

Abstract

บทคัดย่อ

Project Code : MRG5080230

รหัสโครงการ

Project Title : Model Development of Microfluidics and Rheology of Nanoparticle

Dispersions for Coating Applications

ชื่อโครงการ : การพัฒนาแบบจำลองของไหลจุลภาคและวิทยาการไหลของสารแขวนลอย
อนุภาคนาโน สำหรับการใช้งานในการเคลือบชิ้นงาน

Investigator : Dr.Chuckaphun Aramphongphun

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering

Kasetsart University, Bangkok 10900 THAILAND

ชื่อนักวิจัยและสถาบัน : ดร.จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

E-mail Address : fengchar@ku.ac.th

ที่อยู่ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์

Project Period : September 1, 2007 – September 30, 2009

ระยะเวลาโครงการ : 1 กันยายน 2550 ถึง 30 กันยายน 2552

Abstract

The objective of this research work is to develop mathematical models and to study microfluidics and rheology of a dilute carbon black/acrylic suspension for coating applications. A coating process, such as in-mold coating (IMC), is carried out by injecting a thermosetting dilute carbon black suspension onto the surface of an injection-molded part in the mold after the part has solidified. Due to the microscopic length scale of the coating flow, a study of rheological properties (e.g. viscosity) at high shear rates and microfluidics (e.g. slip boundary conditions) are crucial in modeling the coating process. A customized microslit rheometer using micrometer-sized channel gaps was then developed and applied for this purpose.

A reduced viscosity of the suspension due to slip at the fluid-wall interface was found in the microscale flow. Rheological equations for slit rheometers using no-slip and slip boundary conditions were used to determine the viscosity of the suspension at the microscale level. The values of the slip parameter known as slip length can be determined by analyzing the viscosity data using the rheological equations developed. The high-shear-rate-plateau viscosity model and slip boundary condition are then applied to model the slip flow of the carbon black suspension. By including both the high-shear-rate-plateau viscosity and the slip boundary condition in the flow model, a better prediction of the pressure distribution of the suspension in the coating process can be achieved.

In addition, the 2^3 Factorial design was used to determine significant factors that affect the slip length of this suspension in the microscale flow at two different temperatures: 25 and 50°C. These factors include: (1) content of carbon black: 0 and 2.5% by weight, (2) surface chemistry of the channel controlled by hydrophobic silicone coating: without and with coating, and (3) surface roughness of the channel: $R_a = 0.85$ and $0.94 \mu\text{m}$. According to the analysis, it was found that at both 25 and 50°C, the content of carbon black, hydrophobic property and surface roughness of the channel significantly affect the slip length. The test condition providing the longest slip length was at 2.5% by weight carbon black, with hydrophobic silicone coating and surface roughness, $R_a = 0.94 \mu\text{m}$.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และศึกษาของไหลจุลภาคและวิทยาการไหลของสารแขวนลอยคาร์บอนแบล็คในอะคริลิเรซิน สำหรับการใช้งานในการเคลือบชิ้นงาน กระบวนการเคลือบชิ้นงาน เช่น การเคลือบชิ้นงานในแม่พิมพ์ ทำงานโดยฉีดสารแขวนลอยคาร์บอนแบล็คในเทอร์โมเซตติงลงบนพื้นผิวของชิ้นงานฉีดขึ้นรูปในแม่พิมพ์หลังจากชิ้นงานแข็งตัวแล้ว การศึกษาสมบัติทางวิทยาการไหล เช่น ความหนืดที่อัตราเฉือนสูง และของไหลจุลภาค เช่น สภาวะขอบเขตลื่นไถล จึงสำคัญต่อการสร้างแบบจำลองกระบวนการเคลือบชิ้นงาน เนื่องจากการไหลของสารเคลือบเกิดขึ้นในช่องทางไหลระดับจุลภาค เครื่องทดสอบความหนืดในช่องทางไหลระดับจุลภาคจึงถูกพัฒนาขึ้นและใช้สำหรับวัตถุประสงค์นี้

ความหนืดที่ลดลงของสารแขวนลอยเนื่องจากการลื่นไถลที่บริเวณรอยต่อระหว่างของไหลและผนังสามารถพบในการไหลระดับจุลภาค สมการทางวิทยาการไหลสำหรับเครื่องทดสอบความหนืดในช่องทางไหลโดยใช้สภาวะขอบเขตไม่ลื่นไถลและลื่นไถลถูกนำมาใช้ในการหาค่าความหนืดของสารแขวนลอยที่ระดับจุลภาค ค่าพารามิเตอร์ลื่นไถล หรือที่เรียกว่าความยาวลื่นไถล สามารถคำนวณได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลความหนืดโดยใช้สมการทางวิทยาการไหลที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำ

แบบจำลองความหนืดที่อัตราเฉือนสูงคงที่และสภาวะขอบเขตแบบสลิปไกลมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองการไหลแบบสลิปไกลของสารแขวนลอยคาร์บอนแบล็ค ทำให้การทำนายค่าความดันของสารแขวนลอยในกระบวนการเคลือบถูกต้องมากยิ่งขึ้น

นอกจากนั้น การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^3 ถูกนำมาใช้ในการหาปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อความยาวสลิปไกลของสารแขวนลอยนี้ในการไหลระดับจุลภาค ที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ (1) ปริมาณคาร์บอนแบล็คในสารแขวนลอย: 0 และ 2.5% โดยน้ำหนัก (2) สมบัติทางเคมีของผนังช่องทางไหล ซึ่งควบคุมโดยการเคลือบผิวช่องทางไหลด้วยซิลิโคนที่มีสมบัติทางเคมีแบบไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic): ไม่เคลือบและเคลือบ และ (3) ความหยาบผิวของช่องทางไหล: $R_a = 0.85$ และ $0.94 \mu\text{m}$ จากการวิเคราะห์พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C ปัจจัยทั้งสามชนิด คือ ปริมาณคาร์บอนแบล็คในสารแขวนลอย สมบัติทางเคมีแบบไม่ชอบน้ำและความหยาบผิวของผนังช่องทางไหล มีผลต่อความยาวสลิปไกลอย่างมีนัยสำคัญ สภาวะทดลองที่ทำให้เกิดความยาวสลิปไกลสูงสุด คือ ที่ปริมาณคาร์บอนแบล็ค 2.5% โดยน้ำหนัก ผนังของช่องทางไหลที่มีสมบัติทางเคมีแบบไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และมีความหยาบผิว $R_a = 0.94 \mu\text{m}$

Keywords : Microfluidics, Rheology, Carbon Black Suspension, Design of Experiments, Slip Flow and Slip Length

คำหลัก : ของไหลจุลภาค วิทยาการไหล สารแขวนลอยคาร์บอนแบล็ค การออกแบบการทดลอง การไหลแบบสลิปไกล และ ความยาวสลิปไกล