Engng.J.CMU.[2009] 16 (3),1-13

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การหาสภาวะการทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซี ในการสร้างต้นแบบที่ทำจากพลาสติก

Optimal Conditions of CNC Lathe for Plastic Prototyping Production

อิสรา ธีระวัฒน์สกุล และ สมพร ติ๊บขัด
Isra Teerawatsakul and Somporn Tipkad
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาสภาวการณ์ทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซี ในการสร้างต้นแบบที่ทำจากพลาสติก โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยและค่าที่เหมาะสม ที่ส่งผลต่อค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน โดยใช้มีดกลึงสำหรับกลึงอลูมิเนียม (Cutting Inserts for Aluminum – CCGT 32.50.5 FL) ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการกลึง นอกจากนี้ ยังได้วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อหาความคุ้มค่าในการนำเอาเครื่องกลึงซีเอ็นซีมาใช้ในกระบวนการสำหรับขึ้นรูปพลาสติก เพื่อสร้างต้นแบบเซรามิกทดแทนปูนปลาสเตอร์แบบเดิม

ผลจากการวิจัยนี้พบว่า มีปัจจัยหลักที่สำคัญเกี่ยวข้องด้วยกันสองปัจจัย คือ อัตราป้อน และความลึกในการกลึงตัดในแต่ละเที่ยว ผลการวิเคราะห์ ควรตั้งค่าอัตราป้อนที่ 0.1 มม./รอบ และค่าความลึกในการกลึงตัดในแต่ละเที่ยวอยู่ที่ 0.5 มม. จึงจะเหมาะสมสำหรับความหยาบผิวที่ดีที่สุด นอกจากนี้ ยังสามารถประมาณค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจากสมการถดถอย คือ $Ra = -2.65 + 3.07a + 22.2f + 0.0163v$ โดยที่ Ra คือ ค่าความหยาบผิว (ไมครอน) a คือ ความลึกในการกลึง (มม.) f คือ อัตราการป้อน (มม./รอบ) และ v คือ ความเร็วตัด (มม./นาที)

จากการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อหาความคุ้มค่าในการนำเอาเครื่องกลึงซีเอ็นซีมาใช้ในกระบวนการสำหรับขึ้นรูปพลาสติกเพื่อสร้างต้นแบบเซรามิก ให้อัตราผลตอบแทน (Rate of Return) อยู่ที่ 29.84 % ต่อปี และระยะเวลาที่คุ้มทุนมากที่สุดคือ 3.4 ปี

ABSTRACT

The research aims to study the optimal conditions of CNC turning machine for plastic prototyping production. The study employed statistical method (factorial design) for experimental design and analyzed data. This study using cutting inserts for aluminum – CCGT 32.50.5 FL. The studied factors were cutting speed, feed rate, and depth of cut. The economics analysis was performed to evaluate rate of return for investment of ceramics prototyping forming with plastic material by CNC lathe.

It was found from the experiment that the factors affecting surface roughness were feed rate, and depth of cut. The optimum cutting condition for plastic prototyping production are follows: feed rate and the depth of cut are approximately 0.1 mm/rev, and 0.5 mm, respectively. The regression model roughness prediction is $Ra = -2.65 + 3.07a + 22.2f + 0.0163v$, where Ra is surface roughness, a is the depth of cut, f is the feed rate and v is the cutting speed.

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright©by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All rights reserved

From the economic study show that using CNC lathe for plastic prototyping production has the rate of return (ROR) equal to 29.84 % per year and discount payback period (DPB) of 3.4 years.

1. บทนำ

จังหวัดลำปาง เป็นจังหวัดที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นเมืองเซรามิกส์ของไทย เนื่องจากมีแหล่งแร่ดินขาวและดินเหนียวที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเซรามิกส์รูปแบบต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร ถ้วย ชาม จาน และชุดน้ำชากาแฟ อีกทั้งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ในงานก่อสร้าง เช่น กระเบื้อง ลูกกรงโรงงาน เป็นต้น ในการนี้ ทางจังหวัดลำปางเองก็ได้มีแผนการพัฒนาจังหวัดภายใต้กรอบวิสัยทัศน์ (Vision) “Lampang : Green & Clean & Ceramic” ซึ่งได้กำหนดเป้าหมาย (Goal) การพัฒนาจังหวัดในเรื่องของเซรามิกส์ คือ เพื่อการสร้างงาน สร้างอาชีพ การกระจายรายได้ โดยส่งเสริมการพัฒนาทักษะฝีมือแรงงาน การค้าการลงทุน กระบวนการผลิต และระบบเทคโนโลยีสมัยใหม่ ด้วยการพัฒนาสินค้าให้ก้าวสู่การเป็นเมืองเซรามิกส์แห่งประเทศไทยและอาเซียน ซึ่งในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งพยายามหาวิธีการเพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของตนเอง เพื่อสามารถเพิ่มผลกำไรให้แก่บริษัทได้ ทั้งนี้ ได้มีการนำเอาเครื่องจักรกลอัตโนมัติมาช่วยในการผลิตเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตได้อย่างรวดเร็วถูกต้องและแม่นยำอีกทางหนึ่ง สำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารและของตกแต่งบ้านที่มีรูปร่างกลม เช่น แจกัน ถ้วย จานและชาม จะสร้างต้นแบบจากปูนปลาสเตอร์และกลึงแท่งปูนปลาสเตอร์ตามแบบและขนาดที่ออกแบบไว้ โดยใช้เครื่องจิ๊กเกอริ่ง (JIGGERING) ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาจมีข้อจำกัด ในเรื่องของเวลาในการผลิต ความเที่ยงตรงของขนาดและรูปร่าง การหดตัวของต้นแบบ ตลอดจนความสามารถในการแก้ไข ซึ่งจะทำได้ยากหากเกิดข้อผิดพลาด นอกจากนี้ ต้นแบบที่ทำจากปูนปลาสเตอร์ยังขาดความคงทนและเสียหายได้ง่าย

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงจะทำการศึกษาความเป็นไปได้โดยการนำเอาเครื่องกลึงซีเอ็นซี (Computer Numerical Control : CNC) มาใช้ในกระบวนการสำหรับขึ้นรูป และใช้วัสดุพลาสติกแทนปูนปลาสเตอร์ เพื่อสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ จากนั้น ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยและค่าที่เหมาะสมต่อสภาวะการทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซี ค่าผลตอบ คือ ความหยาบของผิวชิ้นงาน นอกจากนี้ ได้นำเอาระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต หรือระบบ CAD/CAM เข้ามาช่วยในกระบวนการ ทั้งนี้ เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถมองเห็นภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนการผลิตจริง อีกทั้งยังสามารถปรับแต่งแก้ไขรูปร่างเพื่อความเหมาะสม สอดคล้องกับฟังก์ชั่นการทำงานจริง ก่อนที่นำข้อมูลที่ได้แปลงสู่ระบบข้อมูลการกลึงชิ้นงาน (NC Data) สำหรับสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์จากพลาสติก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาสภาวะการทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซีในการสร้างต้นแบบที่ทำจากพลาสติก
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สำหรับการสร้างต้นแบบจากพลาสติกโดยเครื่องกลึงซีเอ็นซี

3. วิธีการศึกษาวิจัย

3.1 วิธีการสร้างต้นแบบเซรามิกส์จากปูนปลาสเตอร์

การสร้างต้นแบบจากเครื่องกลึงปูนปลาสเตอร์โดยอาศัยหลักการหมุนของแท่งปูนปลาสเตอร์ทรงกลมหรือทรงกระบอก โดยในขั้นแรก ทำการวัดขนาดของแป้นหมุนของเครื่องกลึงปูนปลาสเตอร์ว่ามีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่พอที่จะสร้างต้นแบบได้หรือไม่ ถ้าใหญ่ไม่พอ ก็ให้ทำการขยายแป้น โดยเทปูนปลาสเตอร์เพิ่มพื้นที่ให้ใหญ่ขึ้น จากนั้นใช้แผ่นพลาสติกรัดแป้นหมุนที่มีขนาดใหญ่กว่าต้นแบบที่จะสร้าง แต่ไม่ควรใหญ่มากเกินไป จะทำให้

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved

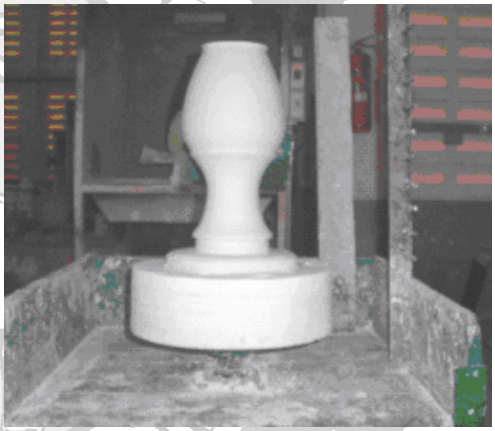
สิ้นเปลืองปูนปลาสเตอร์โดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 แสดงการรัดแผ่นพลาสติกเพื่อสร้างกรอบหล่อปูนปลาสเตอร์

ผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำ โดยคำนวณปริมาณที่ต้องใช้เทลงในแบบที่รัดไว้ เมื่อปูนปลาสเตอร์เริ่มเซ็ตตัวให้แกะแผ่นกั้นพลาสติก แล้วรีบกลึงแท่งปูนให้ได้ศูนย์ ขณะปูนยังอ่อนตัวอยู่ ซึ่งง่ายในการตั้งศูนย์ ต้องระวังอย่าขูดแท่งปูนปลาสเตอร์เข้าไปลึก เพราะจะทำให้แท่งปูนปลาสเตอร์เล็กกว่าแบบ

รูปที่ 2 แสดงการขูดแท่งปูนปลาสเตอร์

หลังจากกลึงได้ขนาด ก็ใช้ดินสอกำหนดขอบเขตที่จะทำการขึ้นรูป โดยการวัดด้วยไม้บรรทัด จากนั้นจึงทำการกลึงขึ้นรูปตามต้นแบบดังรูปที่ 3 สิ่งที่สำคัญของการขั้นต้นแบบด้วยการกลึงปูนปลาสเตอร์ด้วยใบมีด การกลึงจะต้องนิ่ง ต้นแบบไม่ส่ายไปมา หลังจากนั้น นำต้นแบบมาทำการตกแต่งด้วยกระดาษทรายเบอร์ละเอียด โดยใช้วิธีการขัดผิวขณะแป้นยังหมุนอยู่ จะช่วยให้กระดาษทรายกินเนื้อปูนปลาสเตอร์เท่าๆ กัน การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้แคลิเปอร์ (เขาควาย) จะช่วยทำให้ต้นแบบมีความใกล้เคียงกับแบบที่ออกไว้มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงต้นแบบที่กลึงจากปูนปลาสเตอร์

3.2 ระบบงาน CAD/CAM ของโปรแกรมมาสเตอร์แคม (Mastercam)

การใช้โปรแกรมมาสเตอร์แคม เป็นการผสมผสานความรู้ระหว่างคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD)

Computer Aided Design หรือคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบหรือจำลองชิ้นงานในลักษณะที่เป็นรูปทรง 3 มิติขึ้นมา ซึ่งเราอาจจะเรียกง่ายๆว่า CAD ช่วยทำให้ค้นหาจุดบกพร่อง เข้าใจรูปทรง หรือ และ ทำให้การออกแบบถูกต้อง แม่นยำมากขึ้น และยังมีความหมายครอบคลุมอยู่หลายลักษณะ อาทิเช่น

- การสร้างชิ้นงานในลักษณะ Solid แบบ 3 มิติ ที่มีรูปทรงแน่นอน
- การนำชิ้นส่วนต่างๆ เข้ามาประกอบกันจนได้ชิ้นงานใหม่

ะวิศวกรรมศาสตร์
ยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Rights Reserved

- การจำลองรูปทรงการประกอบของชิ้นงานเพื่อให้เห็นการเคลื่อนไหวขณะทำงาน

- การจำลองพื้นผิวคล้ายของจริง ไม่ว่าจะทำพื้นหยาบ หรือจำลองผิววัสดุ

การออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โดยใช้โปรแกรมมาสเตอร์แคม นับว่ามีความสำคัญมากอีกประการหนึ่ง ซึ่งต้องออกแบบตามความยากง่ายตามรูปทรงของชิ้นงาน ซึ่งถูกออกแบบมาตามความต้องการของตลาด เช่น การออกแบบที่มีความคิดสร้างสรรค์ ให้รูปทรงดูทันสมัย สวยงาม สะดุดตา และทำให้สินค้ามีคุณภาพที่ดีขึ้น ซึ่งส่วนที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จะต้องรวมอยู่ในผลิตภัณฑ์ต้นแบบก่อนที่จะทำการผลิตออกมาจริงๆ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในขั้นตอนการออกแบบ เพื่อช่วยให้การทำงานเป็นแบบอัตโนมัติรวดเร็วขึ้นและลดความผิดพลาดในการทำงาน นอกจากนั้น ยังสามารถช่วยให้ผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงานน้อย สามารถเรียนรู้ในการทำงานได้เร็วมากยิ่งขึ้น โดยคำสั่งในการทำงานของโปรแกรมจะถูกออกแบบตามขั้นตอนของการทำงานจริงในอุตสาหกรรม และยังเก็บข้อมูลของชิ้นส่วนต่างซึ่งมีใช้ตามมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถเรียกใช้งานและแก้ไขได้สะดวกรวดเร็วขึ้น

3.2.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM)

Computer Aided Manufacturing หรือ คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต ที่เรียกง่ายๆว่า CAM จะเป็นลักษณะที่นำข้อมูล CAD 3D มาแปลงเป็นข้อมูลเวกเตอร์ที่ใช้สำหรับควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี เพื่อสร้างชิ้นงานให้เป็นรูปทรงเดียวกับรูปทรง 3 มิติ ตรงกับที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบไว้ ซึ่งจะเปรียบเหมือนเป็น Output อย่างหนึ่งเพื่อนำไปสร้างชิ้นงานจริงขึ้นมา นอกจากนี้ ก็ยังมีความหมายในแง่อื่นๆ อีก อาทิเช่น

- การขึ้นรูปด้วยวิธีการ Printing Press ด้วยความดันจนได้รูปชิ้นงาน

- การทำ Die/Mold สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานในรูปแบบต่างๆ

- การกลึงและกัดชิ้นงานแบบหลายแกนในชิ้นงานที่ซับซ้อนมาก

- การใช้ระบบวงจรสำหรับนำเข้ามาสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมาก (Mass Product)

3.2.3 Process CAD/CAM

ขั้นตอนการทำ CAD/CAM มีดังนี้

(1) CAD

(2) CAM

(3) Postprocessor

CAD : เป็นขั้นตอนแรกของ CAD/CAM จุดประสงค์หลักของ CAD คือ การทำการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยต้องทำการเขียนออกแบบเพื่อใช้ศึกษาส่วนประกอบของชิ้นงาน และคำนวณหาขนาดของวัตถุดิบ (Law Material) เสียก่อนที่จะไปสู่กระบวนการถัดไป คือ CAM

CAM : CAM Program จะใช้ข้อมูล 2 อย่างที่ต้องป้อนเข้า คือ

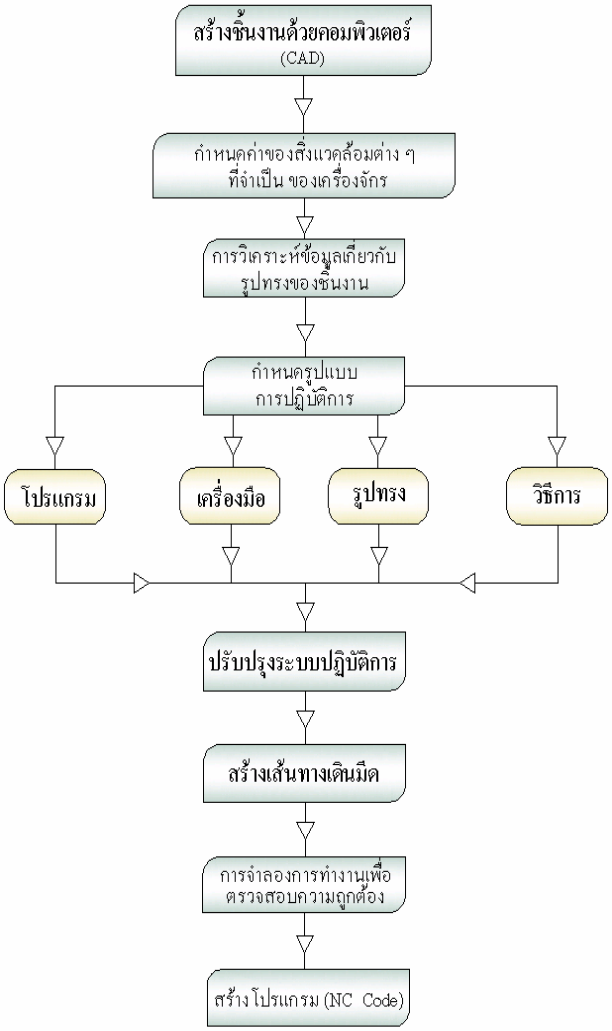
(1) รูปร่างของชิ้นงาน (Part Geometry)

(2) ข้อมูลการแปรรูป (Machining Data)

แล้ว CAM program จะทำโปรแกรมที่เรียกว่า NCI file ที่บอกข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่ง (Coordinate) ของทางเดินมีด (Cutter Path) ความเร็วรอบ (Spindle Speed) อัตราการป้อนตัด (Feed Rate) ฯลฯ

POST PROCESSOR : Post Processor จะเปลี่ยน NCI file ให้ไปเป็น NC Codes ที่เครื่องซีเอ็นซีสามารถอ่านได้ โดยเครื่องซีเอ็นซีแต่ละยี่ห้อก็จะมี NC Codes ที่แตกต่างกัน NCI file จะเป็นแค่ภาษากลางของเครื่องจักรคล้ายภาษาอังกฤษ โดยต้องมี Post Processor ซึ่งเปรียบเสมือนล่ามที่แปลภาษาอังกฤษให้เป็นภาษาท้องถิ่นแต่ละเครื่อง ตามรูปที่ 4 ได้แสดงขั้นตอนการทำ CAD/CAM

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved



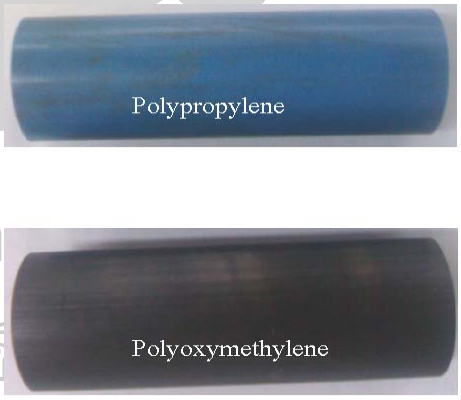
รูปที่ 4 ขั้นตอนการทำ CAD/CAM

3.3 การออกแบบการทดลอง

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบและสร้างต้นแบบโดยมุ่งเน้นลักษณะของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์บนโต๊ะอาหาร เช่น ถ้วย ชาม จาน และของตกแต่งบ้าน ดังนั้นขั้นตอนในการดำเนินงานที่ผู้วิจัยได้นำเสนอโดยประยุกต์ใช้ระบบ CAD/CAM ซึ่งสามารถที่จะลดเวลาในการสร้างต้นแบบได้ เมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในขั้นตอนของการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหารจากปูนปลาสเตอร์แบบเดิม

รูปที่ 5 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบเซรามิกส์จากปูนปลาสเตอร์

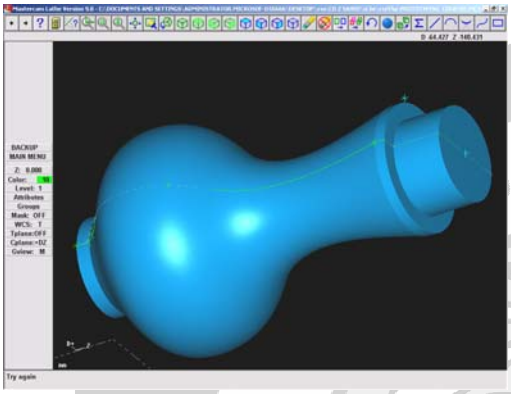
การออกแบบชิ้นงานที่มีรูปร่างสมมาตร (Symmetry) ซึ่งสามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการกลึง โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ คือ แจกัน ดังรูปที่ 5 และขึ้นรูปจากพลาสติก 2 ชนิด คือ โพลีโปรพิลีน (Polypropylene) กับโพลิออกซิเมททาลีน (Polyoxymethylene) ขนาด ∅ 35 x 54 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 6

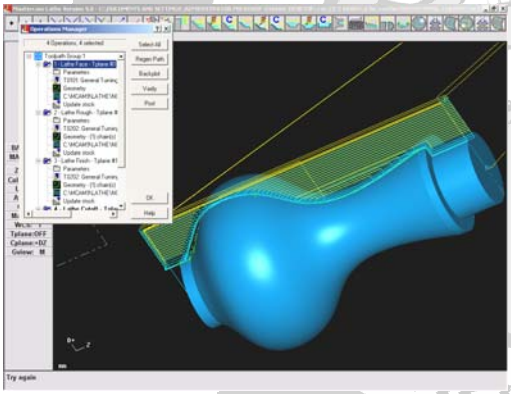


รูปที่ 6 พลาสติกสำหรับทดลองกลึงต้นแบบ

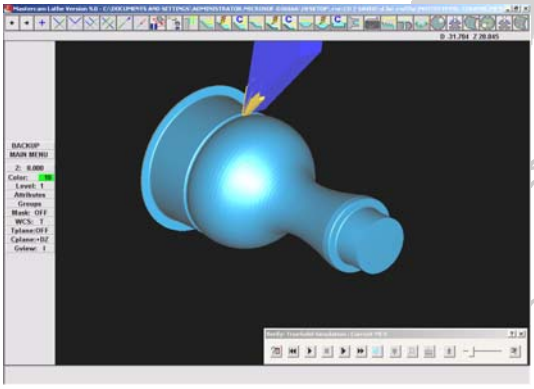
การออกแบบและการวางแผนการผลิตชิ้นงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CAD/CAM) โดยใช้โปรแกรมมาสเตอร์แคม (Mastercam) เวอร์ชั่น 9.0 ในการออกแบบและสร้างโปรแกรมสำหรับเส้นทางเดินของมีดตัด (NC - Code) ดังรูปที่ 7 รวมทั้งการจำลองการกลึง (Simulation) ดังรูปที่ 8

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University
All Rights Reserved





รูปที่ 7 การออกแบบชิ้นงาน และการสร้างเส้นทางเดินของมีดตัด (CAD/CAM)

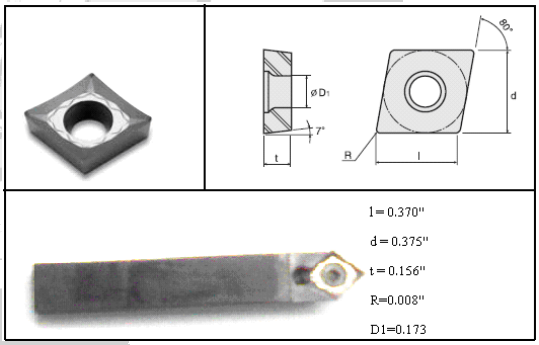


รูปที่ 8 การจำลองการกลึง (Simulation)

กลึงขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบโดยเครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Lathe) ยี่ห้อ OKUMA & HOWA รุ่น ACT – 20 ระบบควบคุม (Control) FANUC : SERIES 18 – T ดังรูปที่ 9 ที่สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาคเหนือตอนบน จังหวัดลำปาง

รูปที่ 9 เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Lathe)

ใช้มีดกลึงสำหรับกลึงอลูมิเนียม (Cutting Inserts for Aluminum – CCGT 32.50.5 FL) ในการทดลอง



รูปที่ 10 มีดกลึงที่ใช้ในการทดลองกลึงขึ้นรูปต้นแบบ

ระดับขอบเขตของปัจจัย (พารามิเตอร์) สำหรับการกลึงขึ้นรูปโดยใช้ปัจจัยที่สำคัญตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงค่าขอบเขตและปัจจัยที่สนใจศึกษา

พารามิเตอร์/หน่วย	ระดับการตั้งค่า		สัญลักษณ์
	ระดับต่ำ	ระดับสูง	
1) ความลึกของใบมีด (มม.)	0.5	1	a
2) อัตราการป้อน (มม./รอบ)	0.1	0.2	f
3) ค่าความเร็วตัด (ม./นาที)	100	120	v

โดยระดับของแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-) และระดับสูง (+) ผู้วิจัยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) แบบ 2^k

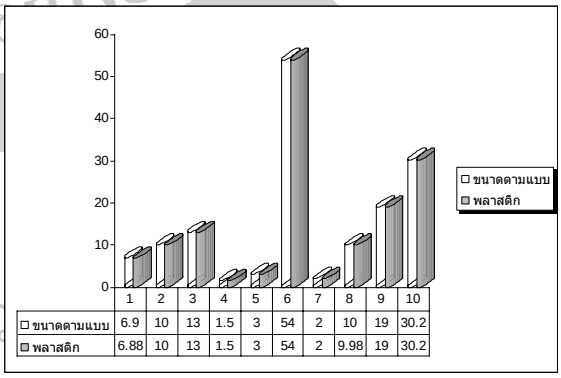
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved

หรือการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ของพลาสติกแต่ละชนิด (2 ชนิด) เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลการทดลอง ซึ่งมีจำนวนการทดลอง 32 การทดลอง

รูปที่ 11 การกลึงโดยเครื่องกลึงซีเอ็นซี

รูปที่ 12 ชิ้นงานสำเร็จ

รูปที่ 14 แสดงการวัดขนาดชิ้นงานโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

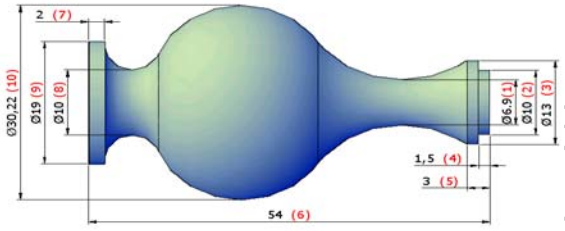


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ขนาดตามแบบ	6.9	10	13	1.5	3	54	2	10	19	30.2
พลาสติก	6.88	10	13	1.5	3	54	2	9.98	19	30.2

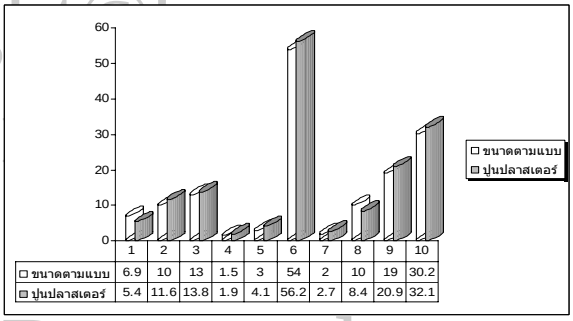
รูปที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบขนาดชิ้นงานพลาสติกกับขนาดจริงตามแบบ

3.4 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

โดยเปรียบเทียบเวลาระหว่างการผลิตแบบดั้งเดิมกับวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี และเปรียบเทียบขนาดความแตกต่างของชิ้นงานระหว่างการผลิตแบบดั้งเดิมกับวิธีการขึ้นรูปโดยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ซึ่งขนาดของชิ้นงานได้กำหนดตามรูปที่ 13



รูปที่ 13 ลักษณะแบบชิ้นงาน



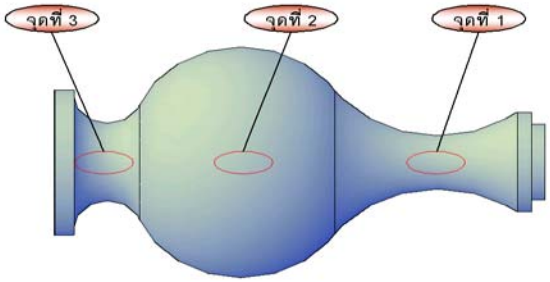
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ขนาดตามแบบ	6.9	10	13	1.5	3	54	2	10	19	30.2
ปูนปลาสเตอร์	5.4	11.6	13.8	1.9	4.1	56.2	2.7	8.4	20.9	32.1

รูปที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบขนาดชิ้นงานปูนปลาสเตอร์กับขนาดจริงตามแบบ

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© Faculty of Engineering Chiang Mai University
All rights Reserved

จากรูปที่ 15 ซึ่งได้แสดงการเปรียบเทียบขนาดชิ้นงานพลาสติกที่ขึ้นรูปโดยเครื่องกลึงซีเอ็นซีกับขนาดกำหนดตามแบบ พบว่า ขนาดที่วัดได้นั้นคลาดเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดเพียง 0.066% และในรูปที่ 16 ได้เปรียบเทียบขนาดชิ้นงานปูนปลาสเตอร์ที่ขึ้นรูปโดยเครื่องจิ๊กเกอริ่งกับขนาดกำหนดตามแบบ พบว่า ขนาดที่วัดได้นั้นคลาดเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดถึง 4.99%

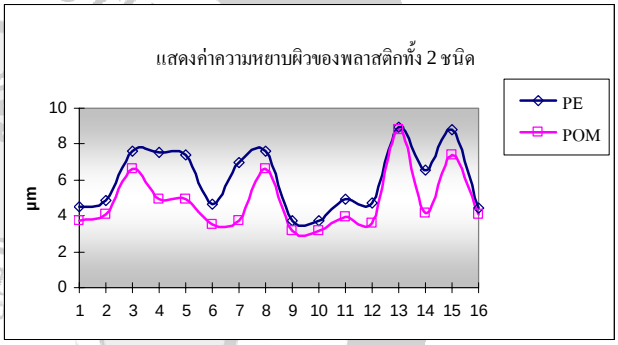
การวัดค่าความหยาบของผิวชิ้นงานจากพลาสติกทั้ง 2 ชนิด โดยวัดบริเวณผิวขอบด้านบน ตรงกลาง และบริเวณฐานล่าง ดังรูปที่ 17 โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 19 และรูปที่ 20



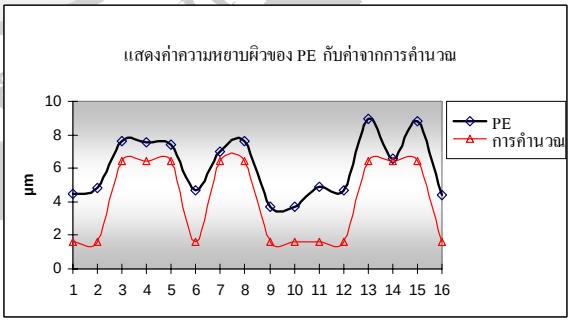
รูปที่ 17 แสดงตำแหน่งวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

รูปที่ 18 การวัดค่าด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวชิ้นงาน (Mitutoyo Surftest SJ - 400)

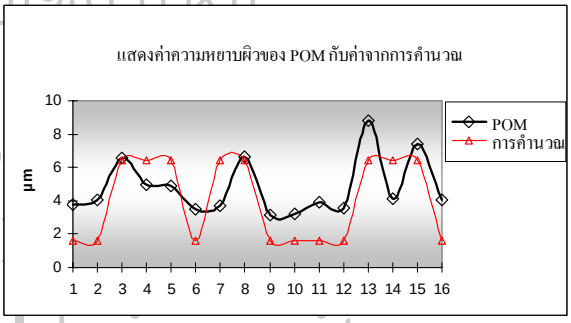
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทบ เพื่อหาผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจากการทดลอง



รูปที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบความหยาบผิวของ PE กับ POM

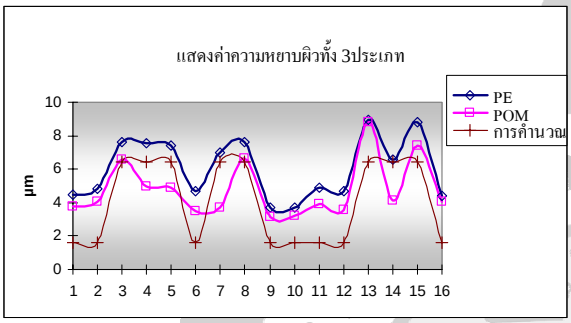


รูปที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบความหยาบผิวของ PE กับค่าจากการคำนวณ

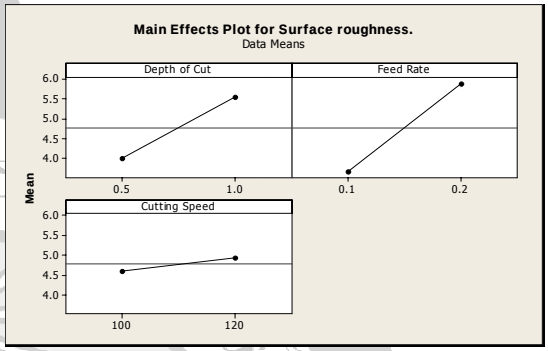


รูปที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบความหยาบผิวจากการวัดด้วยเครื่อง กับค่าจากการคำนวณ

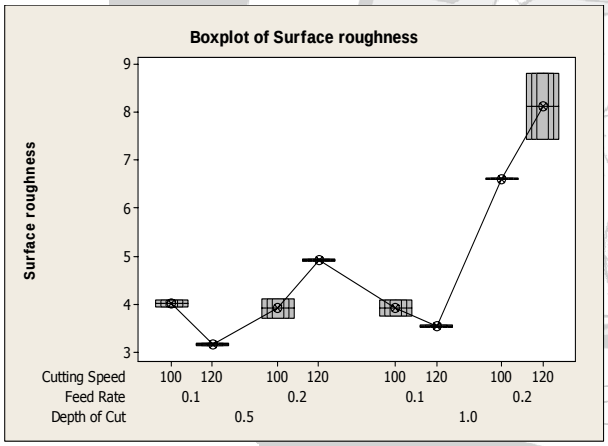
ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University
All Rights Reserved



รูปที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบความหยาบผิวทั้ง 3 ประเภท



รูปที่ 24 กราฟของผลกระทบหลักของปัจจัย a, f และ v ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น



รูปที่ 23 แสดงการพล็อตค่าแบบแผนภูมิสี่เหลี่ยม (Box Plot) ของข้อมูลจากการทดลอง

จากรูปที่ 23 พบว่า อัตราป้อนเป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน กล่าวคือ หากอัตราป้อนสูง ค่าความหยาบผิวก็จะสูงตาม และหากอัตราป้อนต่ำค่าความหยาบของผิวก็จะน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเบื้องต้น และจากการทดลองสามารถหาค่าที่เหมาะสมได้ คือ เลือกใช้ค่าความลึกที่ 0.5 มม. ค่าอัตราป้อน 0.1 มม./รอบ และค่าความเร็วตัด 120 มม./นาที จึงจะทำให้ได้ค่าความหยาบของผิวงานน้อยที่สุด

3.5 การสร้างแบบพิมพ์ (Casting Mold) จากต้นแบบพลาสติก

ซึ่งจะทำการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อ (Slip Casting) และทดลองผลิตชิ้นงานจากแบบพิมพ์นี้โดยใช้สถานที่เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ ที่ภาควิชาเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ดังแสดงในรูปที่ 25 และรูปที่ 26

รูปที่ 25 แสดงการสร้างกรอบกั้นแบบพิมพ์ด้วยไม้

ที่สำคัญ หลังจากลากเส้นแบ่งครึ่งรอบแนวตัวต้นแบบแล้ว จะต้องใช้น้ำสบู่ทาป้องกันต้นแบบก่อน เพื่อป้องกันปูนปลาสเตอร์เกาะติดแน่น ซึ่งจะทำให้แกะแบบแม่พิมพ์ได้ยาก เนื่องจากต้นแบบที่ทำจากพลาสติกมีผิวมันในตัวของมันเองอยู่แล้ว และยังไม่ดูดซับความชื้น จึงไม่จำเป็นต้องทาน้ำสบู่หลายครั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright©by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Rights Reserved

รูปที่ 26 แสดงการตกแต่งผิวหน้าแบบพิมพ์ชิ้นแรก

ทำการตกแต่งผิวตามแนวแบ่งครึ่งให้เรียบ แล้วนำไปทาน้ำสบู่เพื่อเตรียมเทแบบพิมพ์ชิ้นที่ 2

รูปที่ 27 แสดงแบบพิมพ์ที่เทเสร็จแล้ว พร้อมทั้งตกแต่งผิวและลบคมทุกด้าน

หลังจากเทแบบพิมพ์ชิ้นที่ 2 แล้ว และได้ตกแต่งผิวโดยรอบให้เรียบและลบคมขอบของแบบพิมพ์ทุกด้าน เมื่อปูนปลาสเตอร์เซตตัวแล้ว จึงแกะแบบพิมพ์ออกโดยใช้ค้อนยางเคาะเบาๆ เพื่อแยกแบบพิมพ์ทั้ง 2 ออกจากกัน และทำการตกแต่งปูนปลาสเตอร์ส่วนที่เกินออก

รูปที่ 28 แสดงแบบพิมพ์ที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว

หลังจากได้แบบพิมพ์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้วตามรูปที่ 28 และต้องนำไปตากแดดให้แห้งก่อนจึงจะสามารถนำไปใช้งานเพื่อการขึ้นรูปด้วยการหล่อได้ ส่วนต้นแบบจากพลาสติกนั้น สามารถนำไปสร้างแบบพิมพ์ได้เรื่อยๆ เนื่องจากมีความแข็งแรงคงทนกว่าปูนปลาสเตอร์แบบเดิมมาก

4. การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนนำเครื่องกลึงซีเอ็นซีเพื่อสร้างต้นแบบเซรามิกส์ ด้วยวัสดุพลาสติกทดแทนปูนปลาสเตอร์แบบเดิม โดยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

- โดยการประเมินทางเลือกระหว่างวิธีการเดิมกับวิธีการใหม่ที่ใช้เครื่องซีเอ็นซี ซึ่งจะวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงิน และการวิเคราะห์การทดแทนทรัพย์ (Replacement Analysis)

การสร้างต้นแบบเซรามิกส์ประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารและอุปกรณ์ของตกแต่งบ้าน โดยมีทางเลือกสำหรับการผลิต 3 แนวทาง คือ

1. ใช้วิธีการสร้างแบบดั้งเดิม ซึ่งจะใช้เครื่องมือกลึงที่สร้างขึ้นเองสำหรับกลึงปูนปลาสเตอร์บนแท่นหมุน (Jiggering) ให้เกิดรูปร่างตามต้องการ
2. สร้างต้นแบบด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี โดยการลงทุนซื้อเครื่องกลึงซีเอ็นซีและนำมาผลิตเอง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
คณะวิศวกรรมศาสตร์
Copyright© by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Rights Reserved

3. สร้างต้นแบบด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี โดยการจ้างบริษัทจากภายนอกผลิตให้

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและรายได้ของวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ

รายการ	วิธีการผลิต		
	แบบดั้งเดิม (บาท)	ซื้อเครื่องจักรผลิตเอง (บาท)	จ้างผลิต (บาท)
ลงทุนขั้นต้น	ราคาเครื่อง Jiggering 42,000 เครื่องมือกลึงขึ้นรูป 2,000	เครื่องกลึงซีเอ็นซี รุ่น SUPER KIATURN21 CNC, KIA Fanuc Oi-TB 1,200,000	-
ค่าใช้จ่ายต่อปี	25,000	55,000	500,000
มูลค่าซาก	1,000	200,000	-
อายุ (ปี)	8	8	8

(แหล่งที่มา : ระบบออนไลน์และจากการสำรวจข้อมูลบริษัท ควอลิตี้เซรามิกส์ ลำปาง : 2551)

จากตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและรายได้ของวิธีการผลิต โดยเปรียบเทียบระหว่างการผลิตแบบดั้งเดิม แบบซื้อเครื่องจักรมาผลิตเอง และแบบจ้างผลิต โดยกำหนดอายุการใช้งานอยู่ที่ 8 ปี (ตามรายละเอียดของกรมบัญชีกลาง ที่กำหนดค่าเสื่อมราคามูลค่าทรัพย์สินอัตราค่าเสื่อมราคาทรัพย์สินไว้ในหลักการและนโยบายบัญชีภาครัฐฉบับที่ 1)

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยและค่าที่เหมาะสมต่อสภาวะการทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซีในการสร้างต้นแบบจากพลาสติก

จากผลการทดลองที่ทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) แบบ 2^k หรือการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ว่า ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน โดยทำการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการวิเคราะห์สมการถดถอย ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) ปัจจัยอัตราป้อน (Feed Rate) ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเป็นอย่างมาก และรองลงมา คือ ความลึกในการกลึงตัดในแต่ละเที่ยว (Depth of Cut) ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเล็กน้อย ส่วนค่าความเร็วตัด (Cutting Speed) ไม่ส่งผลต่อค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน

2) จากการทดลอง ค่าที่เหมาะสมสำหรับค่าความหยาบผิวที่ดีที่สุด ควรตั้งค่าอัตราป้อนที่ 0.1 มม./รอบ ค่าความเร็วตัดที่ 120 ม./นาที และค่าความลึกในการกลึงตัดในแต่ละเที่ยวอยู่ที่ 0.5 มม. ทั้งนี้ อาจต้องพิจารณาในเรื่องของเวลางานด้วย เพราะหากความละเอียดของผิวงานยิ่งมาก ก็จำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการกลึงที่นานขึ้นด้วย

3) จากผลการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอย สามารถสร้างสมการเพื่อใช้ในการประมาณค่าความหยาบผิวของชิ้นงานได้ดังนี้

$$Ra = - 2.65 + 3.07a + 22.2\ f + 0.0163\ v$$

โดยที่ Ra คือ ค่าความหยาบผิว (ไมครอน) a คือ ความลึกในการกลึง (มม.) f คือ อัตราการป้อน (มม./รอบ) และ v คือ ความเร็วตัด (มม./นาที)

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมโดยศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนนำเครื่องกลึงซีเอ็นซีเพื่อสร้างต้นแบบเซรามิกส์ด้วยวัสดุพลาสติกทดแทนปูนปลาสเตอร์แบบเดิม การคำนวณเปรียบเทียบที่เงินลงทุนโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (Present worth – comparison equal lived alternatives) จากทางเลือกทั้ง 3 แบบ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ตามตารางที่ 3 ต่อไปนี้ (อัตราดอกเบี้ย 10 % ต่อปี)

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน

รูปแบบการผลิต	**เงินลงทุน** (วิเคราะห์ด้วยวิธีมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน)
ใช้วิธีการสร้างแบบดั้งเดิม ใช้แท่นหมุน (Jiggering)	-176,908.5 บาท
สร้างต้นแบบด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี	-1,400,125 บาท
สร้างโดยการจ้างบริษัทจากภายนอกผลิต	-2,667,500 บาท

จะเห็นได้ว่า ทางเลือกสำหรับแบบแรกใช้ต้นทุนน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีการดั้งเดิม และไม่ได้นำเอาเทคโนโลยีใหม่ที่ทันสมัยมาใช้ในการผลิต จึงไม่ถือว่าเป็นการพัฒนา แต่ในความเป็นจริง เนื่องจากการผลิตงานเซรามิกส์ของแต่ละบริษัทนั้นอาจจะมีความแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ บางครั้งอาจจะไม่เน้นในเรื่องของขนาดหรือความเที่ยงตรง แต่จะเน้นความสวยงาม ประหยัดหรืองานที่ทำด้วยมือ ก็อาจไม่จำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องจักร แต่หากต้องการที่จะพัฒนาองค์กรให้มีศักยภาพในการแข่งขันทางการค้ากับตลาดสากลแล้ว เห็นสมควรอย่างยิ่งที่จะต้องนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้นแนวทางในทางเลือกการผลิต ควรจะเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย ซึ่งอาจจะต้องดูแฟกเตอร์หรือพิจารณาในปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องด้วย และถ้าหากจะพิจารณาในเรื่องของคุณภาพทางเลือกที่สอง คือ ลงทุนซื้อเครื่องจักรมาผลิตเอง โดยใช้เงินลงทุนซื้อเครื่อง 1,200,000 บาท ใช้งานได้ 8 ปี มีมูลค่าซากประมาณ 200,000 บาท หากใช้แล้ว คาดว่าจะมีรายได้จากการผลิตของเครื่องซีเอ็นซีดังกล่าวประมาณปีละ 400,000 บาท หากคิดอัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ดังนั้น ระยะเวลาที่คุ้มทุนมากที่สุด คือ 3.4 ปี และให้อัตราผลตอบแทน (Rate of Return) อยู่ที่ 29.84% ต่อปี ซึ่งสูงกว่าค่า MARR ซึ่งกำหนดไว้ คือ 10% ต่อปี และทั้งนี้ เพื่อให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าต่อการลงทุน การใช้เครื่อง จำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องอย่างเต็มประสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] กฤษดา อัศวรุ่งแสงกุล "การปรับปรุงคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง" กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

[2] *"การทำต้นแบบปูนปลาสเตอร์โดยวิธีกลึง" [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dss.go.th (28 ธันวาคม 2550)*

[3] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น). พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ : 2550.

[4] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น). พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ : 2545.

[5] *"คุณสมบัติของพลาสติก" [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://course.eau.ac.th (12 ธันวาคม 2550)*

[6] ทวีป จีระประดิษฐ "การศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขการแปรรูปโลหะในกรรมวิธีอีดีเอ็ม" กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved

[7] ธวงษ์ พิศแก้ว และ ผศ.ดร.อรรถกร เก่งพล “การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนนำเครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Lathe) เพื่อกลึงหัวกดขึ้นรูป (Roller Head) ทดแทนเครื่องกลึงลอกแบบ (Copy Lathe) แบบเก่า เพื่อลดรอบเวลาในการผลิต”, 2547.

[8] บรรเลง ศรนิล และ สมนึก วัฒนศรียกุล. ตารางคู่มืองานโลหะ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549

[9] บริษัท ควอลิตี้เซรามิก จำกัด.จังหวัดลำปาง, 2551 การติดต่อส่วนตัว

[10] บริษัท ยูเทค โปรเฟสชั่นแนล จำกัด. Computer Software, 528 MB, disk

[11] ปราเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545

[12] พงษ์พันธ์ ราชภักดี และ เฉลิมพล คล้ายนิล “อิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสเตนเลส AISI316 ด้วยใบมีดคาร์ไบด์ที่มีผลต่อการสึกหรอใบมีดตัดและความขรุขระของพื้นผิว” ประจวบคีรีขันธ์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, 2550

[13] ไพบูลย์ แย้มเพื่อน. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548

[14] ลำปางเซรามิกส์. (2538-2539) สมาคมเครื่องปั้นดินเผา.

[15] ลำปางเซรามิกส์. (2547) 30 ปี สมาคมเครื่องปั้นดินเผาลำปาง.

[16] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของงานกัดตัวอักษรบนไม้ยางพาราด้วยเครื่องกัดควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์” สงขลา: มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2550

[17] วัสสนัย วรรธนัจฉริยา. เอกสารประกอบการสอน. “Modern Product and Industrial System”, 2548.

[18] สมเกียรติ เคนผาพงศ์ และ อิทธิพร ประไพวรรณ์กุล. คู่มือการใช้โปรแกรมมาสเตอร์แคม งานกลึง. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2550.

[19] สมบัติ ชิวหา. พื้นฐานเทคโนโลยี CNC. ศูนย์หนังสือพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.

[20] สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาคเหนือตอนบนจังหวัดลำปาง, 2551. การติดต่อส่วนตัว

[21] B. Jurisevic, K.C. Heiniger, K. Kuzman, M. Junkar, Incremental sheet metal forming with a high-speed water jet, in: K. Kuzman (Ed.), IDDRG 2003 Conference, 11–14 May 2003, Bled, Slovenia. Conference Proceedings. TECOS, Slovenian Tool and Die Development Centre, Celje, 2003, pp. 139 – 148

[22] *“Ceramic Artists” 2006 [ระบบออน ไลน์]. แหล่งที่มา http://clementproductions.com/vips1.htm (10 ธันวาคม 2550)*

[23] Connection Computer Software. Mastercam Software, 2008

[24] D. Leach, A.J. Green, A.N. Bramley, A new incremental forming process for small batch and prototype parts, in: Proceedings of the Ninth International Conference on Sheet Metal, Leuven, 2001.

[25] Durmus Karayel, (2008). (Prediction and Control of Surface Roughness in CNC Lathe using Artificial Neural Network)

[26] *“Dynamic Ceramic” 2007 [ระบบออน ไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dynacer.com/slip_casting.htm (2 ธันวาคม 2550)*

[27] H. Iseki, An approximate deformation analysis and FEM analysis for the incremental bulging of sheet metal using a spherical roller, J. Process. Technol. 111 (2001) 150–154

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Rights Reserved