

Abstract

L'attività di ricerca è stata dedicata all'analisi dei processi di produzione dei materiali compositi. In particolare, i processi di stampaggio composito liquido (LCM) sono stati oggetto dello studio eseguito. Negli ultimi anni i processi LCM hanno acquisito una diffusione capillare in diversi settori industriali, da quelli civili a quelli automobilistici e aerospaziali, grazie ai loro numerosi vantaggi rispetto ai tradizionali processi di autoclave. Tuttavia, alcuni svantaggi legati ad una non uniforme impregnazione della preforma dovuta a una variazione locale della permeabilità delle preforme, al disallineamento dei fasci di fibre, che si tradurrebbe nella formazione di zone asciutte o di aree più ricche di matrice, influenzano i processi LCM limitandone l'utilizzo in scala industriale. Altri limiti sono dovuti a limitati gradienti di pressione applicabili e ad una compattazione ridotta della preforma che influenza la frazione di volume finale ottenibile con effetti nocivi sulle proprietà meccaniche del prodotto composito. Una conoscenza più approfondita dei fenomeni coinvolti nella fabbricazione dei materiali compositi risulta pertanto necessaria per implementare una corretta azione di controllo sui parametri (ad esempio pressione, portata di resina, ciclo termico e numero e posizioni dei punti di ingresso/uscita del flusso di resina) per ottimizzare il processo.

Per migliorare l'impregnazione della preforma e ridurre il tempo necessario per il completo riempimento della cavità dello stampo, è stato sviluppato un sistema di preriscaldamento a microonde in linea. Lo scopo è quello di accoppiare un generatore a microonde a monte dello stampo per riscaldare la resina prima dell'ingresso nello stampo. Infatti, l'aumento della temperatura può ridurre significativamente la viscosità del liquido permettendo alla resina di fluire più liberamente attraverso la preforma secca. Per effettuare uno studio approfondito sull'efficacia dell'approccio proposto è stato progettato un apparato in scala di laboratorio per i processi di infusione. Il sistema è stato dotato di sensori progettati ad hoc per monitorare il flusso di resina durante il processo. Sensori dielettrici più economici sono stati progettati, prodotti e installati sullo stampo. È stato anche sviluppato un modello numerico per simulare il flusso di resina attraverso la preforma delle fibre. Il modello numerico si è dimostrato in grado di affrontare la natura a doppia scala della preforma tessile comunemente utilizzata negli LCM, che sono caratterizzati da due diverse regioni (inter- e intra-tow) con diversi valori di permeabilità. Gli esiti numerici sono stati utilizzati anche per convalidare ed interpretare i dati ottenuti dai sensori dielettrici. Tali sensori hanno dimostrato di essere in grado di monitorare sia l'impregnazione che la saturazione della preforma della fibra.

Il sistema di riscaldamento a microonde sviluppato si è rivelato efficace sia per ridurre il tempo di infusione totale sia per migliorare la bagnatura delle fibre, ottenendo un'impregnazione più uniforme con una quantità limitata di vuoti residui

Abstract

The research activity was devoted to the study of the composite materials manufacturing processes. In particular, the liquid composite molding (LCM) processes were the object of the performed study. In recent years LCM processes have gained a widespread diffusion in different industrial fields, from civil to automotive and aerospace due to their several advantages compared to the conventional autoclave processes. However, some disadvantages related to a not uniform preform impregnation due to a local variation of the preform permeability, fibers bundles misalignment, that would results in dry zones or matrix richer areas, affect the LCMs limiting their usage in industrial full scale. Other limits are due to a limited pressure driving force as well as a reduced pressure compaction influencing the final volume fraction achievable with detrimental effects on the mechanical properties of the composite material product. A more deep knowledge of the phenomena involved in the manufacturing of the composite materials are required to implement proper control action on the parameters (e.g. pressure, resin flow rate, thermal cycle as well as inlet/vent locations) to optimize the process.

In order to improve the impregnation of the preform and reduce the time required to fully fill the mold cavity an in-line microwave preheating system was developed. The aims was to couple a microwave generator upstream the LCM mold to heat up the resin prior the entry into the mold. Indeed, the temperature increasing reduces the liquid viscosity allowing the resin to flow more freely through the dry preform. To perform a thorough study on the effectiveness of the proposed approach a laboratory scale apparatus for liquid composite molding processes was designed. The system was instrumented with ad-hoc designed sensors to monitor the resin flow during the process. Cheaper dielectric sensors are designed, produced and installed on the mold. A numerical model was also developed to simulate the resin flow through the fibers preform. The numerical model proved to be able to deal with the dual-scale nature of the textile preform commonly used in the LCMs, that are characterized by two different regions (inter- and intra-tow) with different values of permeability. The numerical outcomes were also used to validate the data obtained from the dielectric sensors. They demonstrated to be able to monitor the both the impregnation and the saturation of the fiber preform. The developed microwave heating system proved to be effective to both reduce the total infusion time as well as improve the wetting of the fibers, achieving a more uniform impregnation with a limited amount of residual voids.