คือ ดอกกัตชนิด A และดอกกัตชนิด B ไม่แตกต่างกัน แสดงภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงภาพการทดสอบสมมติฐานค่าวิกฤตสมมติฐานที่ 1

จากภาพที่ 6 สรุปได้ว่าดอกกัตชนิด A กับดอกกัตชนิด B ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยค่า f จากการคำนวณ 3.720 และได้ค่าเปิดตารางค่าวิกฤต เท่ากับ 5.59 แสดงว่าค่า f จากการคำนวณอยู่ในขอบเขตยอมรับ H_0

สมมติฐานที่ 2 ปฏิเสธ $H_0 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ คือ ความเร็วรอบดอกกัต ชุดความเร็วรอบของแกนระยะลิการกัตชิ้นงานแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แสดงดังภาพที่ 7

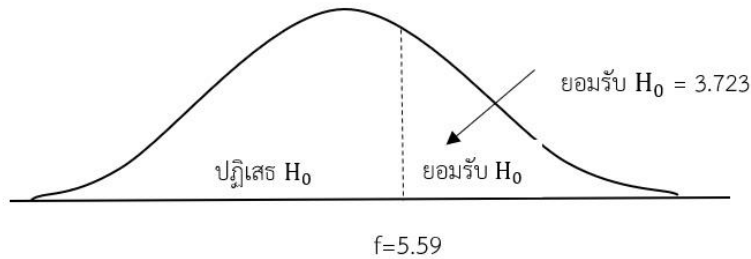


ภาพที่ 7 แสดงภาพการทดสอบสมมติฐานค่าวิกฤตสมมติฐานที่ 2

จากภาพที่ 7 แสดงภาพการทดสอบสมมติฐานค่าวิกฤตสมมติฐานที่ 2 จากการทดสอบสมมติฐานที่ 2 สรุปได้ว่าความเร็วรอบดอกกัต ชุดความเร็วรอบ ของแกนระยะลิการกัตชิ้นงานมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยค่า f จากการคำนวณ 39.244.550 และได้ค่าเปิดตารางค่าวิกฤต เท่ากับ 3.79 แสดงว่าค่า f จากการคำนวณอยู่ในขอบเขตปฏิเสธ H_0



จากตารางที่ 3 แสดงการเป็นค่าวิเคราะห์ค่าปฏิสัมพันธ์ของทรีทเมนต์ ตารางแจกแจงแบบ f ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% หรือ $\alpha = 0.05$ ได้ค่า f เปิดตาราง $f = 0.05, 1, 7 = 5.59$ แสดงภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงภาพการแทนค่าวิเคราะห์ค่าปฏิสัมพันธ์ของทรีทเมนต์

จากภาพที่ 8 แสดงการแทนค่าวิเคราะห์ค่าปฏิสัมพันธ์ของทรีทเมนต์ สรุปได้ว่าค่า f จากการคำนวณเท่ากับ 3.723 ค่า f จากการเปิดตารางค่า $f = 5.59$ สรุปว่า ค่าจากการคำนวณมีค่าต่ำกว่า วิถีถูกต้องยอมรับ H_0 หมายถึง ดอกกัต A และ B ไม่มีค่าปฏิสัมพันธ์กับความเร็วรอบดอกกัต และชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z และระยะลึกการกัดชิ้นงานของการวิจัยนี้

การวิจัยนำผลการตรวจสอบความหยาบผิวนำมาหาค่าคำตอบความเหมาะสม (Optimization) ในโปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า ในการปรับตั้งความเร็วรอบที่ใช้ในการกัดที่ดีที่สุดของดอกกัตชนิด A และดอกกัตชนิด B คือ 1,600 รอบ/นาที เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการกัดชิ้นงานเหล็ก SS41

6. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการออกแบบการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกัด Milling Mini CNC มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล และเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองประสิทธิภาพของดอกกัต A และดอกกัต B ใช้เครื่องกัด Milling mini CNC รุ่น SCNC และเลือกใช้เหล็กอุตสาหกรรม SS41 มีความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 15.83 HRB การวิจัยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 มีปัจจัย คือ ความเร็วรอบชุดดอกกัต (End Mill) (A) ความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z (B) และระยะลึกการกัดชิ้นงาน (C) และแบ่งระดับปัจจัยเป็น ระดับต่ำ (0) และระดับสูง (1) โดยมีการออกแบบดอกกัตชนิด A มี 8 การทดลองทดลองจำนวน 3 รอบ ทั้งหมด 24 การทดลองต่อดอกกัตชนิด A และนำมาหาค่าเฉลี่ยค่าความละเอียดผิวและดอกกัต B มี 8 การทดลอง ทดลองจำนวน 3 รอบ ทั้งหมด 24 การทดลองต่อดอกกัตชนิด B และนำมาหาค่าเฉลี่ยค่าความละเอียดผิว การวิจัยได้ตั้งสมมติฐานการวิจัยไว้ 2 สมมติฐาน คือ สมมติฐานที่ 1 $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ดอกกัตชนิด A และดอกกัตชนิด B ให้ค่าความเรียบไม่แตกต่างกัน และ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ ดอกกัตชนิด A และดอกกัตชนิด B ให้ค่าความเรียบแตกต่างกัน และสมมติฐานที่ 2 $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ความเร็วรอบดอกกัต ชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z และระยะลึกการกัดชิ้นงานไม่แตกต่างกัน และ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ ความเร็วรอบดอกกัต ชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z และระยะลึกการกัดชิ้นงาน มีความแตกต่างกัน (อย่างน้อย 1 คู่) การวิจัย พบว่า การวิเคราะห์ ANOVA แบบสองทางสมมติฐานที่ 1 ได้ค่า f เปิดตาราง $f = 0.05, 1, 7 = 5.59$ และได้ค่า f จากการคำนวณ 3.72 จึงบอกได้ว่าดอกกัตชนิด A กับดอกกัตชนิด B ให้ค่าความเรียบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และสมมติฐานที่ 2 ได้ค่าความเร็วรอบดอกกัตชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z (Feed) และระยะลึกการกัดชิ้นงานมีผลต่อการกัดชิ้นงานซึ่งจากค่าคำนวณ $f = 39,244.550$ อยู่ในขอบเขตปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 การวิจัยจึงนำผลการตรวจสอบความหยาบผิวนำมาหาค่าคำตอบความเหมาะสม (Optimization) ในโปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า ในการปรับตั้ง

ความเร็วรอบที่ใช้ในการกัดที่ดีที่สุดของดอกกัดชนิด A และดอกกัดชนิด B คือ 1,600 รอบ/นาที และความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z และระยะการกัดชิ้นงาน คือ 70 เมตร/นาที เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการกัดชิ้นงานเหล็ก SS41 การหาค่าประสิทธิภาพในการกัดเหล็กอุตสาหกรรมเกรด SS41 นี้สามารถนำมาใช้ในการขึ้นรูปกับเครื่องจักรอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติ เพื่อสนับสนุนงานบำรุงรักษาในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เหล็กนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการทำงานของเครื่องกัด Milling mini CNC ได้วางแผนการทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกัดโดยการออกแบบได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA พบว่าประสิทธิภาพของการออกแบบการทดลองดอกกัดชนิด A และ ดอกกัดชนิด B ให้มีประสิทธิภาพในการกัดชิ้นงานมากขึ้น โดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบดอกกัด (End Mill) ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการกัดชิ้นงานดอกกัดเกรด B มีความละเอียดกว่าดอกกัดเกรด A และการทดลองของดอกกัด B ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่การทดลองที่ 4 โดยมีความเร็วรอบดอกกัดอยู่ที่ 1,200 รอบ/นาที ชุดความเร็วรอบของแกน X, Y และ Z อยู่ที่ 70 เมตร/นาที ระยะลึกในการกัดชิ้นงาน 1 มิลลิเมตร ใช้ระยะเวลาในการกัดชิ้นงาน 574 วินาที และค่าตรวจวัดความเรียบของผิวได้ 0.294 ไมครอน (μm) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีงานวิจัยของธเนศ รัตน์วิไล (2554) ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวโน้มการทำวิจัยที่เกี่ยวกับการหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องกัด (Milling CNC) ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต โดยกลุ่มนักศึกษาและคณะได้วิจัย เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของการกัดชิ้นงานเหล็ก SS41 ด้วยเครื่องกัด Milling mini CNC รุ่น SCNC ที่ส่งผลในการหาค่าความละเอียดของผิวชิ้นงานลักษณะทางคุณภาพ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ พื้นผิวตอบสนอง ผลการทดลองพบว่าสามารถกำหนด ค่าพารามิเตอร์สำหรับการกัดชิ้นงานที่เหมาะสมโดยที่มีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA ในการหาค่า และลักษณะทางคุณภาพตรงตามเป้าหมายผลตรวจสอบค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน ผิวชิ้นงานผลการหาค่าประสิทธิภาพในการกัดเหล็กอุตสาหกรรมเกรด SS41 นี้ เป็นแนวทางในงานบำรุงรักษาในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เหล็กนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากการสนับสนุนทุนวิจัยจากหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์ จังหวัดอุดรดิตต์ โดยอำนวยการในการจัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์ โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ผล และห้องปฏิบัติการในการดำเนินการวิจัยฉบับนี้

9. เอกสารอ้างอิง

จักรินทร์ กลั่นเงิน, และอนุเชษฐ์ พลเยี่ยม. (2558). การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตเนื้อสับหมูเหลวด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*. 5(1), 1-12.

ธเนศ รัตน์วิไล, สมชาย ชูโณม, และวิชญ์ รัตน์ะ. (2554). การพัฒนาเซลล์การผลิตอัตโนมัติ: กรณีศึกษาเครื่องกัดซีเอ็นซีและหุ่นยนต์อุตสาหกรรม. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 21(3), 549-558.

ปารเมศ ชุตินา. (2545). *การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



- สมมาตร พรหมพุ่ม, และนพรุจ เขียวนาค. (2565). การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*. 14(1), 1-14.
- สมศักดิ์ แก่นทอง, ศิวกร อ่างทอง, อนันต์ วงศ์กระจ่าง, และสฤษฎ์ เข้มเจริญ. (2550). การวิเคราะห์การออกแบบเครื่องกัดรอบสูงควบคุมด้วยระบบ CNC (รายงานการวิจัย). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- Arunkumar, P., Muthukumaran, N., Samy, M. M., Prabhu, L., & Rajeshwari, R. (2021). Investigation on the effect of process parameters in abrasive Jet Machining process using full factorial design. *Materials Today: Proceedings*, 47(15), 5395-5400.
- Hwang, H. K., & Kim, S. J. (2023). Investigation on the effective factor calculation of electropolishing using full factorial design and mechanism model by microscopic analysis for super austenitic stainless steel. *Surfaces and Interfaces*, 37(2023), 102730.
- Jankovic, A., Chaudhary, G., & Goia, F. (2021). Designing the design of experiments (DOE) - An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization of complex systems. *Energy and Buildings*, 250, 111298.
- Mustapha, A. N., Zhang, Y., Zhang, Z., Ding, Y., Yuan, Q., and Li, Y. (2021). Taguchi and ANOVA analysis for the optimization of the microencapsulation of a volatile phase change material. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 667-680.
- Myers, R. H., & Montgomery, D. C. (2018). *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments*. New York: John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C. (2018). *Design and Analysis of Experiments*. New York: John Wiley & Sons.
- Rai, U., Oluleye, G. and Hawkes, A. (2024). Stochastic optimization model to determine the optimal contractual capacity of a distributed energy resource offered in a balancing services contract to maximize profit. *Energy Reports*, 11, 5800-5818.