บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ออกแบบพัฒนาและสร้างเครื่องมือฉีดขึ้นรูปวัสดุผงขนาดเล็กในแนวนอนขับเคลื่อนด้วยสกรู โดยการทำงานนั้นสามารถควบคุมได้ด้วยหน้าจอสัมผัสแสดงผล ซึ่งเอื้ออำนวยให้สามารถทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก รูปทรงซับซ้อน และสามารถที่จะพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในการผลิตชิ้นงานสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ หรือทางชีวการแพทย์ เป็นต้น นอกจากนี้ ได้ศึกษาทดลองฉีดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบพื้นอะลูมิเนียมเกรดทางการค้า เสริมแรงด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ที่ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เพื่อประเมินตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป คือ i) อุณหภูมิการฉีดขึ้นรูปที่ 280 – 300 องศาเซลเซียส ii) ความเร็วการฉีดขึ้นรูปที่ 1600 – 1800 รอบต่อนาที และ iii) การเตรียมส่วนผสมเม็ดที่ 55 และ 60 เปอร์เซ็นต์ของแข็ง โดยควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ 80 – 90 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรการฉีดขึ้นรูปเหล่านี้ต่อความสามารถในการฉีดขึ้นรูปโครงสร้างจุลภาค ความหนาแน่นและความแข็งของชิ้นงาน ตลอดจนการหดตัวและการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปได้ จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมส่วนผสมเม็ดที่ 55 เปอร์เซ็นต์ของแข็ง ในบางครั้งจะพบปัญหาครีบในการฉีดขึ้นรูป ในขณะที่การฉีดขึ้นรูปด้วยส่วนผสมเม็ดเตรียมที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของแข็ง จะค่อนข้างหนืดที่จะฉีดให้เติมเต็มทั้ง 4 โพรงแบบที่มีรูปทรงโดนัท นอกจากนี้พบว่า ความเร็วในการฉีดขึ้นรูปไม่ส่งผลที่แตกต่างกันมากนักสำหรับการเติมเต็มแม่พิมพ์และสมบัติโดยรวมของชิ้นงาน ภายหลังจากการเผาผนึกที่ 655 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าโครงสร้างจุลภาคโดยทั่วไปมีความสม่ำเสมอ อนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์กระจายตัวล้อมรอบอะลูมิเนียมซึ่งเป็นเฟสพื้น และเกิดการเผาผนึกเฟสของเหลวซึ่งสังเกตได้จากพื้นผิวระหว่างรอยต่อที่ดีระหว่างอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์และเฟสพื้นอะลูมิเนียม สภาวะการฉีดขึ้นรูปที่ดีที่สุด คือ เมื่อเตรียมส่วนผสมเม็ดที่ 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ฉีดขึ้นรูปที่ 290 – 300 องศาเซลเซียส และความเร็ว 1800 รอบต่อนาที ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานหลังการเผาผนึกที่ 2.80 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร คิดเป็นมากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นทางทฤษฎี และได้ค่าความแข็งวิคเกอร์สแบบจุลภาค 125.2 Hv อย่างไรก็ดี พบว่าชิ้นงานมีค่าการหดตัวเชิงปริมาตรค่อนข้างสูง รวมถึงเกิดการบิดเบี้ยวเล็กน้อยภายหลังการเผาผนึกสอดคล้องกับเกิดการเผาผนึกเฟสของเหลว ส่งผลให้เกิดความแน่นตัวซึ่งเกิดจากการเติมเต็มรูพรุนและการจัดเรียงตัวใหม่ของอนุภาคผง นอกจากนี้ หากพิจารณาค่าการหดตัวของชิ้นงานภายหลังการฉีดขึ้นรูป (δ_m) และหลังการเผาผนึก (δ_s) จากมิติความหนา (t) ของชิ้นงานโดนัท เพื่อนำมาหาค่าตัวประกอบการออกแบบเผื่อขนาดชิ้นงานจากการฉีดขึ้นรูป (Z_m) และการเผาผนึก (Z_s) ตามลำดับ จะได้ค่าตัวประกอบการออกแบบเผื่อขนาดชิ้นงานทั้งหมด (Z_{ms}) มีค่าเท่ากับ 1.3113 และ 1.2942 สำหรับส่วนผสมเม็ดเตรียมที่ 55 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ และสามารถนำมาคำนวณกลับเพื่อหาขนาดแม่พิมพ์เริ่มต้น (L_i) ที่สอดคล้องกับขนาดชิ้นงานสุดท้าย (L) ที่ต้องการ โดยสรุปแล้วเครื่องมือที่ถูกสร้างขึ้นนี้สามารถฉีดขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบได้อย่างต่อเนื่องและให้ผลการศึกษาที่น่าพอใจ

Abstract

A small – scaled powder injection moulding machine has been constructed in this research. Injection moulding in a horizontal direction together with screw driven controlled by a touch screen display allows continuous production of small – complex shape products applicable in the automotive, electronics and bio – medical areas. Trial on injection moulding of the commercial aluminium alloy reinforced with 15 vol.% SiC particulate was carried out to evaluate the moulding parameters; i) injection moulding temperature at 280 – 300 °C, ii) injection speed at 1600 – 1800 rpm and iii) feedstocks prepared at 55 % and 60 % solid loading, while the mould temperature was controlled within 80 – 90 °C. Effects of these parameters on mouldability, microstructure, density and hardness of the composite were studied together with density, shrinkage and distortion for injection mould design consideration. It was found that feedstock of 55 % solid loading occasionally led to flash problem while that of higher solid loading experienced higher viscosity to fulfill a four-cavity, torus - shaped mould. Moulding speed investigated did not significantly affect mould filling and overall properties. After sintering at 655 °C for 3 h, the microstructures generally showed well - distributed SiC particulate in the aluminium matrix. Liquid phase sintering was attained, indicated by good interface between SiC particulate and aluminium matrix. The optimum injection moulding condition was the feedstock prepared at 60% solid loading, moulding at 290 – 300 °C, and 1800 rpm speed, which offered sintered density of 2.80 g.cm^{-3}, or greater than 98 % theoretical density, and micro Vickers hardness of 125.2 Hv. However, high volumetric shrinkage and minor degree of distortion after sintering was observed, corresponding to liquid phase sintering to render densification by pore - filling and particle rearrangement. Moreover, by taking the thickness (t) dimension of the torus shaped sample, the moulding shrinkage (δ_m) and the sintering shrinkage (δ_s) can be achieved in order to obtain the oversize design factor for moulding (Z_m) and sintering (Z_s) respectively. As a result, the total oversize design factors (Z_{ms}) were obtained at 1.3113 and 1.2942 for feedstocks prepared at 55 % and 60 % solid loading respectively. These values can be correlated back to the initial mould size (L_i), relevant to the desired final product size (L). In summary, the constructed machine was found to satisfy continuous injection moulding of the composites investigated.