

การเปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD กับเม็ดมีดกลึงเซอรเมท ในกระบวนการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304

Worth Comparison of PVD-Coated Carbide and Cermet Cutting Tools in Turning Process of AISI/SUS 304 Stainless Steel

สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์ (Sujin Wootichaiwat)*

พงศ์ธร จันทร์สุขจำเริญ (Pongtorn Jansukjumroen)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD กับเม็ดมีดกลึงเซอรเมท ในกระบวนการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 โดยทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการกลึงที่ทำให้ค่าความหยาบผิวอยู่ระหว่าง 0.2 – 1.0 ไมครอน ด้วยวิธี Central Composite Design (CCD) และประมาณอายุการใช้งานของเม็ดมีดกลึงทั้ง 2 ชนิด ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ความเร็วตัด (Cutting speed) อัตราป้อน (Feed rate) และระยะลึกป้อน (Depth of cut) จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวกับเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD คือ อัตราป้อนกำลังหนึ่ง และอัตราป้อนกำลังสอง ในขณะที่ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวกับเม็ดมีดกลึงเซอรเมท คือ อัตราป้อนกำลังหนึ่ง อัตราป้อนกำลังสอง และระยะลึกป้อนกำลังสอง นอกจากนี้เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD มีความคุ้มค่าในการเลือกใช้งานมากกว่าเม็ดมีดกลึงเซอรเมท เนื่องจากสามารถกลึงงานได้ยาวกว่าประมาณ 2,686 มิลลิเมตร และมีต้นทุนถูกกว่าประมาณ 19.62%

คำสำคัญ: เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD, เม็ดมีดกลึงเซอรเมท, กระบวนการกลึง, การเปรียบเทียบความคุ้มค่า, เหล็กกล้าไร้สนิม

* อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ADVISORS: Department of Industrial Engineering and Management, Silpakorn University.

Email: sujinvoot@yahoo.com

** นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

M.Eng. Engineering Management, Silpakorn University. Email: j_pongtorn@yahoo.com

Abstract

The aim of this research was to compare the worth between PVD-coated carbide and cermet cutting tools in turning process of AISI/SUS 304 stainless steel. The optimum turning conditions for the surface roughness between 0.2 and 1.0 micron were statistically experimented by Central Composite Design (CCD) and regression analysis. The observed factors are cutting speed, feed rate, and depth of cut. The results showed that the factors affecting the surface roughness in turning process using PVD-coated carbide cutting tool were feed rate and feed rate squared, while the factors of using cermet cutting tool were feed rate, feed rate squared, and depth of cut squared. Furthermore, PVD-coated carbide cutting tool was worth more than cermet cutting tool because of its longer turning length of 2,686 millimeter and its lower tooling cost of 19.62%.

Keyword: PVD-coated carbide cutting tool, Cermet cutting tool, Turning, Worth comparison, Stainless steel.

บทนำ

มีดกลึง (Cutting tool) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในกระบวนการกลึงด้วยเครื่องกลึง CNC โดยมีดกลึงจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ด้ามมีดกลึง (Tool holder) และ เม็ดมีดกลึง โดยเม็ดมีดกลึงจะมีการเปลี่ยนอยู่เป็นประจำเนื่องจากการสึกหรอ ที่จะส่งผลให้ค่าความหยาบผิวมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งจะต้องมีขั้นตอนแก้ไขเพิ่มขึ้นมาคือ การขัดเงา ที่ทำให้เกิดผลเสียกับชิ้นงานในด้านการควบคุมขนาด ความสม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน ทั้งยังเป็นการเพิ่มเวลาในการผลิต และวัสดุหลักกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 เป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติทนต่อการเกิดสนิม สารเคมี และความชื้น เหมาะแก่การใช้เป็นวัสดุสำหรับจัดทำอะไหล่ต่างๆขึ้นมาเพื่อทดแทนอะไหล่ของเครื่องจักรมีการสึกหรอจากอายุการใช้งาน จากตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทยพบว่าเม็ดมีดกลึงที่มีจำหน่ายได้แก่ เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD และเม็ดมีดกลึงเซรามิก แต่เนื่องจากไม่มีข้อมูลค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการกลึงวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS304 งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาหาความหยาบผิวที่ดีที่สุดอายุการใช้งาน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเม็ดมีดกลึงทั้งสองชนิดนี้ เพื่อการเลือกใช้งานที่เหมาะสม

การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiments; DOE) เป็นการนำวิธีทางสถิติมาประยุกต์เพื่อใช้ในการหาค่าสภาวะของกระบวนการ ที่ให้ผลตอบสนองที่มีประสิทธิภาพ ได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิว และการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมได้ โดยเลือกใช้วิธีการ Central Composite Design (CCD) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบ แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full factorial design) ซึ่งเป็นเครื่องมือออกแบบการทดลองเบื้องต้นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย วิธี CCD เป็นอีกวิธีที่สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของระบบหรือกระบวนการผลิตได้ (ประไพศรี และคณะ, 2551) โดยศึกษากระบวนการที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Quadratic relationship) เช่นเดียวกัน แต่ใช้ตัวอย่างการทดลองที่น้อยกว่า เช่นในการออกแบบการทดลอง 3 ปัจจัย วิธี Full factorial design จะใช้การทดลองทั้งหมด $3^3 = 27$ การทดลอง

แต่วิธี CCD จะใช้การทดลองเพียง 16 การทดลอง โดยประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1) Factorial points 2) Axial points และ 3) Center points (จรัล, 2552) ซึ่งทั่วไปใช้ 3 – 6 จุดโดยในงานวิจัยนี้จะใช้จำนวน 3 จุด สำหรับการวิเคราะห์ (Camposeco, 2014) และศึกษา 3 ปัจจัยหลัก คือ ความเร็วตัด (Cutting speed), อัตราป้อน (Feed rate), และระยะลึกป้อน (Depth of cut) ในการออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์การถดถอย และวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Metrology, RSM) ค่าความหยาบผิวได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (บุญเรือง, 2550; อัจฉรา, 2550; ปรัชพร และคณะ, 2559; อังค์ศิริ และคณะ, 2559; และศิริวัลย์ และคณะ, 2554)

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างเม็ดมิลดคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD กับเม็ดมิลเซอร์เมท ในกระบวนการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 โดยจะศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิว และหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าความหยาบผิวที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 – 1.0 ไมครอน โดยปัจจัยที่ศึกษาจะประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะลึกป้อน โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง CCD ในการหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว และค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ช่วยลดเวลา และของเสียจากการผลิตที่ไม่ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมลงได้ จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบอายุการใช้งานของเม็ดมิลดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD กับเม็ดมิลดกลึงเซอร์เมท ด้วยการใช้การวิเคราะห์การถดถอย เพื่อหาความคุ้มค่าของเม็ดมิลดกลึง

วิธีการวิจัย

1. วัสดุ อุปกรณ์และ สารเคมี

1.1 ชิ้นงานตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ใช้เหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 110 มิลลิเมตร และทำการเจาะยูนิตท้ายที่ชิ้นงานทุกชิ้น ดังรูปที่ 1 และส่วนประกอบทางเคมีดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดของชิ้นงานตัวอย่างในการทดลองทั้ง 2 การทดลอง

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304

Element	Composition (%)	Element	Composition (%)
Carbon	0.08% max.	Silicon	1.00% max.
Manganese	2.00% max.	Chromium	18.00-20.00%
Phosphorus	0.045% max.	Nickel	8.00-10.50%
Sulfur	0.030% max.		

1.2 เครื่องกลึงอัตโนมัติ CNC ยี่ห้อ MAZAK รุ่น QuickTurn NEXUS 150-II ความเร็วรอบสูงสุด 5,000 รอบต่อนาที 20 แรงม้า และหัวจับขนาด 8 นิ้ว

1.3 เครื่องวัดความหยาบผิว ยี่ห้อ Mahr รุ่น MarSurf PS1 มีความละเอียดในการวัด 0.001 ไมครอน ระยะในการวัดครั้งละ 17.50 มิลลิเมตร โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดเพื่อบอกถึงความหยาบผิวคือ average roughness (Ra) มีหน่วยเป็นไมครอน

1.4 เครื่องมือวัด เวอร์เนีย ยี่ห้อ Mitutoyo มีช่วงในการวัด คือ 0 – 200 มิลลิเมตร และความละเอียดในการวัด คือ 0.05 มิลลิเมตร

1.5 สารหล่อเย็น ยี่ห้อ Houghton เบอร์ Adrana D208.08 ผสมน้ำในอัตราส่วน สารหล่อเย็น 1 ส่วน ต่อน้ำ 20 ส่วน

1.6 มีดกลึง ใช้มีดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD ยี่ห้อ CERATIZIT รัศมีมุมมีด 0.4 มิลลิเมตร และมีดมีดกลึงเซอร์เมท ยี่ห้อ MITSUBISHI รัศมีมุมมีด 0.4 มิลลิเมตร

2. การออกแบบการทดลอง

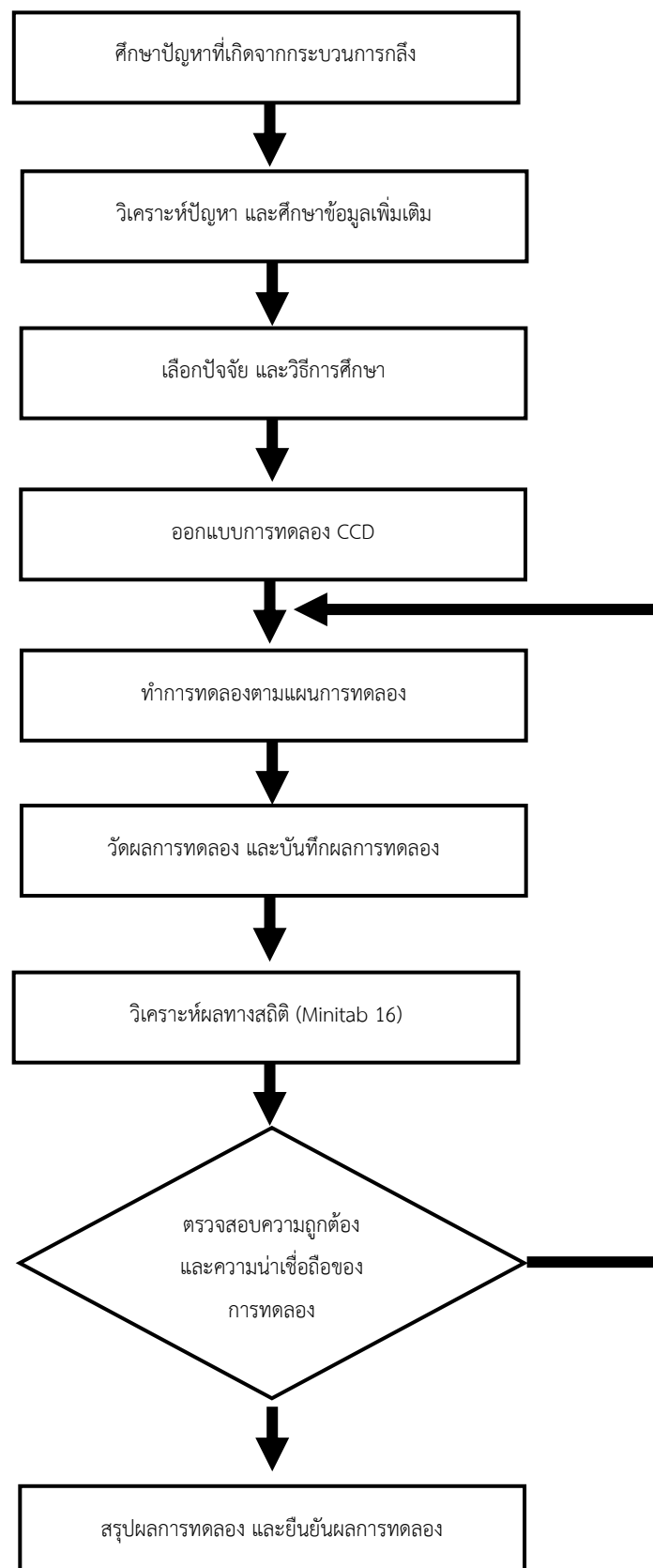
การออกแบบการทดลอง CCD จำนวน 2 การทดลอง ระหว่างมีดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD และมีดมีดกลึงเซอร์เมท เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 และหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการกลึง ใช้จำนวนตัวอย่างการทดลอง 34 ขึ้นต่อ 1 การทดลอง ได้ผลของปัจจัย และค่าระดับปัจจัยของการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2(ก) และตารางที่ 2(ข) โดยแผนผังขั้นตอนการดำเนินการทดลองแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 2(ก) ค่าระดับปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาของมีดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD

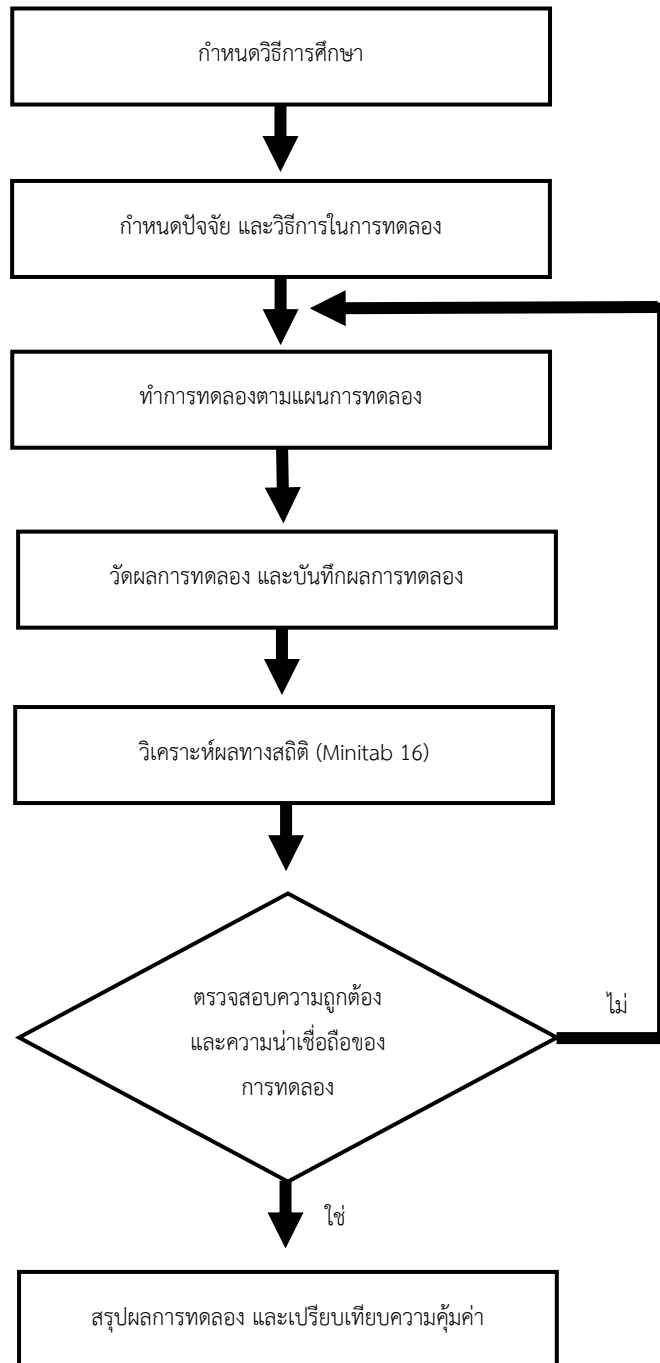
ปัจจัย	ค่าระดับปัจจัย					หน่วย
	1	2	3	4	5	
ความเร็วตัด	100	124	160	195	219	เมตรต่อนาที
อัตราป้อน	0.06	0.09	0.13	0.17	0.20	มิลลิเมตรต่อรอบ
ระยะลึกป้อน	0.20	0.28	0.40	0.52	0.60	มิลลิเมตร

ตารางที่ 2(ข) ค่าระดับปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาของมีดมีดกลึงเซอร์เมท

ปัจจัย	ค่าระดับปัจจัย					หน่วย
	1	2	3	4	5	
ความเร็วตัด	120	136	160	184	200	เมตรต่อนาที
อัตราป้อน	0.09	0.11	0.15	0.18	0.20	มิลลิเมตรต่อรอบ
ระยะลึกป้อน	0.50	0.70	1.00	1.30	1.50	มิลลิเมตร



รูปที่ 2 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลองเพื่อหาปัจจัย และหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการกลึง



รูปที่ 3 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาความคุ้มค่าในการเลือกใช้ชนิดเม็ดมีดกลึง

3. การทดลองเพื่อวิเคราะห์หาความคุ้มค่า

การทดลองเพื่อวิเคราะห์หาความคุ้มค่าในการเลือกใช้ชนิดเม็ดมีดกลึง ระหว่างเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD กับเม็ดมีดกลึงเซรามิก โดยแผนผังขั้นตอนการดำเนินการทดลองแสดงในรูปที่ 3

4. การวัดค่าความหยาบผิว (Surface roughness testing)

นำชิ้นงานที่ผ่านการกลึงตามค่าระดับปัจจัยที่กำหนดมาวัดหาค่าความหยาบผิว Ra ในการวัดค่าความหยาบผิวแต่ละชิ้นงานจะวัด 2 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งจะทำการหมุนชิ้นงานประมาณ 120° ตำแหน่งแรกจะห่างจากปลายประมาณ 5 มิลลิเมตร และตำแหน่งที่ 2 ห่างจากขอบด้านในประมาณ 5 มิลลิเมตร

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA), การวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล (Data distribution analysis), การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) และการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมของเม็ดมีดกลึงทั้ง 2 ชนิด

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองในทุกปัจจัย โดยในการออกแบบการทดลองแบบ CCD นี้ได้แก่ ปัจจัยหลักกำลังหนึ่ง ปัจจัยหลักกำลังสอง และปัจจัยร่วมกำลังหนึ่ง โดยดูจากค่าความสำคัญที่ $P\text{-value} < 0.05$

การวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลประกอบด้วย การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และความเสถียรความแปรปรวนในแต่ละระดับปัจจัย (Variance stability)

การวิเคราะห์การถดถอย ในรูปแบบสมการถดถอยใช้สำหรับพยากรณ์ค่าตอบสนองในระดับปัจจัยต่างๆ ที่ทำการทดลอง

การหาค่าที่เหมาะสมใน Minitab 16 เป็นการหาค่าที่ทำให้ค่าตอบสนองอยู่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการในงานวิจัย โดยในงานวิจัยนี้ต้องการค่าที่เหมาะสม (Optimization) โดยกำหนดให้ค่าความหยาบผิว สูงสุดต้องไม่เกิน 1.0 ไมครอน

6. การยืนยันผลที่สถานะที่เหมาะสมของระดับปัจจัย

การยืนยันผลการทดลองในงานวิจัยนี้ใช้ชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 6 ชิ้น ในการทดลองกลึงชิ้นงานที่สถานะที่เหมาะสมด้วยเม็ดมีดกลึงแต่ละชนิด

7. การเปรียบเทียบความคุ้มค่า

การเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการเลือกใช้เม็ดมีดกลึงระหว่าง เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD กับเม็ดมีดกลึงเซรามิก ในการกลึงวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 จะใช้การประเมินในลักษณะต้นทุนการผลิตระยะสั้น ในรูปแบบของต้นทุนคงที่เฉลี่ย (Average Fixed Cost, AFC) เพื่อหาอายุการใช้งานของเม็ดมีดกลึงต่อไป ดังสมการที่ 1

$$AFC = TFC / TP$$

สมการที่ 1

โดยที่ AFC คือ ต้นทุนคงที่ทั้งหมดที่คิดเฉลี่ยต่อหน่วยผลผลิต ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เป็น ตัวชี้วัดความคุ้มค่า
TFC (Total Fixed Cost) คือ ต้นทุนคงที่รวม ในงานวิจัยนี้คือ ราคาของเม็ดมีดกลึงแต่ละชนิด
TP (Total Product) คือ หน่วยของผลผลิตรวม โดยในงานวิจัยนี้คือระยะทางตามแนวยาวที่เม็ดมีด
กลึงสามารถกลึงได้ด้วยความหยาบผิวไม่เกิน 1.0 ไมครอนคูณกับจำนวนคมตัด

ตัวชี้วัดความคุ้มค่าของเม็ดมีดกลึงทั้ง 2 ชนิด จะอยู่ในรูปแบบของต้นทุนคงที่เฉลี่ย ที่จะนำมา
เปรียบเทียบเพื่อหาความคุ้มค่า ก่อนนำไปประกอบการตัดสินใจในการเลือกชนิดเม็ดมีดกลึงในการใช้งาน

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหยาบผิว

จากตารางที่ 3(ก) พบว่าปัจจัยกำลังหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความหยาบผิว คือ อัตรา
ป้อน ส่วนของปัจจัยกำลังสองคือ อัตราป้อนกำลังสอง ที่ส่งผลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ (P-value <
0.05) และไม่มีปัจจัยร่วมกำลังหนึ่งที่มีผลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ

จากตารางที่ 3(ข) พบว่าปัจจัยกำลังหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความหยาบผิว คือ อัตรา
ป้อน ส่วนของปัจจัยกำลังสองคือ อัตราป้อนกำลังสอง และระยะลึกป้อนกำลังสอง ที่ส่งผลต่อความหยาบผิวอย่าง
มีนัยสำคัญ (P-value < 0.05) และไม่มีปัจจัยร่วมกำลังหนึ่งที่มีผลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3(ก) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหยาบผิว (เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD)

Factors	Adj MS	% Contribution	P- value
V	0.0343	0.163	0.194
F	20.4063	97.045	0.000
D	0.0091	0.043	0.499
V ²	0.0226	0.107	0.289
F ²	0.5297	2.519	0.000
D ²	0.0030	0.014	0.694
V * F	0.0005	0.002	0.876
V * D	0.0041	0.019	0.647
F * D	0.0181	0.086	0.341
R-Sq = 97.95%			

หมายเหตุ V คือ ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)

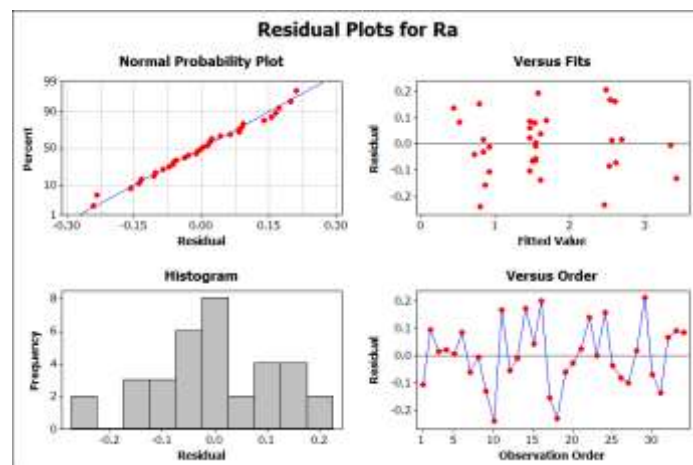
F คือ อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อนาที)

D คือ ระยะลึกป้อน (มิลลิเมตร)

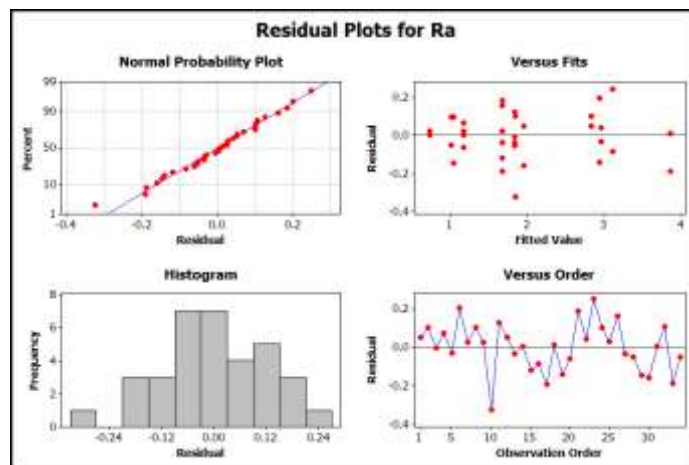
ตารางที่ 3(ข) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหยาบผิว (เมตริกดิ่งเชิงเซอร์เมท)

Factors	Adj MS	% Contribution	P-value
V	0.0000	0.000	0.992
F	23.7539	94.379	0.000
D	0.0321	0.128	0.230
V^2	0.0758	0.301	0.070
F^2	1.0732	4.264	0.000
D^2	0.1335	0.530	0.019
V * F	0.0019	0.008	0.769
V * D	0.0868	0.345	0.054
F * D	0.0115	0.046	0.469
R-Sq = 98.01 %			

การวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล จากรูปที่ 5(ก) และ 5(ข) พบว่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5(ก) กราฟส่วนตกค้างของค่าความหยาบผิว (เมตริกดิ่งเชิงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD)



รูปที่ 5(ข) กราฟส่วนตกค้างของค่าความหยาบผิว (เม็ดมีดกลึงเซอร์เมท)

การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีการ CCD ของผลการทดลองกับเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD และเม็ดมีดกลึงเซอร์เมท ได้สมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

$$Ra = 0.239 - 1.69 \cdot F + 89.6 \cdot F^2 \quad (R-Sq = 97.54\%) \quad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่ $100 \leq V \leq 220$; $0.06 \leq F \leq 0.20$; $0.2 \leq D \leq 0.6$

$$Ra = 1.158 - 17.72 \cdot F + 153.0 \cdot F^2 \quad (R-Sq = 96.85\%) \quad \text{สมการที่ 3}$$

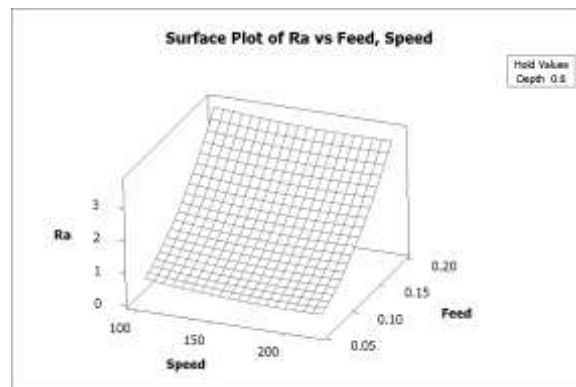
โดยที่ $120 \leq V \leq 200$; $0.09 \leq F \leq 0.20$; $0.5 \leq D \leq 1.5$

ค่าที่เหมาะสมของค่าความหยาบผิว

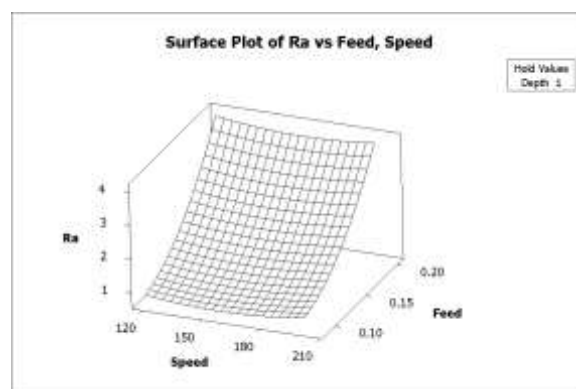
จากการวิเคราะห์ Optimization plot พบว่าค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดในการกลึงด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD คือ ความเร็วตัด 199 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะลึกป้อน 0.60 มิลลิเมตร จะได้ค่าความหยาบผิวอยู่ที่ 0.3986 ไมครอน ส่วนในการกลึงด้วยเม็ดมีดเซอร์เมท คือ ความเร็วตัด 156 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.09 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะลึกป้อน 1.00 มิลลิเมตร จะได้ค่าความหยาบผิวอยู่ที่ 0.7439 ไมครอน

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัย และผลกระทบของปัจจัยหลัก

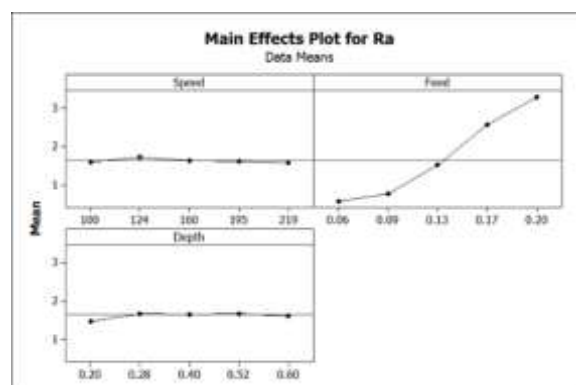
จากรูปที่ 6(ก), 6(ข), 7(ก), และ 7(ข) เป็นการแสดงให้เห็นว่า อัตราป้อนลดลงจะทำให้ได้ค่าความหยาบผิวลดลงด้วย



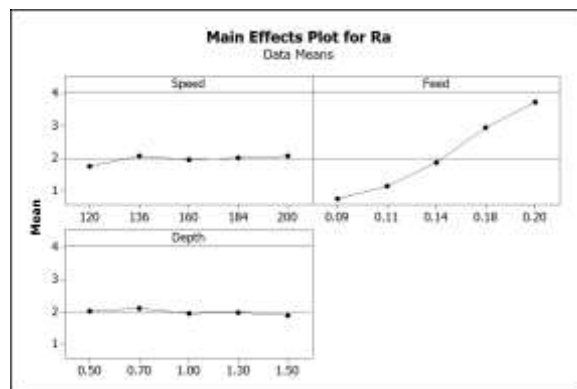
รูปที่ 6(ก) กราฟพื้นผิวของความหยาบผิว (เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD)



รูปที่ 6(ข) กราฟพื้นผิวของความหยาบผิว (เม็ดมีดกลึงเซอร์เมท)



รูปที่ 7(ก) กราฟผลกระทบของปัจจัยหลักต่อความหยาบผิว (เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD)



รูปที่ 7(ข) กราฟผลกระทบของปัจจัยหลักต่อความหยาบผิว (เมตมิดกลิ้งเซอร์เมท)

การยืนยันผลการทดลอง

จากตารางที่ 4(ก) และ 4(ข) แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของสมการถดถอย กับค่าที่ได้จากสมการถดถอย โดยค่าผิดพลาดที่ได้มีค่า % ส่วนต่างอยู่ระหว่าง -2.46 ถึง 2.46 สำหรับการกลิ้งด้วยเมตมิดกลิ้งคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD ส่วนการกลิ้งด้วยเมตมิดกลิ้งเซอร์เมท % ส่วนต่างอยู่ระหว่าง -3.15 ถึง 3.15

ตารางที่ 4(ก) ผลการทดสอบความแม่นยำของสมการถดถอย (เมตมิดกลิ้งคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD)

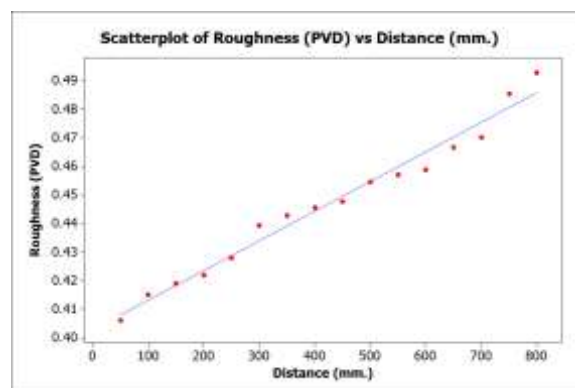
ครั้งที่	ปัจจัย			ค่าความหยาบผิว		ค่าส่วนต่าง	% ส่วนต่าง
	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อนาที)	ระยะลึก ป้อน (มิลลิเมตร)	สมการถดถอย	การทดลอง		
1	199	0.06	0.60	0.460	0.455	0.005	1.08
2		0.09		0.812	0.798	0.014	1.78
3		0.12		1.326	1.317	0.009	0.69
4		0.15		2.001	1.979	0.023	1.13
5		0.18		2.838	2.862	-0.024	-0.84
6		0.20		3.485	3.522	-0.037	-1.06

ตารางที่ 4(ข) ผลการทดสอบความแม่นยำของสมการถดถอย (เม็ดมีดกลึงเซอร์เมท)

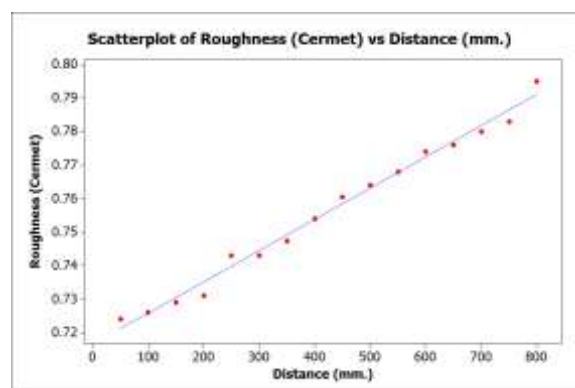
ครั้งที่	ปัจจัย			ค่าความหยาบผิว		ค่าส่วนต่าง	% ส่วนต่าง
	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อนาที)	ระยะลึก ป้อน (มิลลิเมตร)	สมการ ถดถอย	การทดลอง		
1	156	0.09	1.00	0.803	0.792	0.011	1.37
2		0.12		1.235	1.207	0.027	2.22
3		0.15		1.943	1.935	0.008	0.39
4		0.18		2.926	2.873	0.062	1.79
5		0.21		4.184	4.108	0.076	1.81
6		0.25		6.291	6.097	0.194	3.08

2. การเปรียบเทียบความคุ้มค่า

การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อหาอายุการใช้งานของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว PVD สามารถนำมาเขียนกราฟของผลการทดลองได้ดังรูปที่ 8(ก) และ 8(ข)



รูปที่ 8(ก) กราฟแนวโน้มของค่าความหยาบผิว (เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD)



รูปที่ 8(ข) กราฟแนวโน้มของค่าความหยาบผิว (เม็ดมีดกลึงเซอร์เมท)

โดยจะได้สมการค่าความหยาบผิวที่กลึงด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD คือ $Ra = 0.403 + 0.000104 * TL$ ($R-Sq = 97.60\%$) ส่วนสมการค่าความหยาบผิวที่กลึงด้วยเม็ดมีดกลึงเซอร์เมท คือ $Ra = 0.716 + 0.000093 * TL$ ($R-Sq = 98.90\%$) โดย TL (Turning Length) คือ ความยาวที่สามารถกลึงได้ตามแนวกลึงของชิ้นงาน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อหาความคุ้มค่า

เมื่อนำสมการถดถอยที่ได้มาพยากรณ์ค่าความหยาบผิวที่มีค่าเท่ากับ 1 ไมครอน เพื่อหาความยาวที่สามารถกลึงได้ตามแนวกลึงของชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร โดยงานวิจัยนี้ใช้เป็นอายุการใช้งานของเม็ดมีดกลึง ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางคำนวณหาอายุการใช้งานของเม็ดมีดกลึงทั้ง 2 ชนิด

ชนิดเม็ดมีดกลึง	สมการถดถอย	R-Sq	อายุการใช้งาน (TL)
คาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD	$Ra = 0.403 + 0.000104 * TL$	97.60%	5,740
เซอร์เมท	$Ra = 0.716 + 0.0000903 * TL$	98.90%	3,054

นำสมการที่ 1 มาใช้เปรียบเทียบความคุ้มค่าของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD กับ เม็ดมีดกลึงเซอร์เมท ด้วยการวิเคราะห์ต้นทุนของเม็ดมีดกลึงแต่ละชนิด ได้ผลแสดงในตารางที่ 6

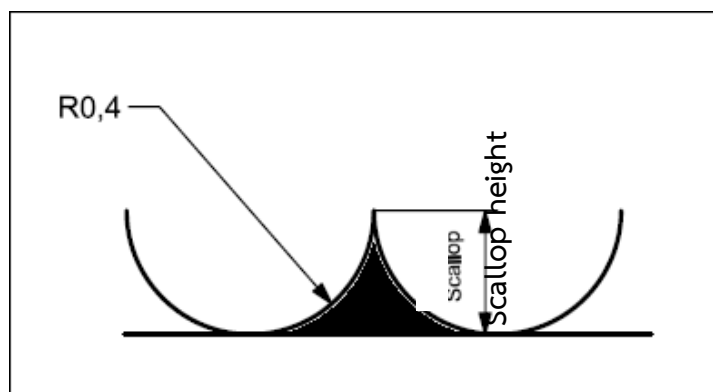
ตารางที่ 6 ตารางแสดงต้นทุนการกลึง

ชนิดเม็ดมีดกลึง	บาทต่อหน่วย (5 ตุลาคม 2559)	ต้นทุนการกลึงต่อระยะความยาวที่กลึงได้		% ต้นทุน
		สตางค์/มิลลิเมตร/ เม็ด	สตางค์/มิลลิเมตร/คม ตัด	
คาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD	285	4.96	2.48	40.19
เซอร์เมท	225	7.37	3.69	59.81

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

1. ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 กับเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD คือ อัตราป้อนกำลังหนึ่ง และอัตราป้อนกำลังสอง จากการวิเคราะห์การถดถอย จะได้สมการ $Ra = 0.239 - 1.69 * Feed + 89.6 * Feed^2$ โดยค่าที่เหมาะสมคือ ความเร็วตัด 199 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะลึกป้อน 0.60 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ค่าความหยาบผิวอยู่ที่ 0.3986 ไมครอน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Camposeco-Negrete, 2015; Nalbant, 2006 และบุญเรือง, 2550 คือ อัตราป้อนส่งผลต่อค่าความหยาบผิวโดย บุญเรือง (2550) ได้เสนอสมการถดถอย $Ra = -0.176 + 9.35 Feed$ ($R-Sq = 83.2\%$) แสดงถึง อัตราป้อนที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหยาบผิว และเมื่อศึกษาในทางเทคนิค

พบว่าปลายเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD มีรัศมีปลายมีด 0.4 มิลลิเมตร เมื่อเคลื่อนที่ในแนวยาวของชิ้นงาน(อัตราป้อน)จะเกิดส่วนสูงของการต่อเนื่องกันของรัศมีปลายมีด (Scallop height) ที่ส่งผลโดยตรงต่อค่าความหยาบผิว (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 Scallop height ที่เกิดจากอัตราป้อน

2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 กับเม็ดมีดกลึงเซอร์เมท คือ อัตราป้อนกำลังหนึ่ง อัตราป้อนกำลังสอง และระยะลึกลูกป้อนกำลังสอง จากการวิเคราะห์การถดถอยจะได้สมการ $Ra = 1.158 - 17.72 \cdot \text{Feed} + 153.0 \cdot \text{Feed}^2$ โดยค่าที่เหมาะสมคือ ความเร็วตัด 156 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.09 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะลึกลูกป้อน 1.00 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ค่าความหยาบผิวอยู่ที่ 0.7439 ไมครอน โดยพบว่าปัจจัยระยะลึกลูกป้อนกำลังสองเพิ่มเติมขึ้นมา แต่จากงานวิจัยของ Lalwani และคณะ, (2008) แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวคือ อัตราป้อน 86.03% รองลงมาคือ ปัจจัยร่วมของอัตราป้อนกับระยะลึกลูกป้อนที่ 6.92% ซึ่งระยะลึกลูกป้อนจะไม่อยู่ในปัจจัยหลักดังที่ปรากฏในงานวิจัยนี้ ซึ่งอาจเกิดจากการมีปัจจัยอื่นรบกวน เพราะปัจจัยหลักไม่ส่งผลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งระยะลึกลูกป้อนกำลังสองส่งผลเพียง 0.53% ดังแสดงในตารางที่ 4(ข) การส่งผลเพียงเล็กน้อยนี้ ทำให้ตัดพจน์ของระยะลึกลูกป้อนกำลังสองออกในการวิเคราะห์การถดถอย

3. การเปรียบเทียบความคุ้มค่า สามารถสรุปผลได้ว่า เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD มีต้นทุนถูกกว่าเม็ดมีดกลึงเซอร์เมท ประมาณ 19.62% และความยาวที่สามารถกลึงได้ตามแนวกลึงของชิ้นงาน (อายุการใช้งาน) มากกว่าเม็ดมีดกลึงเซอร์เมท ประมาณ 2,686 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาผลการทดลองของ Ghani และคณะ, (2004) พบว่ามีดกัดเซอร์เมทมีอายุการใช้ที่ยาวนานกว่ามีดกัดคาร์ไบด์เคลือบผิว TiN ประมาณ 11.25 นาที ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยนี้ สาเหตุส่วนหนึ่งอาจมาจากค่าระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองดังกล่าวที่ใช้ระดับของปัจจัยในการทดลองเท่ากันทั้งการทดลอง ส่วนงานวิจัยนี้จะใช้ค่าที่ระดับปัจจัยที่ทำให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุดและเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้จริง นอกจากนั้นค่าความหยาบผิวที่ดีที่สุดของแต่ละเม็ดมีดกลึง จากการทดลองพบว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD มีค่าต่ำกว่าเม็ดมีดกลึงเซอร์เมทอยู่ประมาณ 0.3453 ไมครอน และเมื่อพิจารณาจากกราฟผลกระทบหลักของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD และเม็ดมีดกลึง

เซอร์เมท ว่าเป็นไปได้ที่จะทำให้ค่าความหยาบผิวดีขึ้น โดยการกำหนดค่าอัตราป้อนให้ลดลง อาจนำไปสู่การทำให้ค่าต้นทุนในการกลึงมีการเปลี่ยนแปลงได้

4. การประยุกต์ใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ จะได้สมการดังนี้ ต้นทุนการกลึง(บาท/มิลลิเมตร/เมตร) = $0.00034807 * \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มิลลิเมตร)} * \text{ราคาเม็ดมีดกลึง(บาท/เมตร)}$

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

จรัส ทรัพย์เสรี. (2552). “DOE ตอน Central Composite Design.” For Quality, 145: 72-74.

บุญเรือง ขวัญนุ้ย. (2550). “การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวในการกลึงเหล็ก S45C ด้วยมีดเซรามิก

เคลือบ PVD.” วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม

อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551).การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.

กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.

ปรัชพร กลีบประทุม, ศรีณญา เบญจกุล, มณฑา เก่งการพานิช และธราดล เก่งการพานิช. (2559). “ผลของ

โปรแกรมส่งเสริมการเลิกบุหรี่สำหรับผู้สูบบุหรี่ในตำบลบางแก้ว อำเภอเมืองอ่างทอง

จังหวัดอ่างทอง.” วารสารวิชาการ Veridian E-Journal ปีที่ 3 ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม):

30-43.

ศิริวัลย์ จันทร์ผ่อง. (2554). “การพยากรณ์ความขรุขระผิวในกระบวนการกลึงโดยการประยุกต์ใช้วิธีการพื้นผิว

ผลตอบสนอง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อังกศิริ ทิพยารมณ และณัฐพล วริกุล. (2559). “การสอบเทียบผลการตรวจวัด PM_{2.5} จากเครื่องตรวจวัด

แบบเรียลไทม์และ วิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก.” วารสารวิชาการ Veridian E-Journal ปีที่ 3, ฉบับที่ 4

(กรกฎาคม-สิงหาคม): 1-11.

อัจฉรา เนียมเกลี้ยง. (2550). “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวในการกลึงเหล็ก S50C ด้วยมีดเซรามิก.”

วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ภาษาต่างประเทศ

Carmita Camposeco-Negrete. (2015). “Optimization of cutting parameters using Response

Surface Method for minimizing energy consumption and maximizing cutting quality in

turning of AISI 6061 T6 aluminium.” Journal of Cleaner Production, Vol.91: 109-117.

D.I. Lalwani, N.K. Mehta and P.K. Jain. (2008). “Experimental investigations of cutting parameters

influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250

steel.” Journal of materials processing technology, Vol.206: 167-179.

- J.A. Ghani, I.A. Choudhury and H.H. Masjuki (2004). “Wear mechanism of TiN coated carbide and uncoated cermets tools at high cutting speed applications.” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.153-154: 1067-1073.
- M. Nalbant, H. Go˘kkaya and G. Sur. (2006). “Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning.” *Materials and Design*, Vol:28 1379-1385.
- Richárd Horváth and Ágota Drégelyi-Kiss. (2015). “Analysis of surface roughness of aluminum alloys fine turned: United phenomenological models and multi-performance optimization.” *Measurement*, Vol.65: 181-192.