

Analisi di sensibilità dell'impedenza di sistemi di saldatura ad ultrasuoni al variare delle caratteristiche geometriche e delle proprietà costitutive del sonotrodo

La saldatura ad ultrasuoni è una tecnologia ampiamente utilizzata in ambito industriale per l'unione di materiali termoplastici e metallici, particolarmente apprezzata per l'elevata velocità di esecuzione, l'assenza di materiali di apporto e la ridotta zona termicamente alterata. Cuore del sistema di saldatura a ultrasuoni è il trasduttore piezoelettrico, tipicamente del tipo Langevin, il quale converte l'energia elettrica ad alta frequenza in vibrazioni meccaniche. Queste vibrazioni vengono amplificate e trasmesse al pezzo in lavorazione attraverso una catena meccanica composta da booster e sonotrodo.

Il corretto funzionamento dell'intero sistema dipende in maniera critica dall'impedenza meccanica del trasduttore e, in particolare, dalla sua capacità di lavorare in risonanza a una frequenza prestabilita. L'impedenza meccanica è fortemente influenzata dalle caratteristiche geometriche e dalle proprietà meccaniche dei componenti connessi al trasduttore, in particolare del sonotrodo, il quale ha il compito di trasferire le vibrazioni al pezzo da saldare mantenendo l'efficienza e la direzionalità del sistema.

Il presente progetto ha come obiettivo lo studio dell'influenza delle variazioni geometriche (lunghezza, profilo, diametro, ecc.) e delle proprietà costitutive (modulo di elasticità, densità, smorzamento interno) del sonotrodo sull'impedenza del sistema trasduttore-sonotrodo. L'analisi si concentrerà sull'identificazione dei parametri critici che più influenzano la risposta dinamica del sistema e che possono compromettere la risonanza o l'efficienza del trasferimento energetico. Questo tipo di indagine è di fondamentale importanza in fase di progettazione, dove le tolleranze dimensionali e la scelta del materiale devono garantire stabilità e ripetibilità del comportamento vibratorio.

Dal punto di vista applicativo, la sensibilità dell'impedenza meccanica a piccole variazioni nei parametri geometrici e materiali può generare importanti criticità nel processo produttivo: disallineamento di frequenza tra generatore e trasduttore, perdita di potenza trasmessa, aumento delle temperature localizzate, usura prematura degli elementi, riduzione della qualità della saldatura. Comprendere e quantificare tali sensibilità consente di definire criteri progettuali robusti e tolleranze costruttive compatibili con la ripetibilità industriale del processo.

Il progetto prevede lo sviluppo di modelli agli elementi finiti (FEM) tridimensionali del sistema trasduttore-sonotrodo, integrati con strumenti di calcolo analitico. L'analisi di sensibilità verrà condotta variando sistematicamente i parametri di interesse e valutando l'effetto sulla frequenza di risonanza e l'ampiezza delle vibrazioni. L'attività richiede competenze di modellazione meccanica, vibrazioni, analisi FEM, materiali e progettazione assistita da calcolatore.