POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

دوره بهینه‌سازی منسجم از بار نانوپرکننده نیترید سیلیکون در پلی‌پروپیلن ایزوتاکتیک با درجه پزشکی برای تولید افزودنی با روش اکستروژن مواد: رئولوژی، پاسخ مهندسی و صرفه‌جویی اقتصادی

چکیده

با امکان‌پذیر نمودن توسعه ساختارهای پیچیده با ویژگی‌های قابل تطبیق، تکنیک‌های تولید افزایشی مسیرهای جدیدی را برای توسعه و تحقیق مواد گشوده‌اند. در این تحقیق، نانوذرات سرامیکی نیترید سیلیکون (Si_3N_4) در ماتریس‌های پلی‌پروپیلن (PP[1]) گنجانده شدند. سطوح بارگذاری مختلف و نمونه‌های آزمایشی استاندارد که به معیارهای ASTM[2] پایبند هستند، ایجاد شدند. هدف اصلی این تحقیق، شناسایی کامل این کامپوزیت‌ها با تأکید بر قابلیت‌های مکانیکی آن‌ها است. خواص رئولوژیکی، ترمومکانیکی و مورفولوژیکی کامپوزیت‌های PP/Si3N4 چاپ شده با استفاده از چاپ سه‌بعدی اکستروژن مواد (MEX[3]) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تحلیل ترموگراویمتریک و کالریمتری تفاضلی برای مطالعه پایداری حرارتی و انتقال فازها در مواد کامپوزیتی نیز مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش‌های مکانیکی برای تعیین ویژگی‌های مکانیکی، مانند استحکام خمشی و کششی و مدول الاستیسیته انجام شد. در ادامه برای شناسایی دقیق نانوکامپوزیت‌ها، میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌سنجی رامان نیز انجام شد. سپس نتایج بینش‌هایی درباره تأثیر نانوذرات Si_3N_4 بر خواص مکانیکی، پایداری حرارتی و رفتار رئولوژیکی کامپوزیت‌های PP/Si_3N_4 ارائه گردید. پرکننده Si_3N_4 با 2 درصد وزنی بطور کلی بهترین بهبود عملکرد را نشان داد (21% در مدول الاستیسیته کششی، 15.7% در استحکام خمشی و مقادیر بالایی در سایر خواص ارزیابی شده). نانوکامپوزیت با حداکثر بارگذاری Si_3N_4 با درصد وزنی نشان داده؛ 33.6% میکروسختی بیشتری نسبت به ترموپلاستیک خالص PP نشان می‌دهد که نشان‌دهنده مقاومت سایشی امیدوارکننده‌ای برای قطعات ساخته شده با آن است. این تحقیق توانایی نانوذرات سرامیکی Si_3N_4 را در بهبود ویژگی‌های مکانیکی ترکیبات مبتنی‌بر PP تولید شده توسط چاپ سه‌بعدی MEX نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: نیترید سیلیکون (Si_3N_4)، پلی پروپیلن (PP)، خواص مکانیکی، ساخت مواد افزودنی، اکستروژن مواد (MEX)، ساخت فیلامنت ذوب شده (FFF)، چاپ سه بعدی.

---

[1] polypropylene
[2] American Society for Testing and Materials
[3] material extrusion

Keywords: Silicon nitride (Si3N4), Polypropylene (PP), Mechanical properties, Additive manufacturing, Material extrusion (MEX), Fused filament fabrication (FFF), 3D printing.

نتیجه‌گیری

در چارچوب چاپ سه‌بعدی MEX، امکان استفاده از سرامیک نیترید سیلیکون (Si_3N_4) به عنوان تقویت‌کننده برای ماده پلیمری PP مورد بررسی قرار گرفت. نانوپودر سرامیک Si_3N_4 به ماتریس PP اضافه شد تا فرضیه پیشنهادی تأیید شده و خواص مکانیکی پلیمر PP بهبود یابد. از روش اکستروژن ترمو مکانیکی برای تولید نانوکامپوزیت‌ها استفاده شد که منجر به ایجاد فیلامنت‌های مناسب برای تکنیک‌های چاپ سه‌بعدی MEX گردید.

ماتریس پلیمری PP با ذرات سرامیکی Si_3N_4 ترکیب شد تا دامنه خواص مکانیکی آن بهبود یابد. به‌ویژه، در مقایسه با PP خالص، هر دو استحکام کششی و خمشی بهبود قابل توجهی نشان دادند. به‌طور دقیق‌تر، افزایش 16.0% در بارگذاری Si_3N_4 1.0 wt% و افزایش 15.7% در بارگذاری 2.0 wt% مشاهده شد. با افزودن Si_3N_4 به مخلوط، افزایش‌های قابل توجهی در سختی کششی و خمشی نیز مشاهده شده، بطوری‌که افزایش‌های 8.4% و 8.8% به ترتیب بسته به مقدار افزودنی ثبت گردید. علاوه‌بر این، مدول‌های الاستیک کششی و خمشی نیز افزایش‌های قابل توجهی را نشان دادند، به‌طوری‌که مدول کششی بزرگ‌ترین افزایش 21% و مدول خمشی افزایش 14% را نشان داد. این واقعیت که این بهبودها توسط آزمایش‌های مکانیکی که مطابق با استانداردها و مقررات بین‌المللی انجام شدند، تأیید شده است، اهمیت دارد. آزمایش‌های خواص حرارتی هیچ مشکلی در پایداری حرارتی نانوکامپوزیت‌ها نشان ندادند. از سوی دیگر، آزمایش‌های رئولوژیکی کاهش MFR[1] را با افزودن نانوذرات Si_3N_4 نشان دادند، که نشان می‌دهد برای دستیابی به حداکثر افزایش عملکرد، نیاز به تنظیمات چاپ سه‌بعدی است. این کار در این تحقیق انجام نشد تا نتایج قابل مقایسه‌ای به دست آید.

در نتیجه، این مطالعات گسترده درک کاملی از ویژگی‌های ترمومکانیکی، رئولوژیکی و ساختاری مواد ارائه نمود و بینش‌هایی درباره تأثیر حضور ذرات Si_3N_4 بر عملکرد کلی آن‌ها به دست آمد. این کامپوزیت‌ها نتایج امیدوارکننده‌ای را زمانی که ذرات نیترید سیلیکون در ماتریس PP گنجانده شدند، نشان داد. افزودن پرکننده‌های Si_3N_4 بطور قابل توجهی تعدادی از خواص مکانیکی را بهبود بخشیده است. علاوه‌بر این، نشان داده شد که افزودن پرکننده‌های Si_3N_4 عملکرد کلی کامپوزیت‌ها را بهبود می‌بخشد، که این امر پتانسیل مطالعات آینده را پیشنهاد می‌نماید، جایی که تنظیمات چاپ سه‌بعدی می‌تواند برای هر نانوکامپوزیت بهینه‌سازی شده و فرآیند می‌تواند صنعتی شود تا در این زمینه مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

[1] material flow rate

یافته‌های این تحقیق برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی مواد کامپوزیتی ضروری است. تمرکز کارهای آینده ممکن است بر بهینه‌سازی فرآیند تولید برای کاربردهای صنعتی و شناسایی دقیق آستانه نفوذ پرکننده Si_3N_4 درون ماتریس پلیمری باشد. در کارهای آینده، ممکن است با تنظیم دقیق تنظیمات چاپ سه‌بعدی، حداکثر نمودن اثر تقویت‌کننده پرکننده Si_3N_4 بر روی ماده PP امکان‌پذیر باشد. کاربرد عملی نتایج این مطالعه ممکن است با توجه به این مسائل و حمایت از استفاده از ترکیبات PP تقویت‌شده با Si_3N_4 در بخش‌های مختلف به طور قابل توجهی بهبود یابد. بررسی این گزینه‌ها می‌تواند استفاده‌ها و کاربردهای کامپوزیت‌های مبتنی‌بر Si_3N_4 را در صنایع مختلف گسترش دهد و فرصت‌های جدیدی برای استفاده و توسعه آن‌ها ایجاد نماید.

Reference

Vidakis, N., Michailidis, N., Argyros, A., Mountakis, N., Papadakis, V., Spiridaki, M., ... & Petousis, M. (2024). A coherent optimization course of the silicon nitride nanofiller load in medical grade isotactic polypropylene for material extrusion additive manufacturing: Rheology, engineering response, and cost-effectiveness. Colloid and Polymer Science, 1-18.

DOI: https://doi.org/10.1007/s00396-024-05229-y

ترجمه و ویرایش: جواد برزوئی