

ปัจจัยการกัดที่มีผลกระทบต่อผิวสำเร็จของวัสดุผสมไม้พลาสติก

Influence of Milling Factors on Surface Finish of Wood-Plastic Composites

ธนศ รัตนวิไล¹ พิจิตร พิศสุวรรณ¹ สิริญา จิรสัมปทา¹ ชาตรี หอมเขียว²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทคัดย่อ

ผลกระทบของปัจจัยการกัด ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อนและความลึกในการกัดที่มีต่อผิวสำเร็จของวัสดุผสมไม้พลาสติก (Wood-plastic composites; WPCs) ถูกศึกษาโดยใช้เครื่องกัดแนวตั้งและมีดกัดแบบ Fly cutter ด้ามมีด ECMP และเม็ดมีดคาร์ไบด์ พบว่าปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความขรุขระผิวสำเร็จของ WPCs เมื่อระดับพารามิเตอร์ในแต่ละปัจจัยมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ความขรุขระผิวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สำหรับการปฏิสัมพันธ์ทั้งหมดระหว่างปัจจัยพบว่าผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความขรุขระผิว WPCs จากสมการถดถอยพบว่าความลึกในการกัดมีผลกระทบมากที่สุด ผลต่างระหว่างค่าจากการทดลองและจากสมการมีค่าเฉลี่ย 4.04% ดังนั้นสมการดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมแปรรูปวัสดุผสมไม้พลาสติก

คำสำคัญ : วัสดุผสมไม้พลาสติก การออกแบบการทดลอง ความขรุขระผิว เครื่องกัด

Abstract

The effect of milling factors including spindle speed, feed, and depth of cut influenced on the surface finish of wood-plastic composites (WPCs) was investigated. The experiments were carried out on a vertical milling machine with fly cutter end mill, ECMP handle, and carbide tool. The experiments were found all factors significantly affected the surface finish. An increase of parameter levels in each factor contributed the clear increasing value of surface finish. The interaction between factors also significantly affected the surface finish. Analysis of regression model revealed that depth of cut was the most effect on surface finish. The mean absolute percentage error of surface finish between experiment and prediction was 4.04%. Therefore, the regression model can be effectively applied in WPCs industries.

Keywords : wood-plastic composites, experimental design, surface roughness, milling machine

1. บทนำ

การกัดถือเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญมาก กระบวนการหนึ่งในการขึ้นรูปชิ้นงานให้มีขนาดและ

รูปร่างถูกต้องตามที่ต้องการ ในกระบวนการกัดชิ้นงาน จะเคลื่อนที่เข้าหามีดตัดเพื่อกำจัดเนื้อวัสดุส่วนเกินออก เพื่อให้วัสดุส่วนที่เหลือมีรูปร่างตามที่ต้องการ ปัจจัย

เอ็กสารีนเป็นเอ็กสารีที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญที่ส่งผลต่อค่าการตอบสนองในกระบวนการกัดคือ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน ความลึก มุมตัด ชิ้นงานที่ต้องตัดเฉือนและรูปร่างของเครื่องมือตัด ผลที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการกัดคือ ขนาดของชิ้นงาน ความขรุขระผิวชิ้นงาน เศษตัดและการสึกหรอของเครื่องมือตัด จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกัด พบว่ามีการศึกษาเป็นจำนวนมาก กุศล พร้อมมูลและคณะ [1] ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถภาพของการตัดไม้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้เม็ด Polycrystal diamond; PCD ซึ่งพบว่าที่ความเร็วรอบ 15,000 รอบ/นาที และอัตราการป้อนตัด 8 เมตร/นาที ทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุด เทียบเท่ากับผิวชิ้นงานที่ผ่านการขัด ต่อมาผู้วิจัยยังได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราแต่เปลี่ยนวัสดุคมตัดเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์พบว่าที่ความเร็วรอบ 16,000 รอบ/นาที และอัตราการป้อน 12 เมตร/นาที ทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุด [2] นอกจากนี้สุภสิทธิ์ รอดขวัญและศิริเพ็ญ สุภาคารัตนาวงศ์ [3] ศึกษาอิทธิพลของความเร็วตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัดไม้ยางพาราที่มีผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน และความลึกของมีดตัดทั้งสแตนคาร์ไบด์ ซึ่งพบว่าพบว่าสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ผิวชิ้นงานดีที่สุด คือที่ความเร็วรอบ 12,000 rpm อัตราการป้อน 180 ipm และความลึก 0.0625 นิ้ว เช่นเดียวกัน Wang และ Chang [4] วิเคราะห์อิทธิพลของเงื่อนไขการตัดต่อความขรุขระผิว และพบว่าการใช้ น้ำยาหล่อเย็น ในการตัดจะช่วยให้ค่าความขรุขระผิวสำเร็จของชิ้นงานลดลงและปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญคือ ความเร็วการตัด การป้อน ส่วนเว้าของมีดและมุมหลบ อย่างไรก็ตาม การศึกษาปัจจัยการกัดที่มีผลกระทบต่อผิวสำเร็จของวัสดุผสมไม้พลาสติกยังไม่พบรายงานการวิจัย

วัสดุผสมไม้พลาสติก (Wood-plastic composites; WPCs) ประกอบด้วยเนื้อวัสดุหลักคือผงไม้และพลาสติก ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้ถูกนำมาผสมและขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ เช่น การฉีดเข้าเบ้า การอัดร้อนและการอัดรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

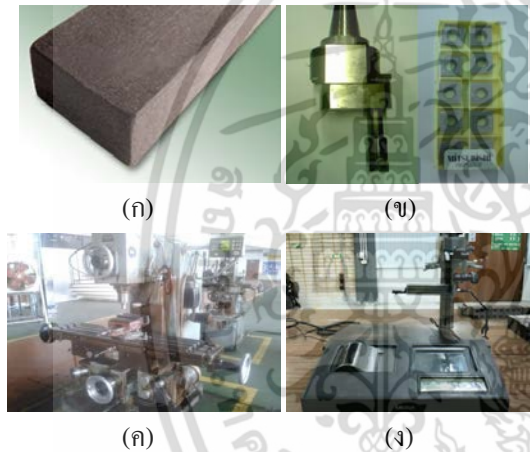
ขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบัน WPCs เข้ามามีบทบาทแทนที่ไม้จากธรรมชาติมากขึ้นในงานเชิงโครงสร้าง เนื่องจากมีสมบัติในการใช้งานที่ดี เช่น ทนทาน แข็งแรง ดูดซับน้ำน้อยและน้ำหนักเบาตลอดจนราคาถูก นอกจากนี้ยังมีการใช้ในงานวัสดุก่อสร้างเพิ่มมากขึ้นเป็นพิเศษเพราะการให้ความสำคัญเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระแสโลกร้อนและการพิจารณาเรื่องความทนทานในการนำไปใช้งาน จึงทำให้ WPCs เข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้นแทนที่วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างแบบเดิมๆ [5] ดังนั้น WPCs จึงถือได้ว่าเป็นวัสดุก่อสร้างที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน WPCs ที่ประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างโดยทั่วไปจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมเท่านั้น เช่น ไม่ขนาด 1 นิ้ว \times 2 นิ้ว หรือ 2 นิ้ว \times 4 นิ้ว เป็นต้น ทำให้การนำไปประยุกต์ใช้งานไม่หลากหลายมากนัก การที่จะนำ WPCs ไปใช้ประโยชน์ให้หลากหลายมากขึ้นจำเป็นต้องแปรรูป WPCs ให้มีรูปร่างที่แตกต่างไปจากไม้พลาสติกทั่วไป และเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานและความต้องการของผู้บริโภคทั้งการลดขนาดหรือการขึ้นรูปให้มีส่วนโค้งเว้า ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะมีผลต่อความขรุขระผิวของชิ้นงาน ดังนั้นในกระบวนการผลิตหรือการแปรรูป WPCs ให้มีรูปร่างตามที่ต้องการและยังคงให้ผิวสำเร็จที่ดีจึงเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญและจำเป็นต้องศึกษา ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยการกัดที่มีผลกระทบต่อความขรุขระผิว (Ra, ไมโครเมตร) ของ WPCs ได้แก่ ความเร็วรอบ (S, รอบ/นาที) อัตราการป้อน (F, มม./นาที) และความลึกในการกัด (D, มม.) ผลจากการวิจัยครั้งนี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไม้พลาสติกที่มีผิวชิ้นงานที่ดีและมีคุณภาพจนเกิดการประยุกต์ใช้ WPCs ให้มีความหลากหลายมากขึ้น

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและเครื่องมือในการทดลอง

ชิ้นงานทดสอบ WPCs รุ่น Hybrid wood solid ของบริษัท ไชลูเมท จำกัด (ประเทศไทย) ซึ่งเป็นส่วนผสม

ของผงไม้เนื้อแข็งและพีวีซี โดยมีค่าความเค้นแรงดึง 27 Mpa ค่าร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบที่จุดขาด 2 % ค่าความแข็ง 70 shore D อุณหภูมิในการอ่อนตัวของพลาสติก (vicat softening point, VICAT) 88°C และอุณหภูมิการโก่งตัว (heat deflection temperature, HDT) 75°C ชิ้นงานมีพื้นที่หน้าตัด 1 นิ้ว \times 2 นิ้ว (รูป 1(ก)) ใช้มิดกัตแบบ Fly cutter ด้ามมิด ECMP และเม็ดมิดคาร์ไบด์ MPM 120408 ยี่ห้อ Mitsubishi เกรด UTi20T (รูปที่ 1(ข)) ใช้เครื่องกัดแนวตั้งยี่ห้อ Elliott รุ่น Sturdimill 1000 ผลิตในประเทศอังกฤษ (รูปที่ 1(ค)) วัดความขรุขระผิวด้วยเครื่องวัดยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-301 ผลิตในประเทศญี่ปุ่น (รูปที่ 1(ง))



รูปที่ 1 วัสดุ เครื่องจักรและอุปกรณ์ (ก) ชิ้นงานทดลอง (ข) มิดกัต (ค) เครื่องกัด และ (ง) เครื่องวัดความขรุขระ

2.2 วิธีการทดลอง

ปัจจัยการทดลอง คือ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และความลึกการกัด โดยมีค่าความขรุขระผิวเป็นตัวแปรตาม โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ชั้น แต่ละชั้นวัด 6 ตำแหน่งในแต่ละสภาวะการกัด แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ (1) ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของแต่ละปัจจัยหลักต่อผิวสำเร็จของ WPCs ด้วย factorial design ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีปัจจัยหลักดังแสดงในตารางที่ 1 และมีเงื่อนไขที่ได้จากการออกแบบการทดลองในตารางที่ 2 และ (2) สร้างสมการทำนายค่าความขรุขระผิวและเปรียบเทียบกับค่าจริงที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ปัจจัยหลักและพารามิเตอร์ของการทดลอง

ปัจจัย	ต่ำ	กลาง	สูง
ความเร็วรอบ, S (รอบ/นาที)	454	600	845
อัตราการป้อน, F (มม./นาที)	50.8	76.2	101.6
ความลึกการกัด, D (มม.)	0.5	1.0	1.5

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลอง

ลำดับ	S	F	D	Ra (ไมโครเมตร)	
				Mean	S.D.
1	454	50.8	0.5	4.62	0.03
2	845	50.8	1.5	5.66	0.24
3	600	50.8	1	5.45	0.13
4	845	76.2	0.5	4.81	0.04
5	454	101.6	0.5	4.72	0.06
6	845	76.2	1.5	5.80	0.05
7	600	101.6	0.5	5.01	0.03
8	845	76.2	1	5.36	0.03
9	600	76.2	0.5	5.18	0.18
10	845	50.8	1	5.21	0.02
11	454	76.2	1.5	5.43	0.14
12	845	101.6	1	5.50	0.06
13	454	101.6	1	4.85	0.05
14	600	76.2	1.5	6.06	0.10
15	454	50.8	1	4.54	0.12
16	600	50.8	1.5	5.66	0.17
17	600	101.6	1.5	6.42	0.11
18	600	76.2	1	5.68	0.09
19	600	101.6	1	5.94	0.09
20	454	50.8	1.5	5.69	0.10
21	845	101.6	0.5	4.95	0.12
22	845	50.8	0.5	4.69	0.11
23	845	101.6	1.5	6.33	0.05
24	454	76.2	0.5	4.67	0.05
25	600	50.8	0.5	5.19	0.06
26	454	101.6	1.5	5.67	0.10
27	454	76.2	1	4.66	0.05

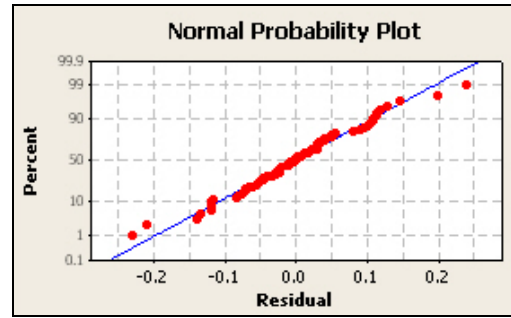
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล

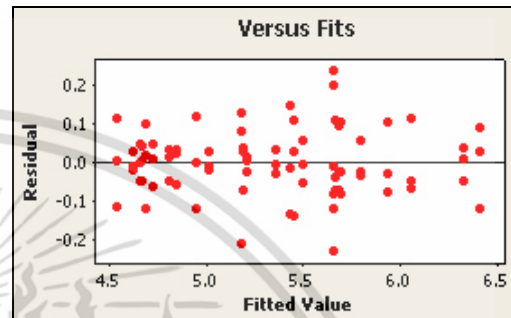
การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลถูกวิเคราะห์เพื่อยืนยันความพอเพียงและความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากการทดลอง รูปที่ 2(ก) แสดงการกระจายที่เป็นปกติของข้อมูล เห็นว่าข้อมูลแนบชิดกับเส้นตรง (แสดงเป็นเส้นตรง) และไม่พบค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในการพล็อต [6] ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ รูปที่ 2(ข) แสดงให้เห็นค่า Residuals มีแนวโน้มการกระจายที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ซึ่งถ้า Residuals มีโครงสร้างหรือแนวโน้มที่แน่ชัดแสดงว่าข้อมูลไม่มีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ [6] เช่นเดียวกันค่า Residuals มีการกระจายรอบๆ ค่าศูนย์ที่เท่าๆ กัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนและคุณสมบัติด้านความเป็นอิสระ ในขณะที่รูปที่ 2(ค) พบว่าทุกจุดของข้อมูลไม่สามารถคาดการณ์ได้ ซึ่งหมายความว่าข้อมูลมีการสุ่มที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟทั้ง 3 นี้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลจากการทดลองมีความพอเพียงและความน่าเชื่อถือ ซึ่งข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเสถียรภาพของข้อมูลและมีความเป็นอิสระต่อกัน

3.2 ผลกระทบของปัจจัยการกีดต่อความขรุขระผิว

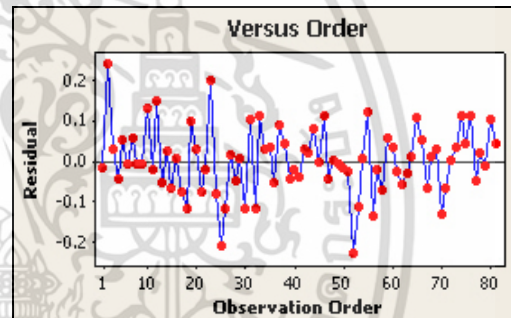
ผลวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 4) พบว่า R² เท่ากับ 97.61% แสดงว่าค่าความขรุขระผิวมีผลกระทบจากปัจจัยความเร็วรอบ อัตราการป้อนและความลึกการตัดสูงถึง 97.61% ส่วนอีก 2.39% เป็นผลจากปัจจัยอื่นที่ไม่สามารถอธิบายได้ เช่นเดียวกัน Adjusted R² มีค่า 96.46% ซึ่งต่ำกว่า R² เล็กน้อย แสดงว่าจำนวนข้อมูลในการทดลองมีเพียงพอ เมื่อวิเคราะห์ ANOVA (Analysis of variance) ที่ระดับนัยสำคัญ 5% (α=0.05) โดยมีสมมติฐานหลักคือ ปัจจัยการกีดมีผลต่อความขรุขระผิวพบว่าผลกระทบของปัจจัยหลัก (S, F, D) ให้ค่า P-value = 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลักสรุปได้ว่าความเร็วรอบ อัตราการป้อนและความลึกการตัดมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความขรุขระผิว เช่นเดียวกันเมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่อความขรุขระผิว ได้แก่ S*F S*D และ F*D พบว่าค่า P-value = 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2 การตรวจสอบข้อมูล (ก) การกระจายแบบปกติ (ข) ความเสถียรและ (ค) ความเป็นอิสระ

ตารางที่ 4 วิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความขรุขระผิว

แหล่งความแปรปรวน	F-test	P-value
S	270.76	0.00
F	59.65	0.00
D	653.65	0.00
S*F	6.02	0.00
S*D	27.72	0.00
F*D	11.96	0.00
S*F*D	7.01	0.00
R ² = 97.61%, Adjusted R ² = 96.46%		

สมมติฐานหลัก สรุปได้ว่าผลกระทบของการปฏิสัมพันธ์ทั้งหมดระหว่างปัจจัยมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความขรุขระผิว นอกจากนี้ผลกระทบของการ

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่อความขรุขระผิว (S*F*D) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความขรุขระผิว เช่นกัน

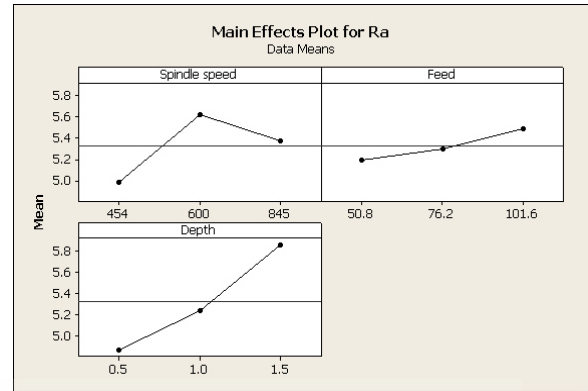
รูปที่ 3 แสดงผลกระทบของระดับพารามิเตอร์ในแต่ละปัจจัยหลักต่อความขรุขระผิว พบว่าความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 454 เป็น 600 รอบ/นาที ส่งผลให้ความขรุขระผิวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบที่ใช้ในการตัดสูงขึ้นทำให้ความร้อนบริเวณการตัดชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นตาม [7] ส่งผลให้พลาสติกที่เป็นเนื้อหลักของวัสดุผสมเกิดการหลอมเหลวจึงทำให้ความขรุขระผิวจากผงไม้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเร็วรอบเป็น 845 รอบ/นาที ทำให้ค่าความขรุขระผิวลดลงต่ำกว่าที่ความเร็วรอบ 600 รอบ/นาทีเล็กน้อย ในส่วนของอัตราการป้อนพบว่า เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้นจาก 50.8 เป็น 76.2 และ 101.6 มม./นาที ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงตามอัตราการป้อนที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกับความลึกการตัดส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มความลึกการตัดจาก 0.5 เป็น 1.0 และ 1.5 มม. เนื่องจากเมื่ออัตราการป้อนและความลึกการตัดเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการเอาเนื้อออกเพิ่มมากขึ้นตามและส่งผลให้อัตราของการเสียรูปแบบพลาสติกเพิ่มมากขึ้นด้วย [8] ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดความร้อนในบริเวณการตัดสูงขึ้นและเกิดการหลอมเหลวของพลาสติกที่สูงตามอัตราการป้อนและความลึกการตัด นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่อความขรุขระผิว ได้แก่ S*F S*D และ F*D (รูปที่ 4) ส่งผลให้ความขรุขระผิวเพิ่มขึ้นเมื่อพารามิเตอร์ของปัจจัยเหล่านี้เพิ่มขึ้น

3.3 การวิเคราะห์สมการถดถอย

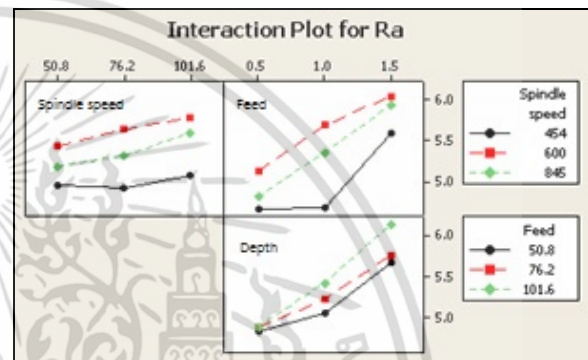
สมการถดถอยที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยการกัด WPCs ต่อความขรุขระผิวถูกแสดงในสมการที่ (1)

$$Ra = 4.01096 + 0.000778234S + 0.00203842F + 1.00122D - 6.69862e-006S^*F - 0.000989581S^*D - 0.0043961F^*D + 1.96605e-005S^*F^*D \quad (1)$$

จากสมการถดถอยพบว่าสัมประสิทธิ์ของทุกปัจจัยหลักมีค่าเป็นบวก หมายถึงพารามิเตอร์ของทุกปัจจัยเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความขรุขระผิวเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งสอดคล้อง



รูปที่ 3 ผลกระทบแต่ละปัจจัยต่อความขรุขระผิว



รูปที่ 4. ผลกระทบของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่อความขรุขระผิว

คล่องกับการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ ขณะที่ความลึกการตัดมีผลกระทบต่อความขรุขระผิว WPCs มากที่สุด รองลงมาเป็นอัตราการป้อนและความเร็วรอบตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณของผลกระทบสอดคล้องกับที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ นอกจากนี้สมการที่ (1) ยังใช้ทำนายความขรุขระผิวที่มีผลกระทบจากปัจจัยการกัด โดยการสุ่มสถานะการกัดให้อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดคือช่วงความเร็วรอบ 454-845 รอบ/นาที ช่วงอัตราการป้อน 50.8-101.6 มม./นาที และช่วงความลึกการตัด 0.5-1.5 มม. ได้ 9 เงื่อนไขสำหรับการทำนายค่า (ตารางที่ 5) ใช้การหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (mean absolute percentage error : MAPE) ดังสมการที่ 2

$$\%MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ A_i และ F_i คือค่าความขรุขระผิว (ไมโครเมตร) จากการทดลองและจากสมการที่ (1) ตามลำดับ n คือจำนวนสถานะการทดลอง (ครั้ง) พบว่าผลต่างระหว่างค่าจากการทดลองและจากสมการที่ (1) มีค่าเฉลี่ย 4.04%

ตารางที่ 5 ค่าความขรุขระผิวจากการทดลองและสมการ

ลำดับ	S	F	D	Ra,e	Ra,p	Δ
1	600	101.6	0.5	5	4.86	0.14
2	845	76.2	1.0	5.39	5.49	-0.1
3	454	50.8	1.5	5.8	5.38	0.42
4	845	50.8	1.0	5.23	5.34	-0.11
5	600	76.2	1.5	5.99	5.78	0.21
6	454	101.6	0.5	4.73	4.78	-0.05
7	454	76.2	1.5	5.3	5.63	-0.33
8	600	101.6	1.0	5.91	5.45	0.46
9	845	50.8	0.5	4.71	4.89	-0.18
MAPE						4.04%

โดยที่ Ra,e และ Ra,p คือความขรุขระผิวจากการทดลองและจากสมการ (ไมโครเมตร) ตามลำดับและ Δ คือผลต่างความขรุขระผิวของการทดลองและจากสมการ

4. สรุป

ปัจจัยการกัดได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อนและความลึก มีผลกระทบต่อความขรุขระผิวสำเร็จของ WPCs อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระดับพารามิเตอร์ในแต่ละปัจจัยมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ความขรุขระผิวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ผลกระทบของการปฏิสัมพันธ์ทั้งหมดระหว่างปัจจัยมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความขรุขระผิวเช่นกัน จากสมการถดถอยพบว่าความลึกมีผลกระทบต่อความขรุขระผิวมากที่สุด รองลงมาเป็นอัตราการป้อนและความเร็วรอบตามลำดับ ในการประยุกต์ใช้สมการถดถอยนั้นต้องเลือกใช้ใบมีดแบบเดียวกันกับในการทดลองนี้ รวมถึงใช้ความเร็วรอบ อัตราการป้อนและความลึกในช่วงที่กำหนด หากใช้ค่าที่สูงขึ้นอาจส่งผลต่อผิวสำเร็จที่ได้เนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างของพลาสติกสุดท้ายพบว่าสมการถดถอยที่ได้สามารถทำนายความขรุขระผิว แตกต่างจากค่าทดลองจริงมีค่าเฉลี่ย 4.04%

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณทีมวิจัยเทคโนโลยีไม้อย่างพาราและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ENG-54-27-11-0137-S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Prommul, P. Kaewtatip, S. Suwankut, T. Arlai, "Finding the optimal condition of wood cutting using PCD tool", Proceedings of the 16th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand; 2002 Oct 14-16; Phuket, Thailand.
- [2] T. Arlai, P. Kaewtatip, K. Prommul, "Influence of factors in cutting of rubberwood using tungsten carbide", Proceedings of the 17th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand, 2003 Oct 15-17, Prachinburi, Thailand.
- [3] R. Supasit, and S. Siripen, "An Investigation of the Effect of Cutting Parameters on Surface Quality and Tool Wear in Parawood Machining Process", Proceedings of the 18th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand; 2004 Oct 18-20; Khonkaen, Thailand.
- [4] M. Y. Wang and H. Y. Chang, "Experimental study of surface roughness in slot end milling AL2014-T6", International Journal of Machine Tools and Manufacturing, vol. 44(1), pp. 51-57, 2004.
- [5] P.M. Smith and M. P. Wolcott, "Opportunities for wood/natural fiber-plastic composites (WPCs) in residential and industrial applications", Forest Products Journal, vol. 56(3), pp. 4-11, 2006.
- [6] D. C. Montgomery, "Design and analysis of experiments", 7th ed. John Wiley & Sons, Inc.; 2009.
- [7] K. V. B. S. Kalyan Kumar and S. K. Choudhury, "Investigation of tool wear and cutting force in cryogenic machining using design of experiments", Journal of Materials Processing Technology, vol. 203, pp. 95-101, 2008.
- [8] D. I. Lalwani, N. K. Mehta, P. K. Jain, "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, pp. 167-179, 2008.