



Validazione della misura delle tensioni residue, su campioni di alluminio pallinato, ottenuta con il metodo del foro in combinazione con la tecnica DIC e regolarizzazione L-curve

Friday 4 September 2026 10:15 (15 minutes)

Obiettivi

Il principale obiettivo del presente lavoro è la validazione del risultato di tensioni residue mediante il metodo del foro incrementale (Hole-Drilling Method, HDM) in combinazione con la Digital Image Correlation (DIC), con particolare attenzione allo stato di tensione in superficie e nella prima profondità. Al fine di ottenere questa validazione, la distribuzione di tensione ottenuta è stata confrontata con due misure indipendenti: una misura con il metodo HDM utilizzando la classica rosetta estensimetrica a tre griglie, e con la tecnica dei raggi X che è particolarmente attendibile in superficie.

Metodi

Il risultato di misura mediante la tecnica HDM-DIC è stato ottenuto implementando la procedura del foro incrementale su un centro di lavoro CNC in grado di garantire un controllo micrometrico, e quindi una sufficiente ripetibilità di posizionamento. La procedura incrementale è stata impostata prevedendo passi di 0.1 mm, e per ciascun passo è stato successivamente rimosso l'asse del mandrino della fresa ed è stata posizionata la videocamera DIC con asse coincidente con il foro. La struttura della videocamera è stata ancorata alla parte statorica del mandrino, e quindi è stato possibile sfruttare gli assi controllati della macchina utensile per movimentare sia la fresa stessa, sia la videocamera DIC. Le immagini acquisite sono state successivamente elaborate mediante la tecnica Global Eulerian DIC, che a differenza di un'implementazione classica del DIC, mediante piccoli subset, prevede di utilizzare l'intera immagine come un unico subset e lasciando le tensioni come parametri liberi, avendo noto il problema "diretto" acquisito mediante funzioni di influenza precedentemente calibrate con un modello EF molto accurato. In questo lavoro si presenta un approccio innovativo che parte dalla selezione di un sottoinsieme dei punti che stanno in una zona anulare intorno al foro. Dato che il foro è relativamente piccolo (diametro 2 mm), le zone chiare e scure del pattern DIC tendono ad essere relativamente grandi, in ciascuna foto. Per questo motivo, si propone di considerare solo le zone di pixel con un elevato gradiente di luminosità acquisita, ovvero in pratica i bordi delle macchie, escludendo invece le parti interne delle macchie stesse ed anche le zone bianche. In questo modo, il numero di pixel analizzati si riduce drasticamente pur conservando la parte informativa dell'acquisizione. Un altro aspetto degno di nota è l'applicazione di una procedura per la determinazione del migliore parametro di regolarizzazione, basato sul criterio della L-curve. Secondo questo metodo, si riporta in ascissa la norma dei residui e in ordinate il modulo della curvatura complessiva. Al variare del parametro di regolarizzazione, si ricava una curva ad L ottenendo dei punti asintotici agli estremi. La scelta ottimale del parametro di regolarizzazione si considera come il punto in cui si ha la massima distanza dalla diagonale individuata dai punti alle due estremità della L. Applicando questo criterio, basato sulla L-curve, si è ottenuta una scelta del parametro molto in linea con quello ottenuto semplicemente cercando la minimizzazione della differenza di ricostruzione delle tensioni con il metodo del foro classico, ovvero con la rosetta estensimetrica, avvallando e confermando quindi la scelta di tale parametro con la L-curve. Infine, per quanto riguarda il metodo del foro con rosetta, oltre alla consueta regolarizzazione, nel presente lavoro si applica la correzione numerica dello zero, precedentemente mostrata per altri lavori. Questa correzione consiste nell'introduzione di un piccolo offset alla misura delle profondità di foratura incrementale, andando a minimizzare di nuovo la curvatura complessiva. In questo modo la determinazione dello stato di tensione è sicuramente più stabile e, in linea di principio, tendenzialmente più corretta.

Risultati e Conclusioni

Nel lavoro si mostrano e discutono i risultati di confronto fra queste tre tecniche, con particolare attenzione alla posizione di profondità nulla e alla prima profondità. Un interessante risultato di confronto è stato ottenuto fra HDM-DIC e HDM con rosetta, in particolare per quest'ultima dopo aver applicato la correzione dello zero della profondità. Inoltre, la misura con i raggi X ha permesso di verificare lo stato di tensione in superficie e la prima derivata. È interessante sottolineare che lo stato di tensione per l'alluminio pallinato considerato nel presente lavoro, ha una profondità efficace di 0.4 - 0.5 mm e il picco di tensione si trova all'incirca a

0.1 mm. Nonostante la distribuzione di tensione sia efficace in profondità relativamente basse (come spesso si osserva per la pallinatura), il metodo HDM-DIC ha permesso di ottenere una buona ricostruzione delle tensioni nonostante il passo di foratura di 0.1 mm relativamente grande.

Primary authors: SANTUS, Ciro (DICI - Università di Pisa); Prof. NERI, Paolo (DICI - Università di Pisa); Dr GROSSI, Tommaso (TeCIP Institute - SSSA Pisa); Dr BENINCASA, Alessio (SINT Technology Srl, firenze); Dr BOCCINI, Enrico (SINT Technology Srl, firenze); Dr GULISANO, Simone (SINT Technology Srl, firenze); Dr BANDINI, Michele (Peen Service Srl, Bologna)

Presenter: SANTUS, Ciro (DICI - Università di Pisa)

Session Classification: Meccanica Sperimentale

Track Classification: Meccanica Sperimentale