บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติการไหล ของวัสดุเชิงประกอบและการเกิดรอยฟันฉลามของวัสดุเชิงประกอบ โดยอธิบายและวิเคราะห์ผลการทดลองตามปริมาณขี้เลื่อยไม้ อัตราการอัดรีด และความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมและอัตราการเกิดรอยฟันฉลามของวัสดุเชิงประกอบและทำการศึกษา ความหยาบผิวของชิ้นงาน (Roughness) เพื่อคำนาณหาเวลาที่พอริเมอร์ใช้ในการคลายตัว (Relaxation time)

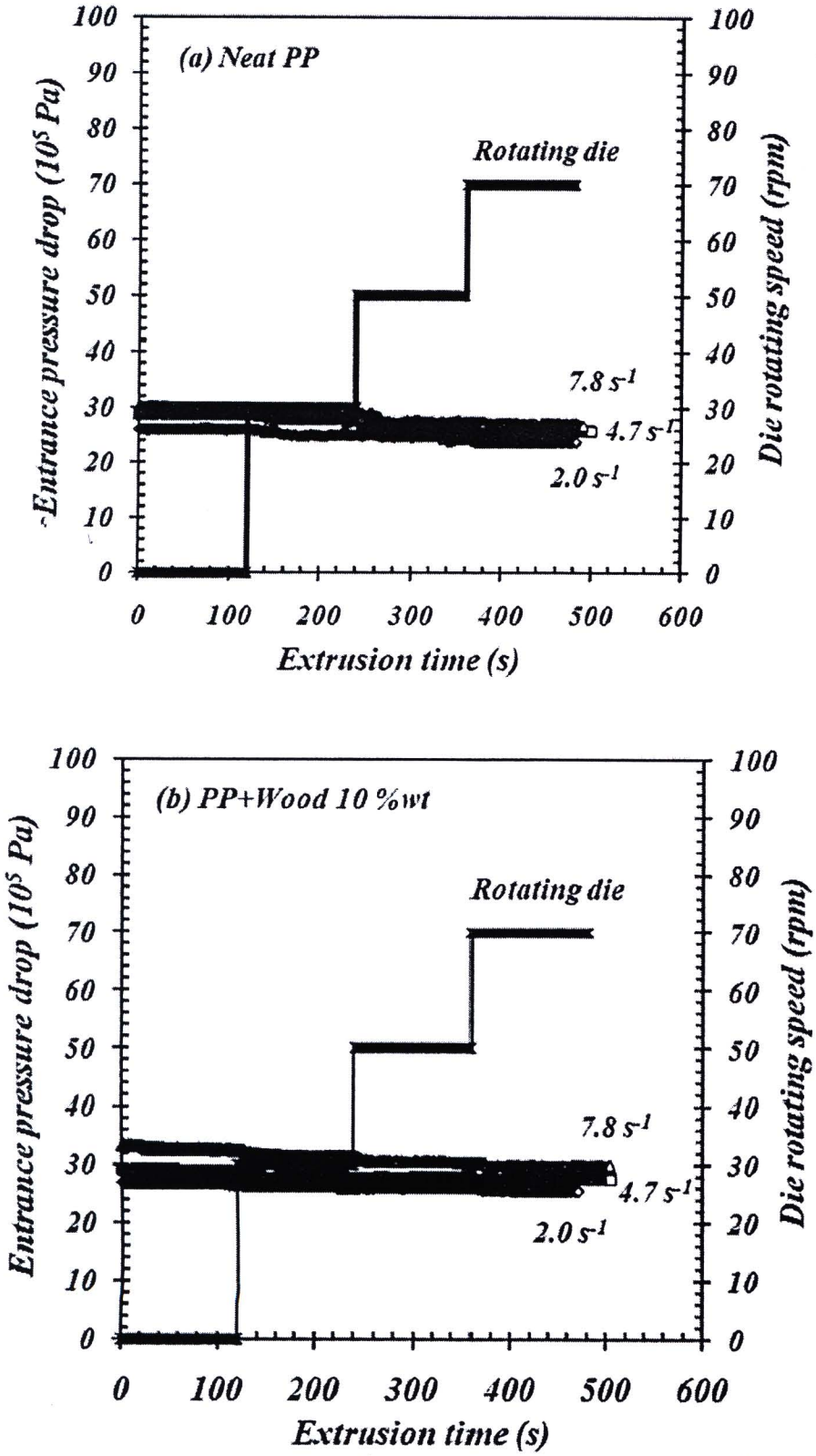
4.1 การศึกษาสมบัติการไหลของวัสดุเชิงประกอบ

4.1.1 สมบัติการไหลของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ในกระบวนการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

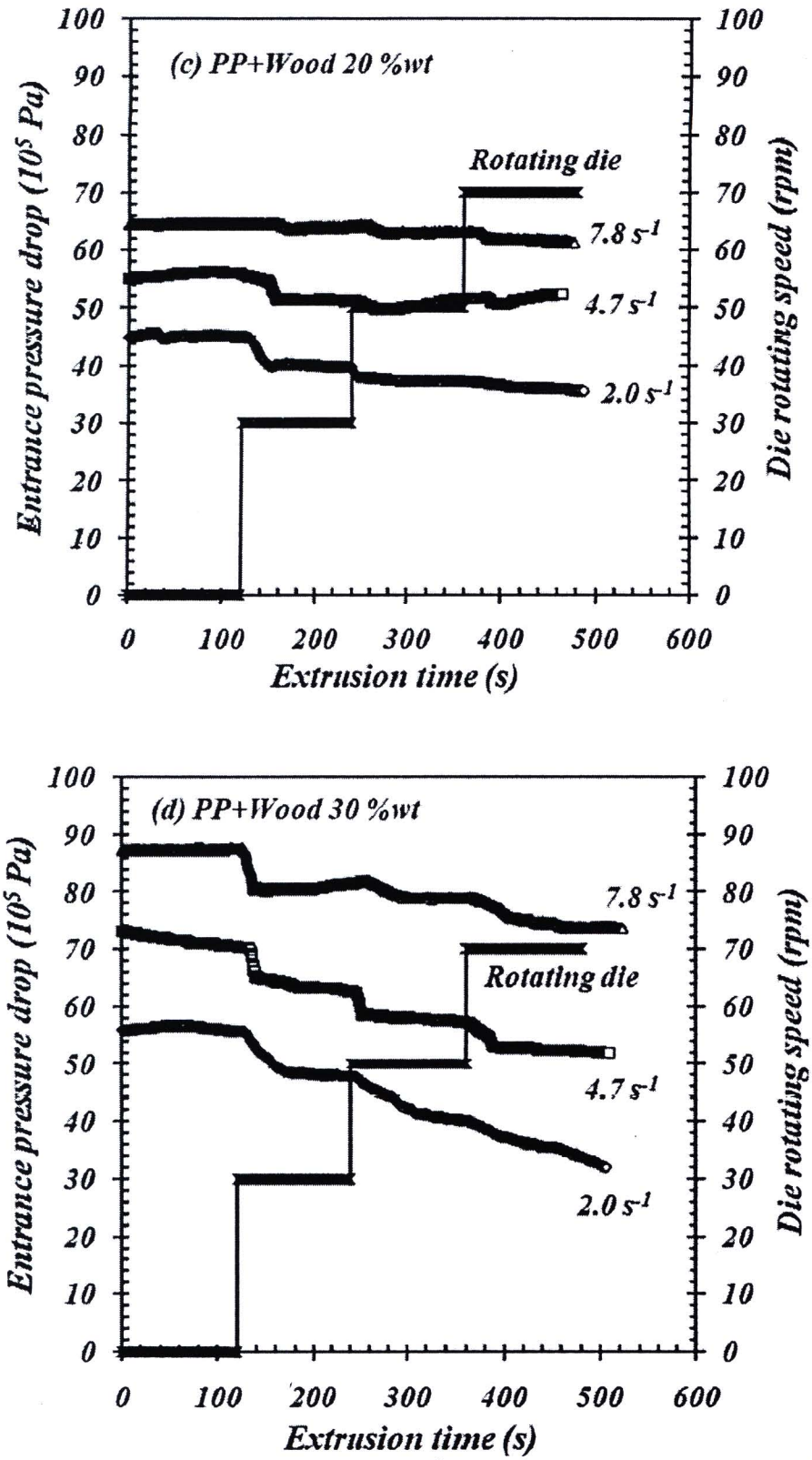
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปกับความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปและเวลาที่ใช้ในการอัดรีดของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ (รูปที่ 4.1a) วัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่มีอัตราส่วนขี้เลื่อย 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.1b-4.1d) โดยใช้อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส และอัตราเครียดเฉือน 2.0 4.7 และ 7.8 วินาที$^{-1}$ ตามลำดับ โดยใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลความเร็วสูงบันทึกข้อมูลตามเวลาจริง เมื่อพิจารณาอัตราเครียดเฉือนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางหัวขึ้นรูปที่ใช้มีขนาดใหญ่ ดังนั้นความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปค่อนข้างต่ำด้วย ซึ่งความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปนี้ถูกวัดในขณะที่การหมุนหัวขึ้นรูปที่เพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดคือ 0 30 50 และ 70 รอบต่อนาที (rpm) เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1a เมื่อไม่ได้หมุนหัวขึ้นรูปที่ช่วงเวลาการทดสอบ 0-120 วินาที ค่าความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปของพอลิพรอพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยไม้ เนื่องจากอนุภาคของผงขี้เลื่อยไม้ที่ใส่เข้าไปในพอลิพรอพิลีน มีผลให้ความหนืดของพอลิพรอพิลีนเหลอมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งปริมาณขี้เลื่อยไม้ก่อให้เกิดความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้นในระหว่างการไหล [36] ซึ่งพฤติกรรมนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Muksing และคณะ [30] พบว่าความหนืดของพอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยการเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยไม้อย่างไรก็ตามเมื่อหมุนหัวขึ้นรูปจาก 0-70 รอบต่อนาที เวลาการทดสอบ (120-500 วินาที) ความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปเกิดการเปลี่ยนแปลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่ปริมาณขี้เลื่อยไม้ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่ความเร็วรอบของหัวขึ้นรูปแบบหมุน และอัตราเครียดเฉือนปรากฏไม่ส่งผลต่อความดันตกคร่อม

บริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ ดังรูปที่ 4.1a และวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่มีอัตราส่วนขี้เลื่อย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก รูปที่ 4.1b สำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่มีอัตราส่วนขี้เลื่อย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักรูปที่ 4.1c โดยผลจากการเพิ่มขึ้นของอัตราเครียดเฉือน 2.0 เป็น 4.7 และ 7.8 วินาที$^{-1}$ ต่อความดันตกคร่อมที่หัวขึ้นรูปส่งผลชัดเจนมากกว่าการเพิ่มความเร็วของหัวขึ้นรูป สำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่มีอัตราส่วนขี้เลื่อย 30 เปอเซ็นต์โดยน้ำหนักรูปที่ 4.1d ความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปลดลงจาก $55x10^5$ เป็น $30x10^5$ ปาสคาล (Pa) หรือลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราเครียดเฉือนต่ำ ที่ 2.0 วินาที$^{-1}$ และจาก $88x10^5$ เป็น $75x10^5$ ปาสคาล (Pa) หรือลดลงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราเครียดเฉือนสูง ที่ 7.8 วินาที$^{-1}$ เมื่อเพิ่มความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปจาก 0 ถึง 70 รอบต่อนาที (rpm)โดยการลดลงของความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูป เนื่องจากการหมุนหัวขึ้นรูป เป็นการกระจายแรงอัดรีดในแนวแกนไปในแนวรัศมีของห้องหลอมเหลว และการเสียดสีกันของสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ทำให้เกิดความร้อนเนื่องมาจากแรงเฉือน (Shear heating) [37] และส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านกันของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์หลอมเหลว และผนังของหัวขึ้นรูปในระหว่างการไหลในหัวขึ้นรูปแบบหมุน ทำให้วัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ มีสมบัติความเป็นวิสคัสมากขึ้นและมีความหนืดลดลง ค่าความดันตกคร่อมที่วัดได้จึงลดลงตามไปด้วย เมื่อเพิ่มความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป [38] ในส่วนของความผันผวน (Fluctuation) ของความดันตกคร่อมทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของการไหลภายในห้องหลอมเหลว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของหัวขึ้นรูปการลดลงของความดันตกคล่อม บริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูป สามารถแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มกำลังการผลิตหรือผลผลิตในการอัดรีดชิ้นงานพอลิเมอร์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบหัวขึ้นรูปแบบหมุนมีประสิทธิภาพ สำหรับการช่วยลดความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัสดุที่มีความหนืดสูง

นอกจากนี้ พบว่าการเพิ่มขึ้นของความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปของวัสดุ เชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้เมื่อมีการหมุนหัวขึ้นรูป เห็นได้อย่างชัดเจนที่อัตราส่วนขี้เลื่อยไม้ปริมาณและที่อัตราเครียดเฉือนที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.1c และ 4.1d เนื่องจากผงไม้ที่เติมเข้าไปในพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ มีผลให้ความหนืดของระบบวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น และส่งผลให้เกิดแรงเค้นเฉือน (Shearing stress) ระหว่างการไหลเพิ่มขึ้นโดยการหมุนของหัวขึ้นรูป แรงอัดรีดและความดันตกคร่อมลดลงเมื่อหมุนหัวขึ้นรูปดังคำอธิบายไว้ก่อนหน้านี้



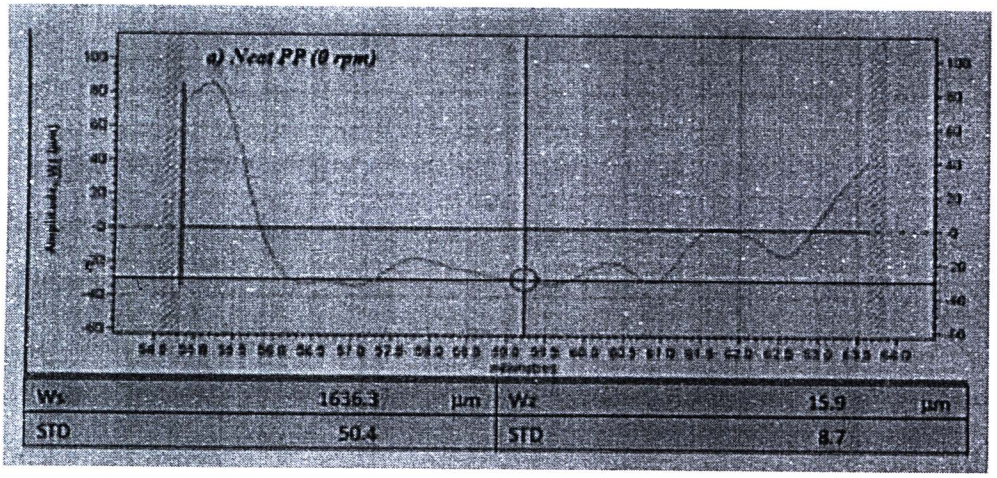
รูปที่ 4.1 ความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปและความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป ของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ ระหว่างการอัดรีดในเครื่องอัดรีด ที่อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส ณ อัตราเครียดเฉือน 2.0 4.7 และ 7.8 วินาที$^{-1}$ ที่อัตราส่วนขี้เลื่อยไม้ (a) 0 %wt, (b) 10 %wt, (c) 2 0%wt, (d) 30 %wt

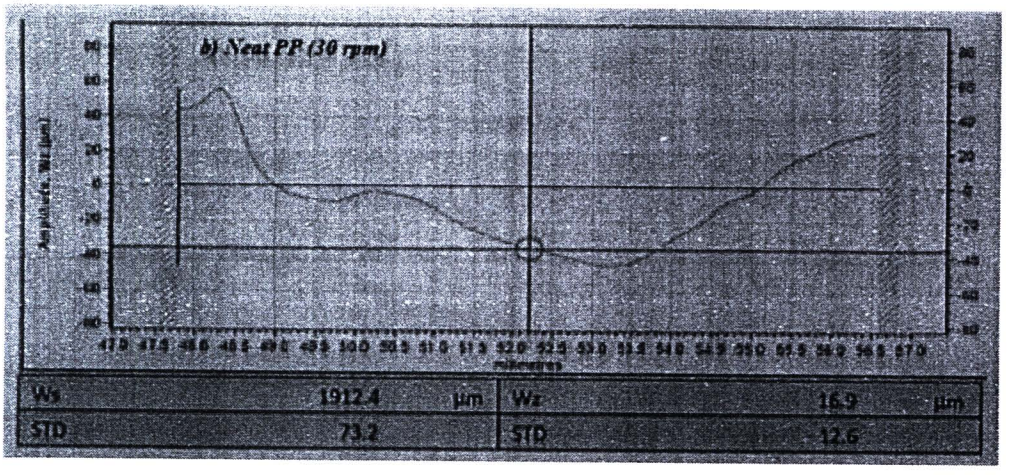


รูปที่ 4.2 (ต่อ)ความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปและความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป ของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ ระหว่างการอัดรีดในเครื่องอัดรีด ที่อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส ณ อัตราเครียดเฉือน 2.0 4.7 และ 7.8 วินาที$^{-1}$ ที่อัตราส่วนขี้เลื่อยไม้ (a) 0 %wt, (b) 10 %wt, (c) 2 0%wt, (d) 30 %wt

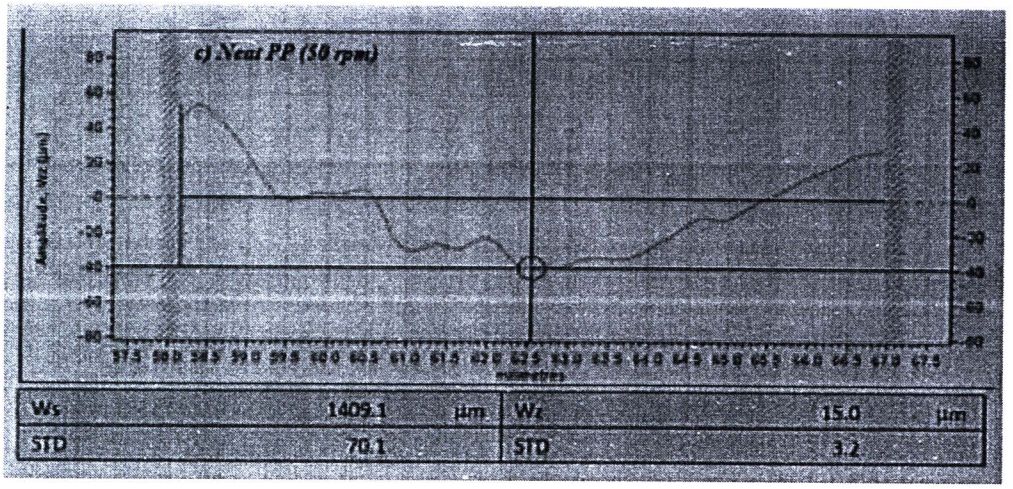
4.2 การศึกษาพฤติกรรมการเกิดรอยฟันฉลามของวัสดุเชิงประกอบ

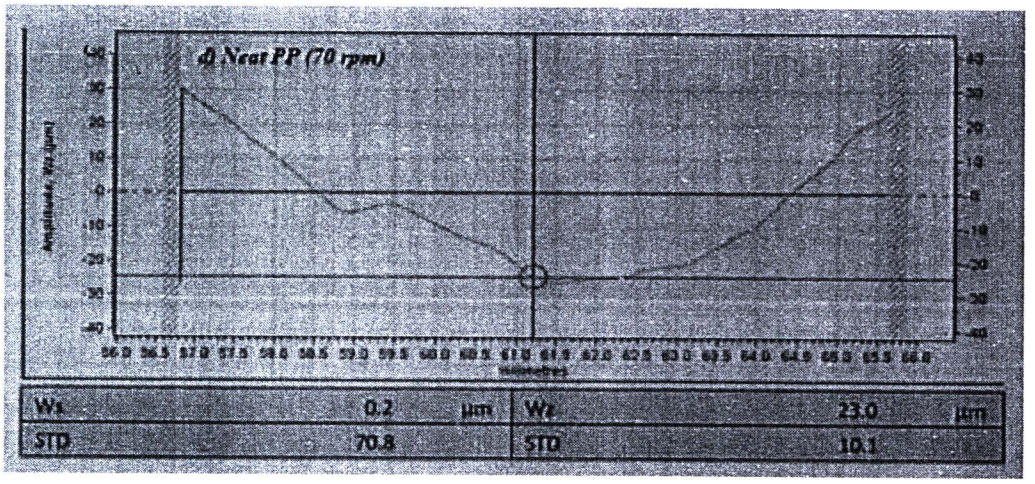
4.2.1 พฤติกรรมการเกิดรอยฟันฉลามของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ในกระบวนการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว



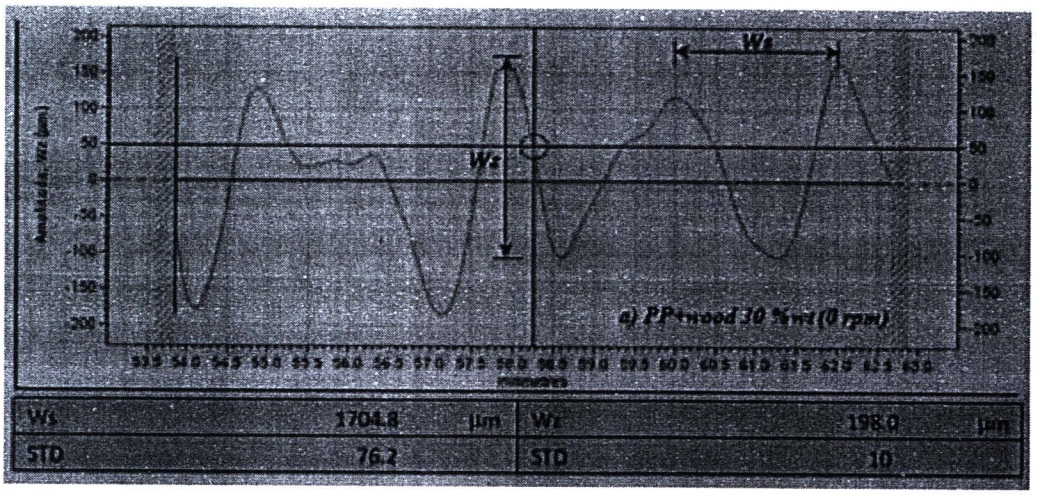


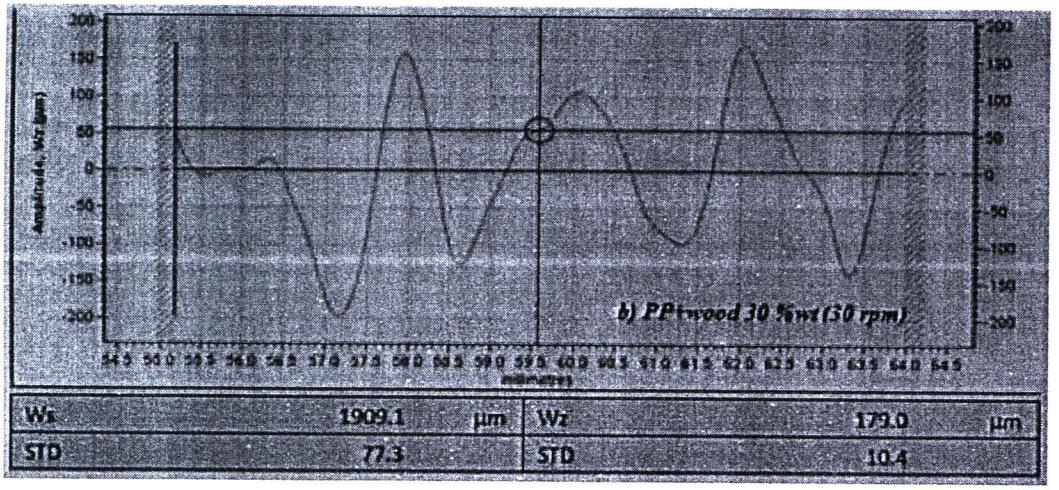
รูปที่ 4.2 รูปแบบความหยาบผิวของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ที่ผ่านการอัดรีด โดยใช้หัวขึ้นรูปแบบหมุนที่ความเร็วรอบต่างๆ ณ อัตราเครียดเฉือน 7.8 วินาที$^{-1}$และอุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส

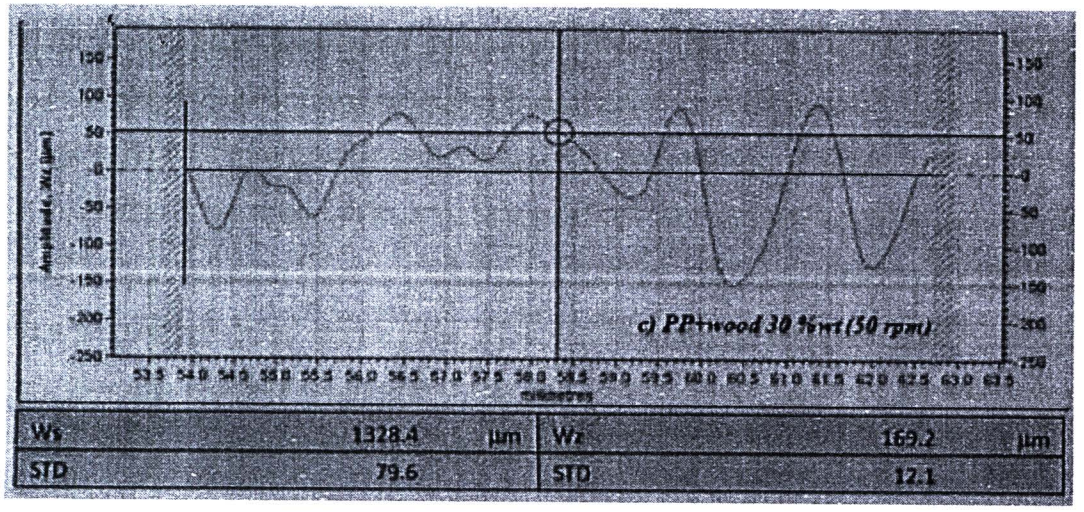


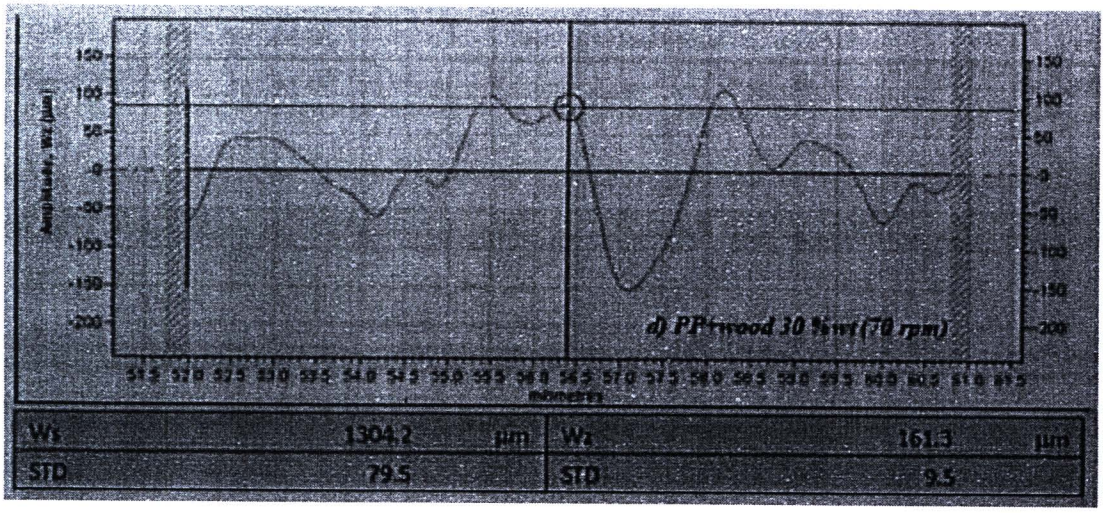


รูปที่ 4.2 (ต่อ)รูปแบบความหยาบผิวของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ที่ผ่านการอัดรีด โดยใช้หัวขึ้นรูปแบบหมุนที่ความเร็วรอบต่างๆ ณ อัตราเครียดเฉือน 7.8 วินาที$^{-1}$และอุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส







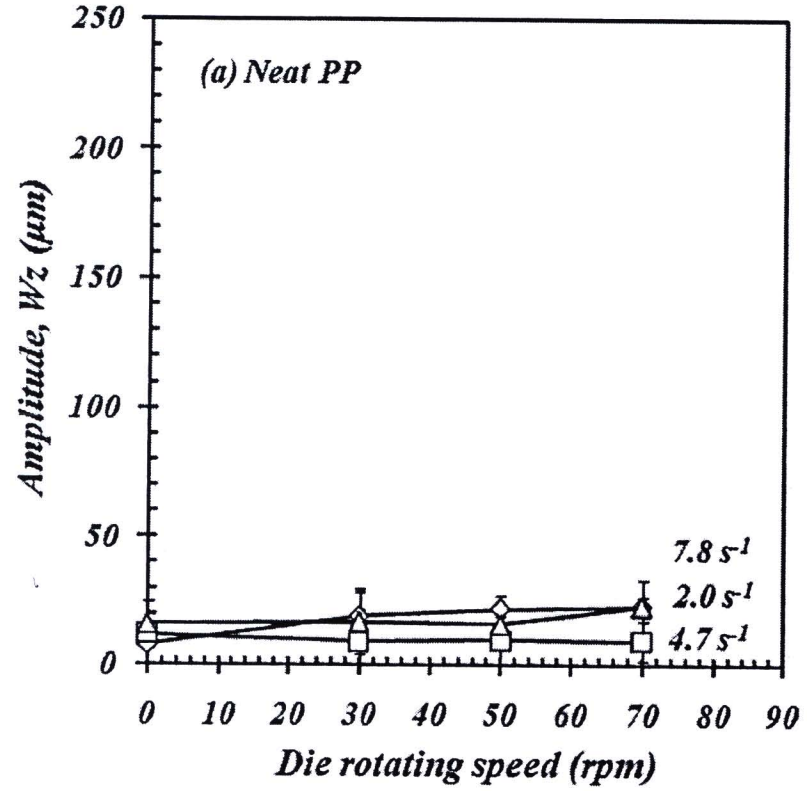


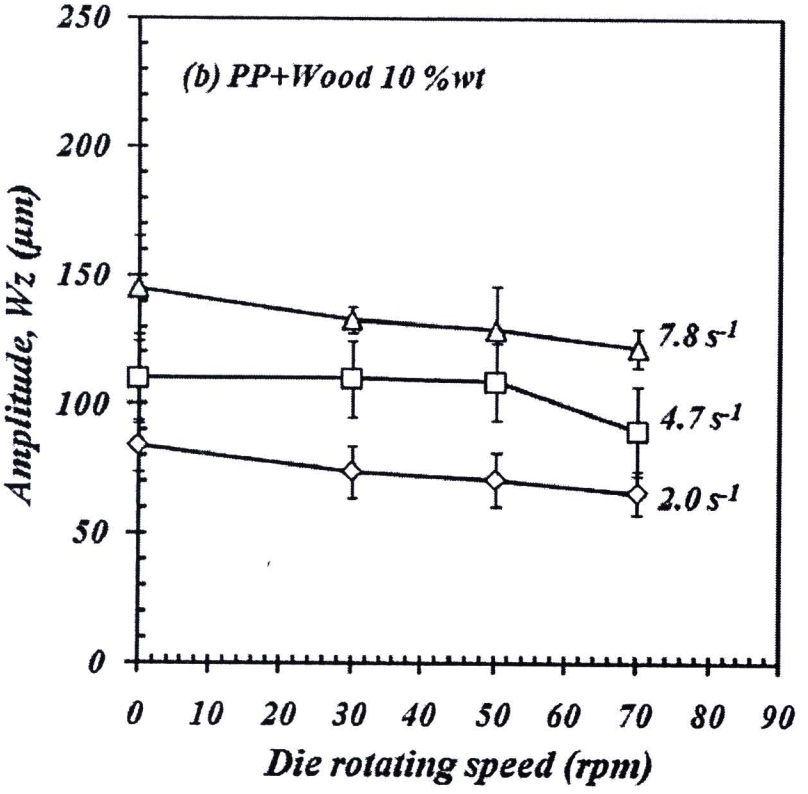
รูปที่ 4.3 รูปแบบความหยาบผิววัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ ที่มีอัตราส่วนขี้เลื่อย 30 เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านการอัดรีดโดยใช้หัวขึ้นรูปแบบหมุนที่ความเร็วรอบต่างๆ ณ อัตราเครียดเฉือน 7.8 วินาที$^{-1}$ และ อุณภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส

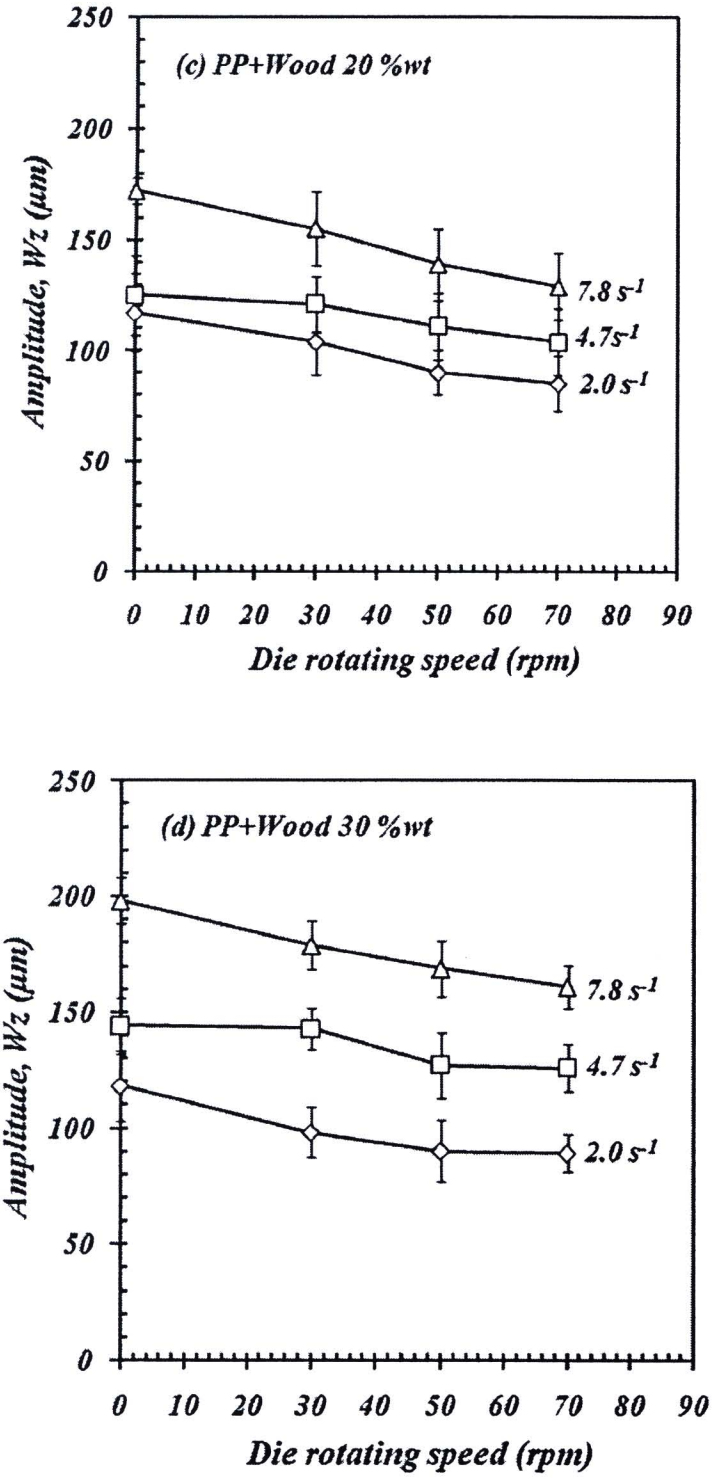
จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงรูปแบบการเกิดรอยฟันฉลามจากเครื่องวัดความความหยาบผิวของชิ้นงานที่ผ่านการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ที่ใช้หัวขึ้นรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่มีอัตราส่วนขี้เลื่อยตั้งแต่ 0 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ณ อัตราเครียดเฉือน 7.8 วินาที$^{-1}$ โดยการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปที่เพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดคือ 0 30 50 และ 70 รอบต่อนาที และใช้อุณหภูมิทดสอบของหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.2 พบว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ที่ผ่านการอัดรีดมีความหยาบของผิวชิ้นงานที่ใกล้เคียงกันมากเมื่อมีการหมุนหัวขึ้นรูปแต่ในวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่มีอัตราส่วนขี้เลื่อยที่แตกต่างกันมีความหยาบผิวของชิ้นงานที่แตกต่างกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของหัวขึ้นรูป

จากรูปที่ 4.3 วัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่มีอัตราส่วนขี้เลื่อย 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะมีลักษณะการเกิดความขรุขระและรูปแบบการเกิดรอยฟันฉลามขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดการเกิดรอยฟันฉลามในรูปแบบของ ช่วงเวลา และแอมพลิจูดลดลง เมื่อมีการเพิ่มของความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป การวัดการเกิดรอยฟันฉลามสามารถวัดในรูปแบบของ ช่วงเวลา (Period,Ws) และแอมพลิจูด (Amplitude,Wz) ในการทดสอบความหยาบผิวและการแตกหักที่ผิวของวัสดุ ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยก่อนนี้ของ Miller และคณะ [39] ดังนั้นการเกิดรอยฟันฉลามสามารถลดได้โดยการใช้หัวขึ้นรูปแบบหมุนเคลื่อนที่ได้ เพื่อความเข้าใจที่มากขึ้น สามารถอธิบายจากผลการทดลองในรูปแบบของค่าแอมพลิจูด และช่วงเวลาสำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่มีอัตราส่วนขี้เลื่อยไม้ ต่างๆ ที่อัตราเครียดเฉือน 2.0 4.7 และ 7.8 วินาที$^{-1}$ และความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปที่เพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดที่ 0 30 50 และ 70 รอบต่อนาที (rpm)

จากรูปที่ 4.4 วัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ มีขนาดของแอมพลิจูดมากกว่าพอลิเมอร์พอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้มีความหนืดสูงขณะทำการอัดรีด โดยสังเกตได้จากความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้มีค่าสูงดังแสดงในรูปที่ 4.1


(a) Neat PP
Amplitude, Wz (μm)
250
200
150
100
50
0
7.8 s-1
2.0 s-1
4.7 s-1
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90
Die rotating speed (rpm)

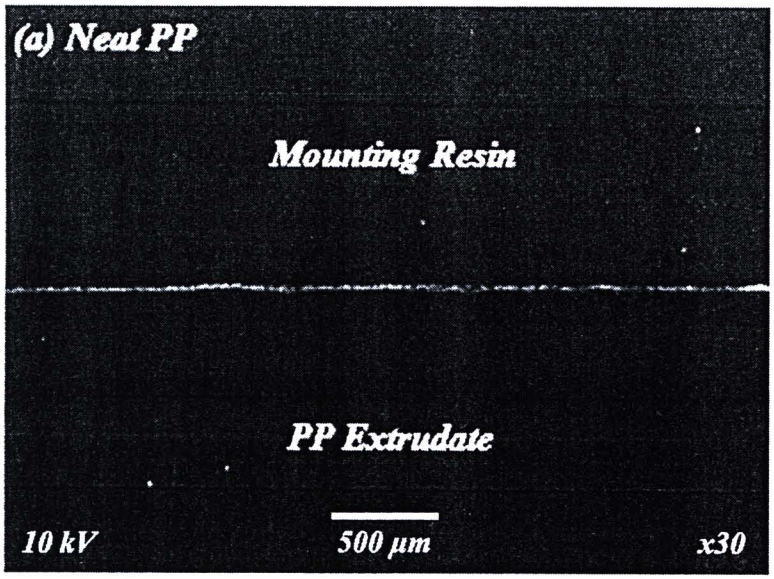

(b) PP+Wood 10 %wt
Amplitude, Wz (μm)
250
200
150
100
50
0
7.8 s-1
4.7 s-1
2.0 s-1
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90
Die rotating speed (rpm)



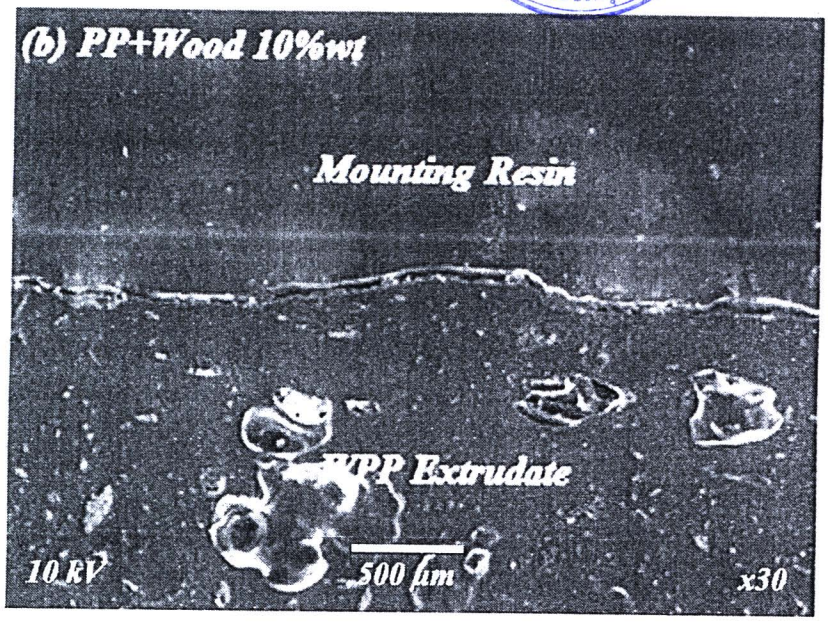
รูปที่ 4.4 อิทธิพลของหัวขึ้นรูปแบบหมุนและอัตราเครียดเฉือนที่มีผลต่อระดับแอมพลิจูดของความหยาบผิวของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ ณ อัตราเครียดเฉือนต่างๆ ที่อุณหภูมิที่หัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส

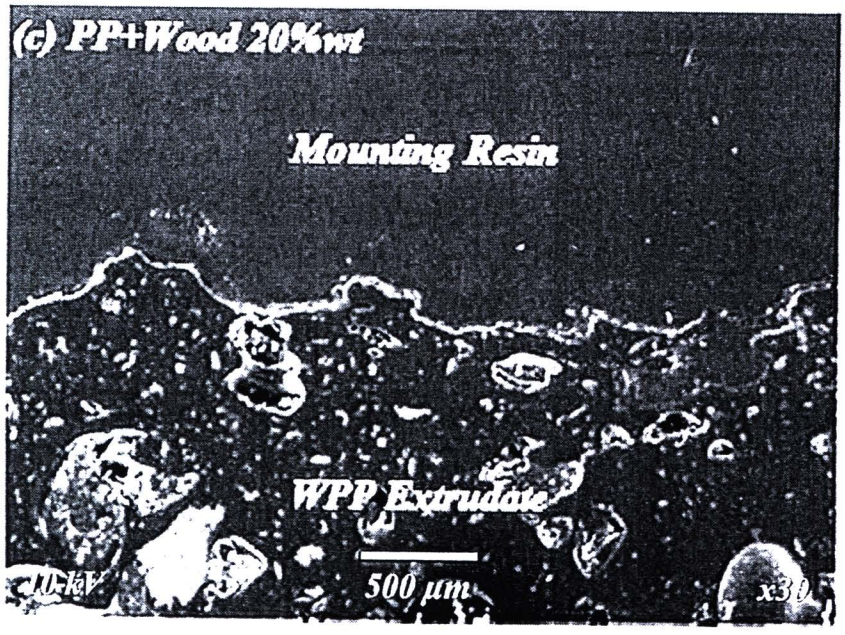
จากรูปที่ 4.4 แสดงค่าแอมพลิจูด ของรอยฟันฉลามของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์และวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับ ขี้เลื่อยไม้ซึ่งได้รับอิทธิพลของอัตราเครียดเฉือน พบว่าแอมพลิจูดเพิ่มมากขึ้นมื่อเพิ่มอัตราการเครียดเฉือนผนังและค่าแอมพลิจูดเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนขี้เลื่อยไม้ที่เพิ่มมากขึ้น จากรูปที่ 4.4b-4.4d พบว่าเมื่อค่าอัตราเครียดเฉือนสูงๆ ทำให้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดรีดมีค่าแอมพลิจูดที่สูงซึ่งการเพิ่มอัตราเครียดเฉือนส่งผลต่อการเพิ่มความเค้นเฉือนและทำให้เกิดรอยฟันฉลามสำหรับวัสดุที่มีความเป็นวิสคัสสูง เช่นวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ พบว่าผลจากการหมุนหัวขึ้นรูปช่วยลดแอมพลิจูดและช่วงเวลาของการเกิดรอยฟันฉลามในส่วนของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ โดยเฉพาะวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่มีปริมาณขี้เลื่อยไม้ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ณ อัตราเครียดเฉือนผนังสูง 7.8 วินาที$^{-1}$ (รูปที่ 4.4d) ซึ่งการหมุนหัวขึ้นรูปส่งผลให้เกิดการเสียดสีกันของสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ ทำให้เกิดความร้อนเนื่องมาจากแรงเฉือน (Shear Heating) ทำให้วัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ มีความเป็นวิสคัสมากขึ้นและมีความหนืดลดลง ส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดและระดับการเกิดรอยฟันฉลามลดลง

ผลการพิสูจน์หลักฐาน พบว่าระดับการเกิดรอยฟันฉลามเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนขี้เลื่อยไม้ในวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ สามารถตรวจสอบได้จากผลการทดสอบจากกล้องจุลทรรศ์แบบส่งกราด (SEM) จากรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงภาพหน้าตัดของชิ้นงานของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่ปริมาณต่างๆ โดยไม่หมุนหัวขึ้นรูป

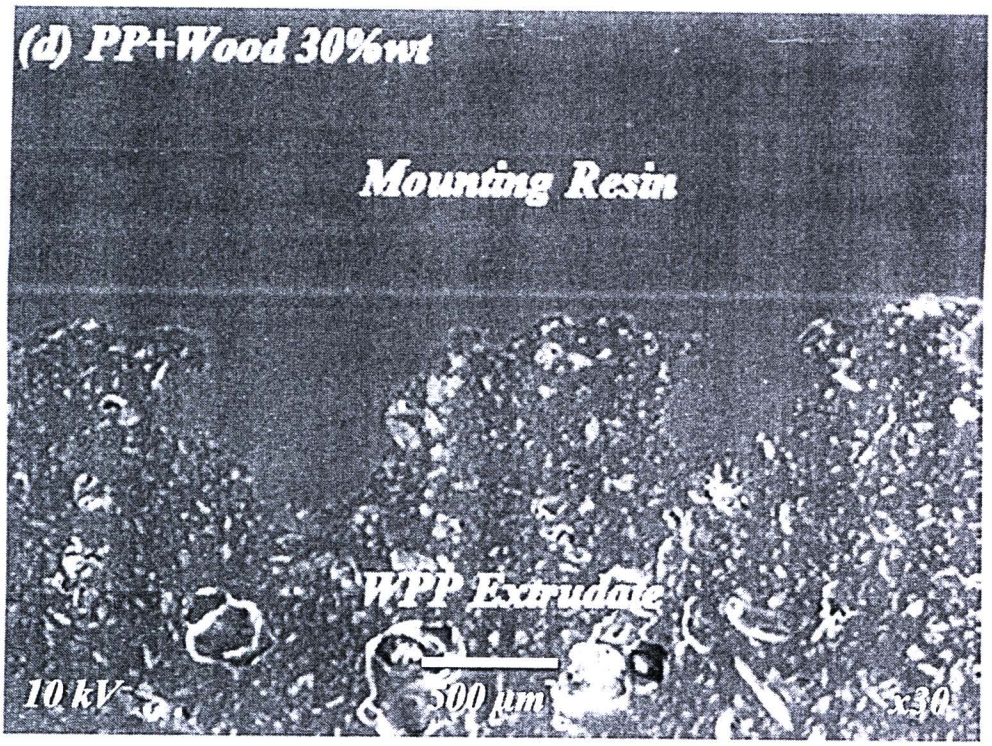


รูปที่ 4.5 ภาพตัดของหน้าตัดชิ้นงานตามแนวการอัดรีดจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ ณ อัตราเครียดเฉือน 7.8 วินาที$^{-1}$ โดยไม่มีการหมุนหัวขึ้นรูป



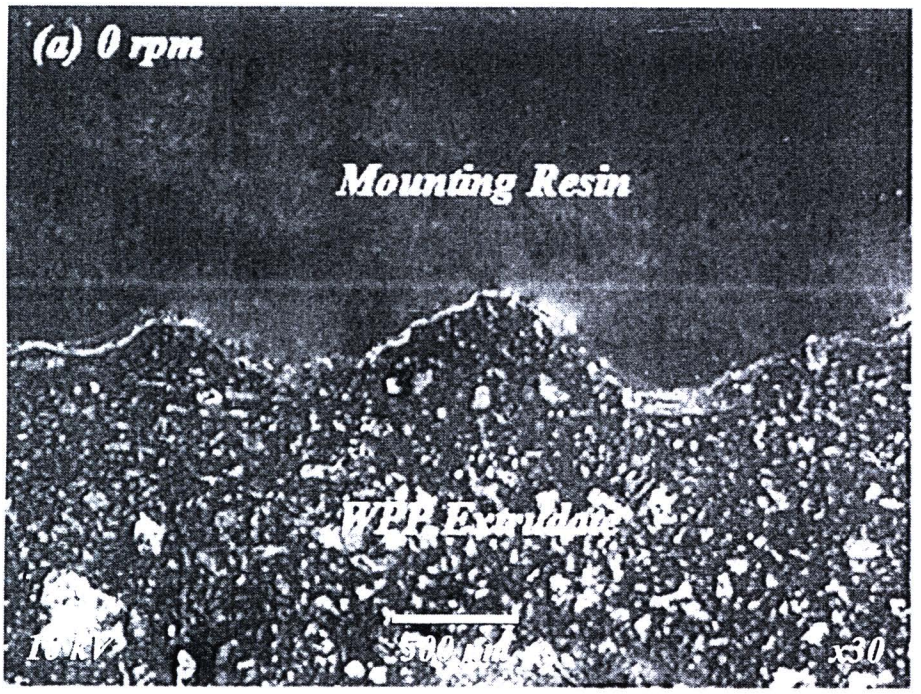


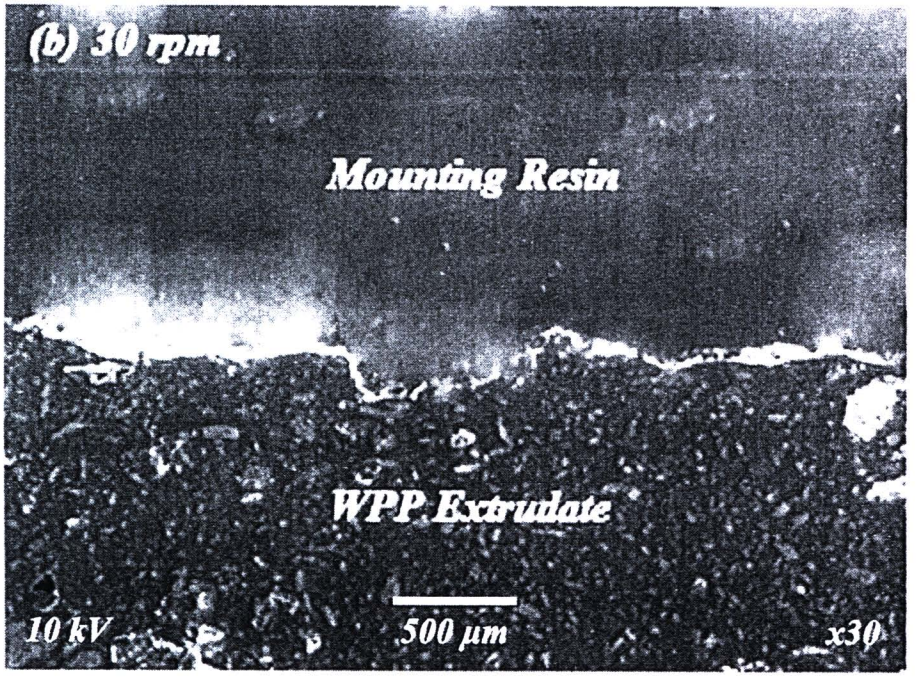
รูปที่ 4.5 (ต่อ)ภาพตัดของหน้าตัดชิ้นงานตามแนวการอัดรีดจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ ณ อัตราเครียดเฉือน 7.8 วินาที$^{-1}$ โดยไม่มีการหมุนหัวขึ้นรูป

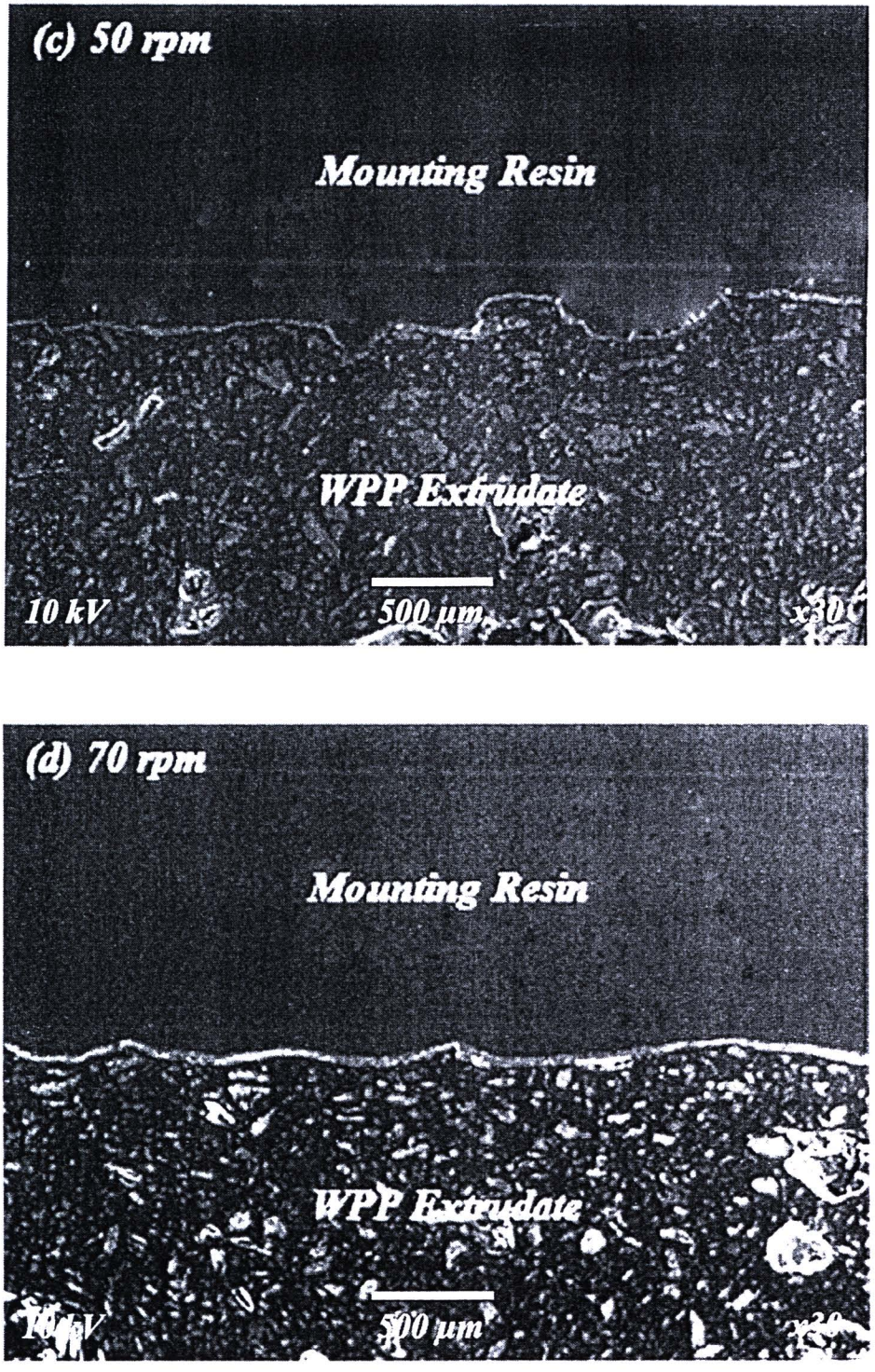


รูปที่ 4.5 (ต่อ)ภาพตัดของหน้าตัดชิ้นงานตามแนวการอัดรีดจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ ณ อัตราเครียดเฉือน 7.8 วินาที$^{-1}$ โดยไม่มีการหมุนหัวขึ้นรูป

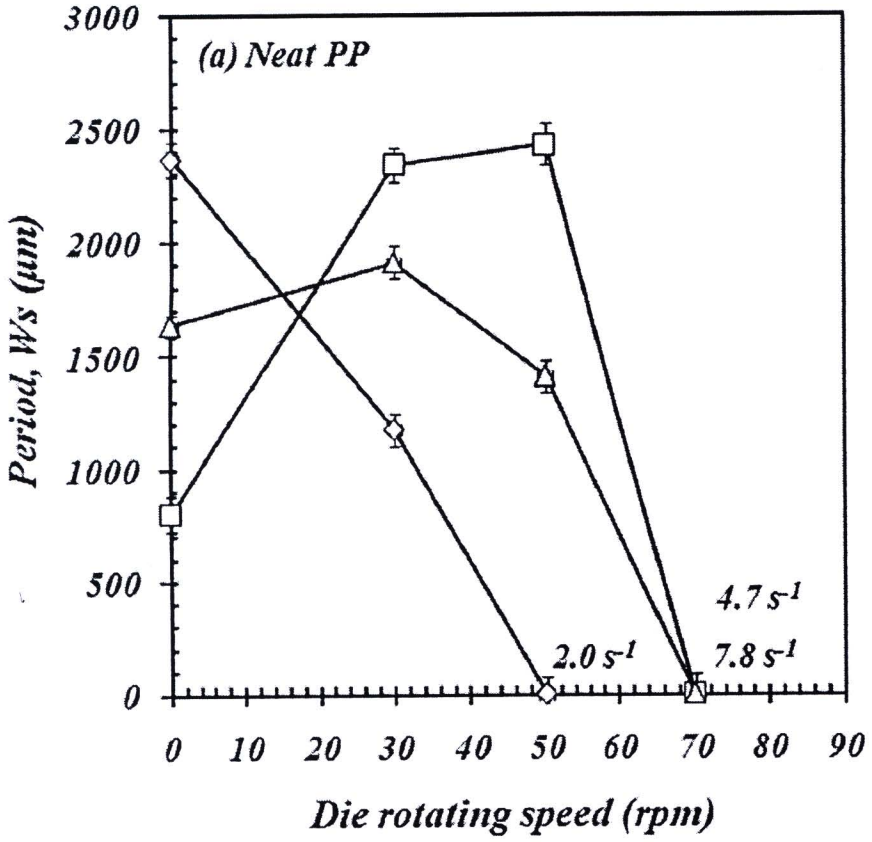
จากรูปที่ 4.6a-4.6d แสดงภาพถาพตัดของหน้าตัดชิ้นงานตามแนวการอัดรีดจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ในอัตราส่วนขี้เลื่อยไม้ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ณ อัตราเครียดเฉือน 7.8 วินาที$^{-1}$ โดยเพิ่มความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปที่เพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดตั้งแต่ 0-70 รอบต่อนาที พบว่าชิ้นงานมีระดับความขรุขระที่ผิวและการเกิดรอยฟันฉลามลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป โดยสามารถยืนยันผลการทดลองจากรูปที่ 4.1 และ 4.4 - 4.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับการเกิดรอยฟันฉลามในวัสดุที่มีความหนืดสูงสามารถลดลงได้โดยใช้ระบบหัวขึ้นรูปแบบหมุนซึ่งสามารถเพิ่มกำลังการผลิตหรือผลผลิตในการอัดรีดชิ้นงานพอลิเมอร์

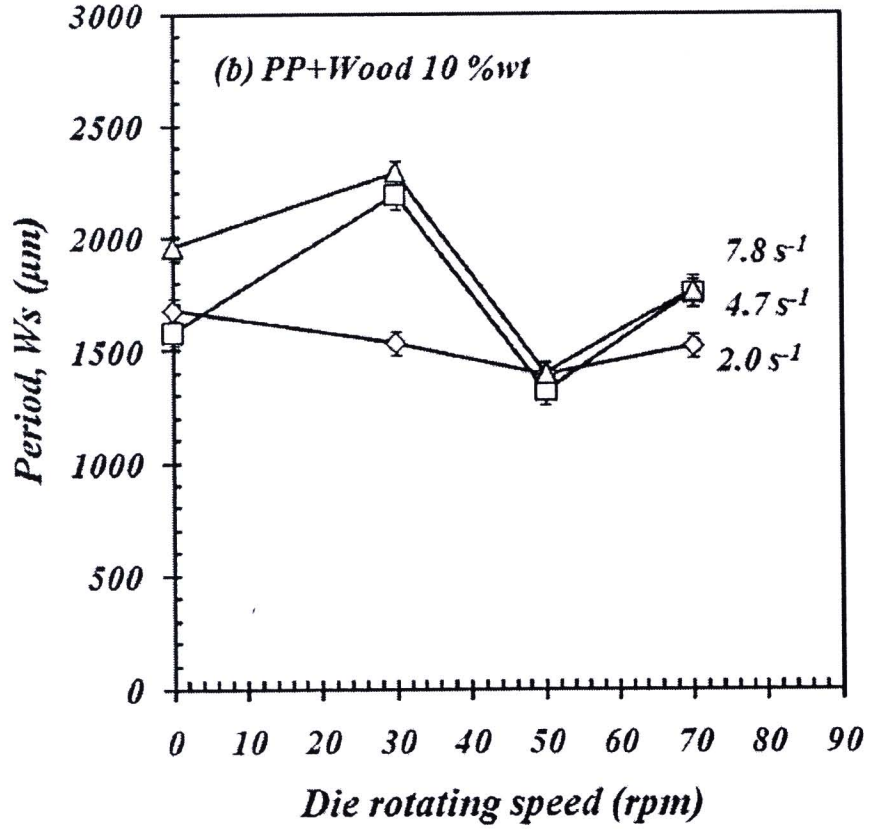

(a) 0 rpm
Mounting Resin
WPP Extrudate
10 kV
500 µm
x30

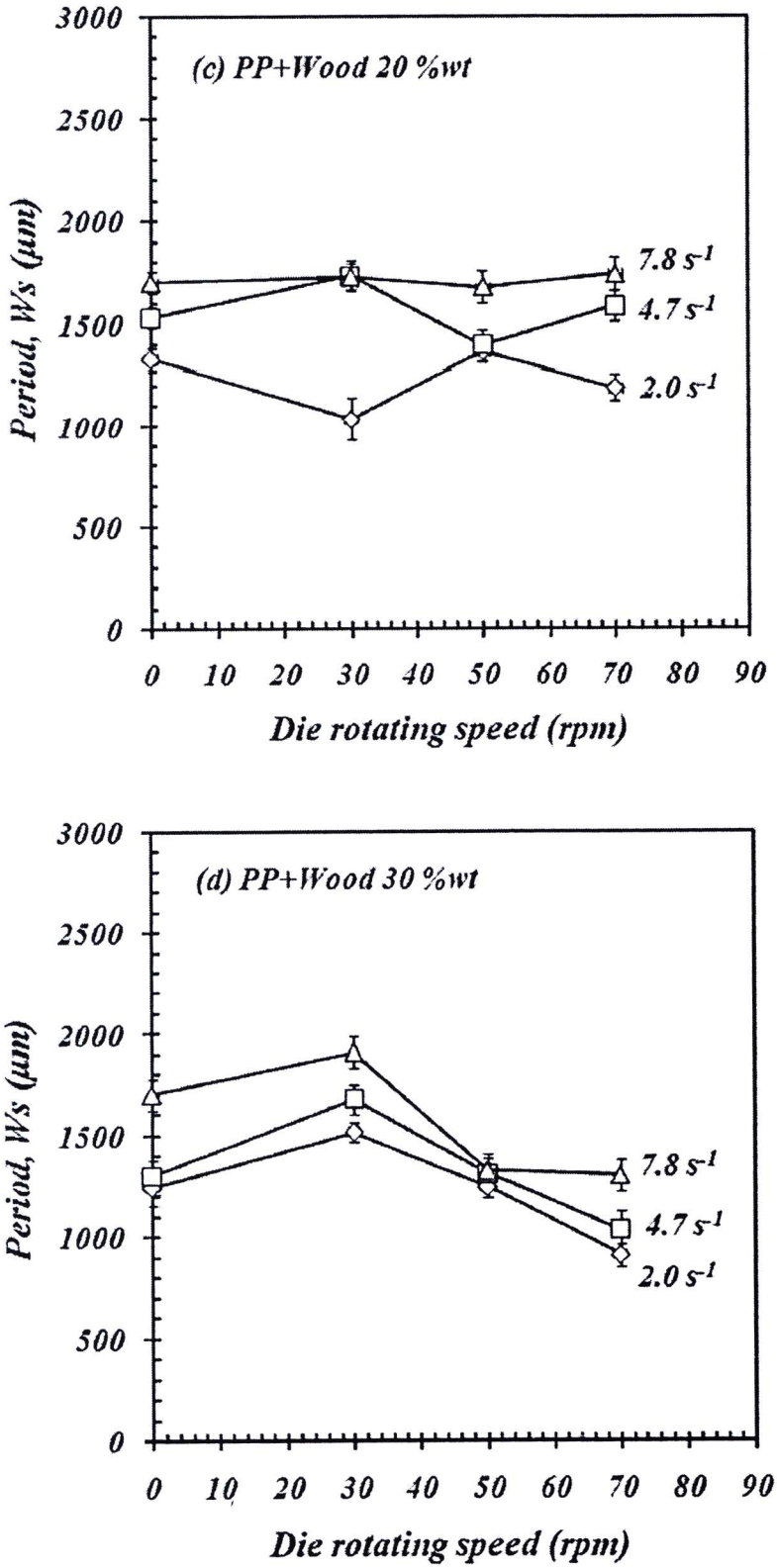

(b) 30 rpm
Mounting Resin
WPP Extrudate
10 kV
500 µm
x30



รูปที่ 4.6 ภาพตัดของหน้าตัดชิ้นงานตามแนวการ อัดรีดจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ในอัตราส่วนขี้เลื่อยไม้ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ณ อัตราเครียดเฉือน 7.8 วินาที$^{-1}$ ที่ความเร็วรอบต่างๆของการหมุนหัวขึ้นรูป

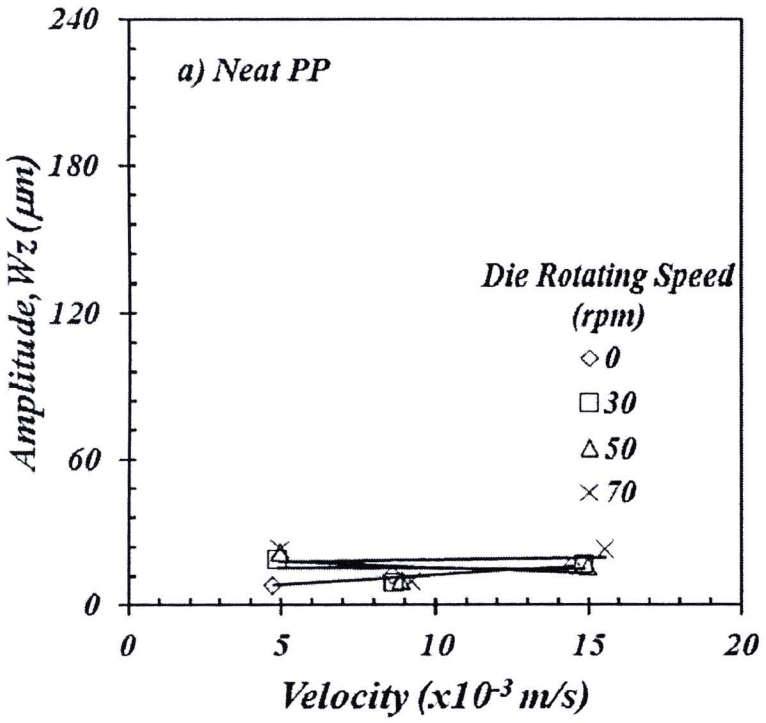

(a) Neat PP
Period, Ws (μm)
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90
Die rotating speed (rpm)
4.7 s-1
2.0 s-1
7.8 s-1


(b) PP+Wood 10 %wt
Period, Ws (μm)
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90
Die rotating speed (rpm)
7.8 s-1
4.7 s-1
2.0 s-1

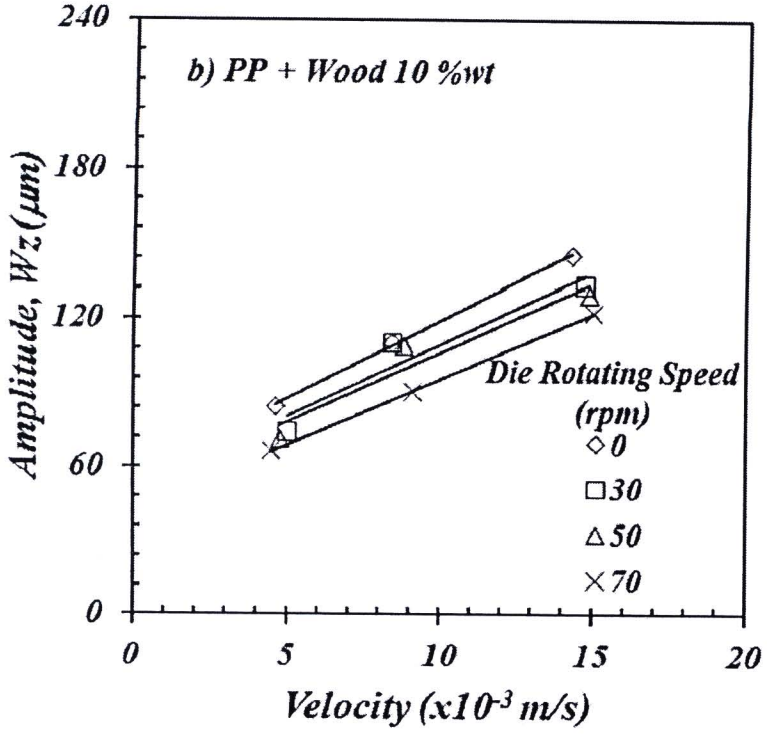


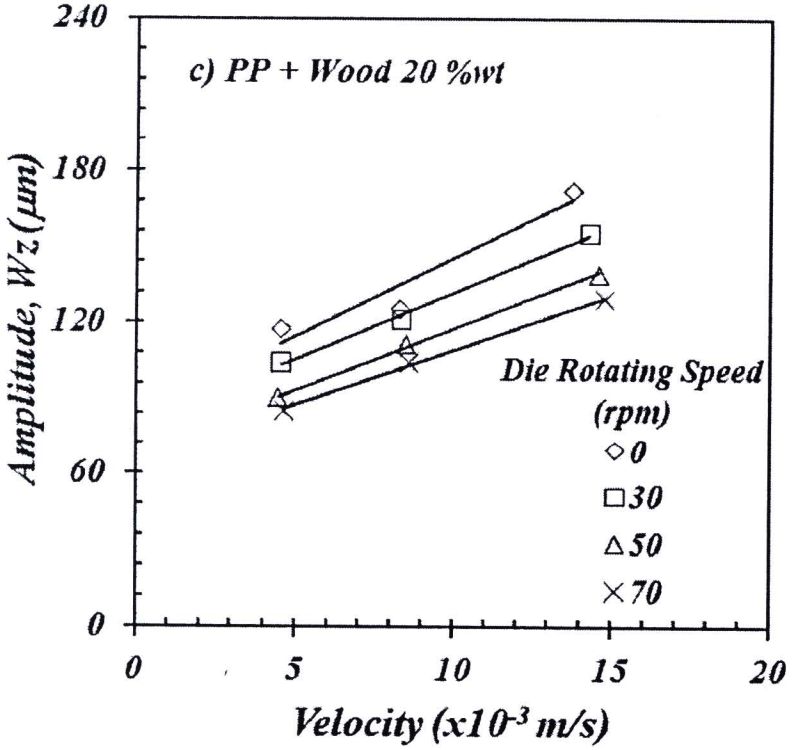
รูปที่ 4.7 อิทธิพลของความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปและอัตราเครียดเฉือนผนังที่มีผลต่อช่วงเวลา (Ws) ของความหยาบผิวของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ และวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.7 อิทธิพลของความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปและอัตราเครียดเฉือนผนังที่มีผลต่อช่วงเวลาของความหยาบผิวชิ้นงานของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ และวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่อัตราขี้เลื่อยไม้แตกต่างกัน พบว่า การเกิดช่วงเวลาของรอยฟันฉลามบนผิวชิ้นงานไม่ชัดเจนและแน่นอนโดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์เกิดช่วงเวลาของรอยฟันฉลาม ที่ผันผวนมากที่สุด เนื่องจากพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ไม่เกิดรอยฟันฉลาม แต่มีแนวโน้มของการเกิดช่วงเวลาลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป

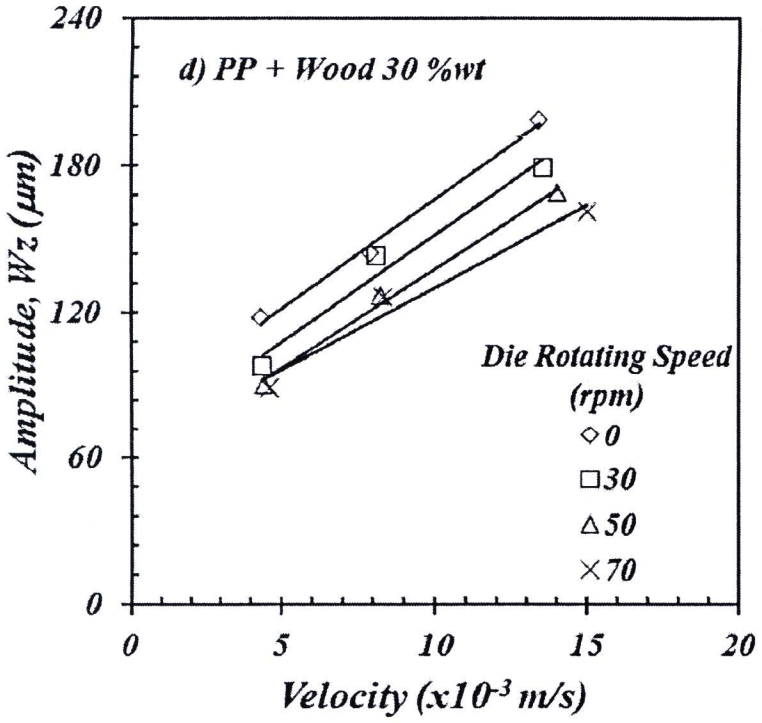


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความเร็วเฉลี่ยของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกจากหัวขึ้นรูปที่ระดับความเร็วรอบต่างๆของการหมุนหัวขึ้นของพอลิพรอพิลีน และวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ ณ อัตราเครียดเฉือนต่างๆ ที่อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส





รูปที่ 4.8 (ต่อ)ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความเร็วเฉลี่ยของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกจากหัวขึ้นรูปที่ระดับความเร็วรอบต่างๆของการหมุนหัวขึ้นของพอลิพรอพิลีน และวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ ณ อัตราเครียดเฉือนต่างๆ ที่อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 (ต่อ)ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความเร็วเฉลี่ยของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกจากหัวขึ้นรูปที่ระดับความเร็วรอบต่างๆของการหมุนหัวขึ้นของพอลิพรอพิลีน และวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ ณ อัตราเครียดเฉือนต่างๆ ที่อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส

Allal และคณะ [20]ได้เสนอแนะว่าความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด และความร็วของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกจากหัวขึ้นรูป สามารถวัดในเชิงปริมาณจากผิวชิ้นงานพอลิเมอร์ที่เกิดรอยฟันฉลามซึ่งสามารถคำนวณหาเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัว (Relaxation time, θ) จากสมการที่ 4.1

$$\theta = \frac{W_z}{\bar{V}} \tag{4.1}$$

เมื่อ W_z = แอมพลิจูดของความหยาบผิวชิ้นงาน

$\bar{V}$ = ความเร็วเฉลี่ยของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกจากหัวขึ้นรูป

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความเร็วเฉลี่ยพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกจากหัวขึ้นรูป ของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ โดยใช้ความเร็ว

รอบการหมุนหัวขึ้นรูปที่เพิ่มขึ้นที่อัตราเครียดเฉือน 7.8 วินาที$^{-1}$ และอุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าค่าแอมพลิจูดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป แต่ค่าแอมพลิจูดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกจากหัวขึ้นรูป

ตารางที่ 4.1 การคำนวณเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่มีอัตราส่วนขี้เลื่อยไม้แตกต่างกันโดยใช้ความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปที่แตกต่างกัน

ความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป	**เวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัว** (10^{-3}s)			
	อัตราส่วนขี้เลื่อยไม้ (%wt)			
	0	10	20	30
0	0.8	6.3	6.1	8.9
30	0.3	5.8	5.3	8.7
50	0.2	5.6	4.8	8.2
70	0.2	5.3	4.3	6.7

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ที่อัตราส่วนขี้เลื่อยไม้ 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปที่แตกต่างกัน พบว่าเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวของพอลิพรอพิลีนมีค่าต่ำมาก และ เวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้ มีค่าระหว่าง 4.3×10^{-3} ถึง 8.9×10^{-3} วินาที ซึ่งทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดลองนี้ โดยเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Allal และคณะ [20] โดยเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวของพอลิพรอพิลีน เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของขี้เลื่อยไม้ 10 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของขี้เลื่อยไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้แสดงความเป็นอิลาสติกสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุพอลิเมอร์หลอมเหลว [40-41] และจะเห็นว่า เวลาที่พอลิ

เมอร์ใช้ในการคลายตัวของพอลิพรอพิลีน และวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป

สำหรับการลดลงของเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวหมายความว่าวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้สามารถคลายตัวได้อย่างรวดเร็วระหว่างการไหลในหัวขึ้นรูป และเก็บสะสมพลังงาน (Stored elastic energy) ได้น้อย ส่งผลให้ลดรอยฟันฉลามบนผิวชิ้นงานที่อัดรีดออกมาจากหัวขึ้นรูป และจากผลการทดลองพบว่าระบบหัวขึ้นแบบหมุนสามารถลดความรุนแรงการเกิดรอยฟันฉลามได้โดยการลดเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้