



246679



การทดลองเปิดรอยพื้นลวดลายในวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ชนิดแข็งที่เชื่อมไม้โดยใช้เทคนิค
หัตถ์ขึ้นรูปแบบทอแบบเล็งคั่นที่ไม้

นายธรรม์ โภชนะ

โครงการวิจัยที่มหาวิทยาลัย เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่สนับสนุน
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ
คณะเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2554



246679

การลดการเกิดรอยฟingerprint ในวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนและซีลือขไม้โดยใช้เทคนิคหัวขึ้น
รูปแบบหมุนเคลื่อนที่ได้

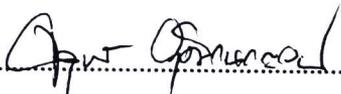
นายวรรณัฐ ไกยเดช วศ.บ. (ปีโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์)

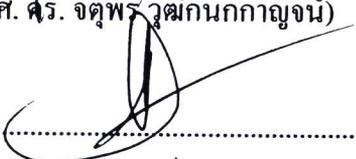
โครงการการศึกษาวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2554



คณะกรรมการสอบโครงการการศึกษาวิจัย


.....
(รศ. ดร. จตุพร วุฒิกนกกาญจน์)


.....
(ศ. ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ)


.....
(ดร. ศิรินทร ทองแสง)

ประธานกรรมการสอบโครงการการศึกษาวิจัย

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการการศึกษาวิจัย

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อโครงการการศึกษาวิจัย	การลดการเกิดรอยฟingerprint ในวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนและ จีลีโอไมท์โดยใช้เทคนิคหัวขึ้นรูปแบบหมุนเคลื่อนที่ได้
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายวรรณัฐ ไกยเดช
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศ. ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวัสดุ
สายวิชา	เทคโนโลยีวัสดุ
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

246679

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบหัวขึ้นรูปแบบหมุนสำหรับการลดความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูป และการเกิดรอยฟingerprint ของพอลิพรอพิลีนของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับจีลีโอไมท์ ในกระบวนการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยศึกษาปริมาณจีลีโอไมท์ อัตราครีดยืด ความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงปริมาณ โดยการทดสอบความหยาบผิว และเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัว โดยศึกษาในเชิงคุณภาพ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ผลการทดลองพบว่า ความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปของพอลิพรอพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของจีลีโอไมท์และอัตราครีดยืด โดยความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับจีลีโอไมท์ มีอัตราส่วนจีลีโอไมท์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีค่าลดลง 20-50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการหมุนหัวขึ้นรูปที่อัตราความเร็วรอบ 70 รอบต่อนาที ส่วนระดับการเกิดรอยฟingerprint และเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัว มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณจีลีโอไมท์ในวัสดุเชิงประกอบ ในงานวิจัยนี้พบว่าระดับการเกิดการแตกหักรอยฟingerprint ของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีการหมุนของหัวขึ้นรูป ซึ่งช่วยลดแรงจากการอัดรีดของชิ้นงานที่ผลิตจากวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับจีลีโอไมท์ที่มีความหนืดสูง

คำสำคัญ: เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว/วัสดุเชิงประกอบ/หัวขึ้นรูปแบบหมุน

Rersearch Study Title Sharkskin Minimization in Wood/Polypropylene Composites in Rotating Die Technique

Rersearch Study Credits 6

Candidate Mr. Woranut Kaiyaded

Rersearch Study Advisor Prof. Dr. Narongrit Sombatsompop

Program Master of Engineering

Field of Study Materials Technology

Department Materials Technology

Faculty School of Energy, Environment and Materials

B.E. 2554

Abstract

246679

This study used a newly developed rotating die system for purposes of reducing entrance pressure drop and sharkskin fracture for molten polypropylene (PP) and wood/polypropylene (WPP) composites in a single-screw extruder. The sharkskin fracture characteristics of the PP and WPP composite surfaces were examined quantitatively via roughness profiles and relaxation time evaluations, and qualitatively through scanning electron microscopy (SEM) under the effects of wood content, shear rate, die temperature, and die rotation speed. The experimental results suggested that the entrance pressure drop of PP increased with increasing wood content and shear rate. The die entrance pressure drop for WPP composite melt with 30%wt wood content could be minimized by 20–50% by using a die rotation speed of 70 rpm. The roughness level (sharkskin) and relaxation time were found to increase with increasing wood content, but could be minimized by rotating the die, the die rotating effect being more meaningful for WPP as compared with neat PP extrudate. The rotating die system was found to be an effective technique for minimizing the extrusion load and fracture level of extrudate skins for high-viscosity materials such as the wood/PP composites used in this work.

Keywords: Rotating Die/Single Screw Extruder/Composites

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินมาจนสำเร็จลุล่วง เพราะได้รับความรู้และคำแนะนำตลอดจนทักษะการวิจัยที่ดีจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ.ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ รวมทั้งคณาจารย์ นักวิจัย และบุคลากรทุกท่านในสายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณวัชรินทร์ สิทธิเจริญ คุณวัลลภ หาญณรงค์ชัย และดร. นเรศ อินตะวงศ์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คุณชัชวาลย์ กันทะลา และคุณชัชชัย วงศ์เฉลียว นักวิจัยประจำกลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำแนวทางแก้ไขปัญหาระหว่างการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.จตุพร วุฒิกนกกาญจน์ และ ผศ.ดร.ทิพพรรณ ปะละไทย อาจารย์คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับความกรุณาในการเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณ คุณเควิช ชนนิยม ที่อำนวยความสะดวกในการสร้างเครื่องมือในงานวิจัย ขอขอบคุณสมาชิกกลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งร่างกายและกำลังใจระหว่างทำงานวิจัย สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจ ความเข้าใจ และความช่วยเหลือในทุกด้านเสมอมา จนทำให้งานวิจัยนี้ดำเนินไปบรรลุถึงเป้าหมาย ซึ่งผู้วิจัยตระหนักและระลึกถึงตลอดไป

ประโยชน์อันใดที่พึงจะก่อเกิดจากการทำวิทยานิพนธ์นี้ ย่อมเป็นผลมาจากความเมตตากรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ฎ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฏ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการดำเนินการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 วัสดุเชิงประกอบ พอลิพรอพิลีน และขี้เลื่อยไม้	4
2.1.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials)	4
2.1.2 พอลิพรอพิลีน	5
2.1.3 ขี้เลื่อยไม้ (Wood Sawdust)	6
2.2 การศึกษาสมบัติการไหล (Rheology)	7
2.2.1 รูปแบบการไหล	8
2.2.1.1 การไหลแบบเฉือน	8
2.2.1.2 การไหลแบบยืดดึง	10
2.2.2 ประเภทของของไหล	11
2.2.2.1 ของไหลที่ขึ้นกับเวลา	11
2.2.2.2 ของไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา	12

	หน้า	
2.3	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสมบัติทางอีลาสติคของพอลิเมอร์หลอมเหลว	14
2.3.1	การบวมตัวของพอลิเมอร์หลอมเหลว	15
2.3.2	พฤติกรรมเกิดการครอยฟั่นฉลามบนผิวพอลิเมอร์หลอมเหลว	20
2.3.3	การเกิดการเสีรูปร่าง	23
2.4	เครื่องมือวัดสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว	24
2.4.1	เครื่องคาปีลารีรีโอมิเตอร์	24
2.4.2	เครื่องรีโอมิเตอร์แบบเกลียวหนอนอัครีค	26
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
3.	วิธีการดำเนินการวิจัย	33
3.1	วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	33
3.1.1	วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	33
3.1.1.1	พอลิพรอพิลีน	33
3.1.1.2	ซีลื้อยไม้ยางพารา	33
3.1.2	การเตรียมเม็ดวัสดุเชิงประกอบด้วยการผสมแบบหลอม	33
3.1.2.1	การผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง	33
3.1.2.2	การผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องอัครีคแบบเกลียวหนอนคู้	35
3.1.3	เครื่องอัครีค	36
3.1.3.1	เครื่องอัครีคแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	40
3.2	วิธีดำเนินการทดลอง	42
3.2.1	การศึกษาสมบัติการไหลและการเกิดครอยฟั่นฉลามของวัสดุเชิงประกอบในเครื่องอัครีคแบบเกลียวหนอนเดี่ยวประกอบกับหัวขึ้นรูปแบบหมุน	42
3.2.2	การตรวจสอบลักษณะการเกิดครอยฟั่นฉลามของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับซีลื้อยไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	44
3.2.3	การวัดความหยาบผิวของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับซีลื้อยไม้ ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวขึ้นงาน	44
3.3	ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาการทดลอง	45

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	48
4.1 การศึกษาสมบัติการไหลของวัสดุเชิงประกอบ	48
4.1.2 สมบัติการไหลของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนและจีลี่ยไม้ในกระบวนการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	48
4.2 การศึกษาพฤติกรรมการเกิดรอยฟั่นฉลามของวัสดุเชิงประกอบ	52
4.2.1 พฤติกรรมการเกิดรอยฟั่นฉลามของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับจีลี่ยไม้ในกระบวนการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	52
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการทดลอง	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	72
ประวัติผู้วิจัย	77

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ตัวอย่างพอลิพรอพิลีนเกรดการค้าแบ่งตามลักษณะการใช้งาน	5
3.1	อัตราส่วนผสมพอลิพรอพิลีนและจีลีโอไมล์ยางพาราสำหรับการทดสอบสมบัติการไหลในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	34
4.1	การคำนวณเวลาที่พอลิเมอร์ใช้ในการคลายตัวของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบ พอลิพรอพิลีนกับจีลีโอไมล์ที่มีอัตราส่วนจีลีโอไมล์แตกต่างกัน โดยใช้ความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปที่แตกต่างกัน	68

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	โครงสร้างของเซลลูโลส	6
2.2	กระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ (Polymer processing)	7
2.3	การไหลที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นประกบคู่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน	9
2.4	การเสียรูปของวัสดุเนื่องมาจากแรงเฉือน	9
2.5	การไหลที่เกิดจากความแตกต่างของความดันภายในท่อ	10
2.6	ลักษณะการเสียรูปพอลิเมอร์หลอมเหลวขณะไหลแบบยืดดึง	11
2.7	พฤติกรรมกรรมการไหลของของไหลนิวโตเนียนและนอนิวโตเนียน (ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress กับ Shear rate)	12
2.8	ความสัมพันธ์ของ Log (Shear stress) และ Log (Shear rate)	14
2.9	พฤติกรรมบวมตัวของพอลิเมอร์หลอมเหลวเมื่อไหลออกจากหัวขึ้นรูป	15
2.10	ทฤษฎีการบวมตัวเนื่องด้วยความเป็นความเป็นอีลาสติกของพอลิเมอร์	16
2.11	ทฤษฎีการบวมตัวของพอลิเมอร์เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างการไหลของพอลิเมอร์	17
2.12	รูปแบบการไหลของยางธรรมชาติขณะไหลในเครื่องคาปีลารีโอมิเตอร์ (a) รูปแบบการไหลธรรมดา (b) รูปแบบการไหลซับซ้อน	18
2.13	รูปแบบการไหลของยางธรรมชาติในเครื่องคาปีลารีโอมิเตอร์ในระยการอัดรีดต่างๆ ของแท่งขับเคลื่อน	19
2.14	รูปแบบการไหลของพอลิพรอพิลีนตลอดความยาวของหัวขึ้นรูปในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่	20
2.15	การไหลกับพฤติกรรมกรรมการบวมตัว การเกิดรอยฟันฉลามและการเสียรูปทรงของพอลิเมอร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress กับ Shear rate	21
2.16	กลไกการเกิดรอยฟันฉลามบนผิวของพอลิเมอร์	21
2.17	การเกิดรอยฟันฉลามบนผิวของพอลิเมอร์เมื่อไหลออกมาจากหัวขึ้นรูป	22
2.18	แอมพลิจูด (Amplitude) และช่วงเวลา (Period) ของการเกิดรอยฟันฉลามของพอลิเอทิลีน	22

รูป	หน้า	
2.19	การไหลของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ณ จุดที่เกิดการเสีรูป (ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress กับ Shear rate)	23
2.20	ลักษณะของพอลิเมอร์ที่เกิดการเสีรูปหลังจากออกจากปากหัวขึ้นรูป	24
2.21	เครื่องวัดความหนืดรีโอมิเตอร์แบบเกลียวหนอนอัดรีด	27
3.1	เครื่องผสมความเร็วสูง	34
3.2	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ รุ่น HAAKE PolyLab Rheomex CTW 100p	35
3.3	ชุดหล่อเย็นและเครื่องตัดเม็ด	36
3.4	หัวขึ้นรูปชนิดกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร	37
3.5	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวประกอบกับชุดหัวขึ้นรูปแบบหมุน	37
3.6	ชุดหัวขึ้นรูปแบบหมุน	38
3.7	ชุดควบคุมอุณหภูมิ	38
3.8	กล้องวิดีโอ ซีรีส์ Sony รุ่น SSC-DC398P	39
3.9	อุปกรณ์เก็บข้อมูลความเร็วสูงที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	39
3.10	อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์	40
3.11	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและประกอบกับชุดหัวขึ้นรูปแบบหมุน	41
3.12	แผนผังการดำเนินงานการศึกษาสมบัติการเกิดรอยฟิโนลลาม ของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนและซีลื้อยไม้ใน กระบวนการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	42
3.13	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	44
3.14	เครื่องวัดความหยาบผิวชิ้นงานซีลื้อย Talysurf series II	45
3.15	ซีลื้อยที่สวมบนส่วนฐานของหัวขึ้นรูป	46
3.16	วัสดุเชิงประกอบหลอมเหลวเกิดฟองขณะรีด	47
4.1	ความดันตกคร่อมบริเวณทางเข้าหัวขึ้นรูปและความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูป ของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับซีลื้อยไม้ระหว่างการอัดรีดใน เครื่องอัดรีด ที่อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส ณ อัตราความเร็ว 2.0, 4.7 และ 7.8 วินาที ⁻¹ ที่อัตราส่วนซีลื้อยไม้ (a) 0 %wt, (b) 10 %wt, (c) 20 %wt, (d) 30 %wt	51

รูป	หน้า	
4.2	รูปแบบความหยาบผิวของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ที่ผ่านการอัดรีด โดยใช้หัวขึ้นรูปแบบหมุนที่ความเร็วรอบต่างๆ ณ อัตราความเร็ว 7.8 วินาที ⁻¹ และอุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส	53
4.3	รูปแบบความหยาบผิววัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับซีลีอไมท์ที่มีอัตราส่วนซีลีอไมท์ 30 เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านการอัดรีดโดยใช้หัวขึ้นรูปแบบหมุนที่ความเร็วรอบต่างๆ ณ อัตราความเร็ว 7.8 วินาที ⁻¹ และอุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส	54
4.4	อิทธิพลของหัวขึ้นรูปแบบหมุนและอัตราความเร็วที่มีผลต่อระดับแอมพลิจูดของความหยาบผิวของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับซีลีอไมท์ ณ อัตราความเร็วรอบต่างๆ ที่อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส	57
4.5	ภาพตัดของหน้าตัดชิ้นงานตามแนวการอัดรีดจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียว หนอนเดี่ยว ของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับซีลีอไมท์ ณ อัตราความเร็ว 7.8 วินาที ⁻¹ โดยไม่มีการการหมุนหัวขึ้นรูป	60
4.6	ภาพตัดของหน้าตัดชิ้นงานตามแนวการอัดรีดจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียว หนอนเดี่ยว ของวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับซีลีอไมท์ในอัตราส่วนซีลีอไมท์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ณ อัตราความเร็ว 7.8 วินาที ⁻¹ ที่ความเร็วรอบต่างๆของการหมุนหัวขึ้นรูป	62
4.7	อิทธิพลของความเร็วรอบการหมุนหัวขึ้นรูปและอัตราความเร็วของผนังที่มีผลต่อช่วงเวลา (Ws) ของความหยาบผิวของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์และวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับซีลีอไมท์ที่อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส	64
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความเร็วเฉลี่ยของพอลิเมอร์ไหลอมเหลวที่ไหลออกจากหัวขึ้นรูปที่ระดับความเร็วรอบต่างๆของการหมุนหัวขึ้นรูปของพอลิพรอพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิพรอพิลีนกับซีลีอไมท์ ณ อัตราความเร็วรอบต่างๆ ที่อุณหภูมิหัวขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส	67

รายการสัญลักษณ์

τ	=	Shear stress
$\dot{\gamma}$	=	Shear rate
n	=	Power law index
K	=	Power law consistency
η	=	Viscosity
B	=	Extrudate swell ratio
ΔP	=	Pressure drop
ρ	=	Density
W_s	=	Period
W_x	=	Amplitude
θ	=	Relaxation time
\bar{V}	=	Average melt velocity

ประมวลศัพท์และคำย่อ

ASTM	=	American society for testing and materials
HDPE	=	High-density polyethylene
kgf	=	Kilogramforce
L/D Ratio	=	Die-length/diameter
LDPE	=	Low-density polyethylene
LLDPE	=	Linear low-density polyethylene
MAH-g-HDPE	=	Maleic anhydride graft high-density polyethylene
MAPP	=	Maleic anhydride graft polypropylene
MFI	=	Melt flow index
MWCNT	=	Multi wall carbon nanotube
PP	=	Polypropylene
PVC	=	Polyvinylchloride
rpm	=	Revolution per minute
t_p	=	Processing time
t_r	=	Relaxation time
WPCs	=	Wood polymer composites
WPVC	=	Wood poly(vinyl chloride)composites