

Considerazioni sulla propagazione della cricca al piede dente di ingranaggi a denti dritti

Thursday 3 September 2026 10:15 (15 minutes)

Le ruote dentate sono organi di macchine usate per trasmettere potenza tra due alberi rotanti attraverso l'utilizzo di profili coniugati. Allo scopo di aumentare la densità di potenza degli ingranaggi vi è un continuo sviluppo di materiali, trattamenti termici e trattamenti superficiali. Questa continua evoluzione richiede il supporto di campagne sperimentali il cui scopo è quello di valutare l'impatto che ogni combinazione ha sulle prestazioni degli ingranaggi. Questo aspetto è cruciale per diversi settori industriali come l'energetico (in particolare l'eolico), l'automotive e l'aerospaziale in quanto i loro requisiti di densità di potenza richiedono una conoscenza approfondita delle performance delle ruote.

La caratterizzazione della resistenza alla fatica flessionale a piede dente può essere effettuata attraverso due tipi di test: a ruote ingrananti o test al pulsatore. Il primo prevede l'ingranamento di due ruote, mentre il secondo prevede che i denti della ruota vengano caricati attraverso dei punzoni. Questo comporta delle differenze dal punto di vista nell'applicazione del carico, dal rapporto di ciclo e dal punto di vista statistico che producono delle curve SN diverse.

In questa presentazione ci focalizzeremo sugli effetti che la differenza nel carico applicato ha sulla vita finita delle ruote. In particolare, indagheremo l'effetto che l'ingranamento ha sulla propagazione della cricca nelle prove a ruote ingrananti. Una volta quantificato questo fenomeno viene proposto un metodo per compensare la vita finita delle prove al pulsatore al fine di ottenere una stima della vita finita che si sarebbe ottenuta con test a ruote ingrananti.

Lo studio iniziale si è basato su ruote, aventi diverse geometrie, di cui erano disponibili i risultati di prove al pulsatore e a ruote ingrananti. La geometria di queste ruote è stata usata per sviluppare modelli FEM in grado di studiare l'ingranamento con la presenza di una cricca al piede di un dente. Da questi modelli sono stati estratti diversi parametri: Forza normale di contatto tra i denti (F_n), stress al piede del dente dei denti sani e il fattore di intensità della tensione all'apice della cricca (K). Un modello simile è stato sviluppato per simulare le prove al pulsatore.

Elaborando i dati si è potuto constatare che durante l'ingranamento, a causa dei carichi elevati e dalla presenza della cricca, il dente danneggiato si deforma e si scarica ridistribuendo il carico sui gli altri denti sani ingrananti. Questo fenomeno non è presente nelle prove al pulsatore in quanto l'ingranamento è assente.

Questa redistribuzione del carico durante l'ingranamento comporta un minore fattore K nelle ruote ingrananti rispetto che nelle prove al pulsatore. Questa differenza è marcata per cricche lunghe, mentre per quelle corte il valore di K è del tutto simile.

Utilizzando questo parametro all'interno della legge di Paris è stato possibile studiare la propagazione della cricca la quale risulta rallentata nelle prove a ruote ingrananti rispetto alle prove al pulsatore.

Avendo osservato l'effetto della redistribuzione del carico ci siamo concentrati sul parametro che lo governa: il fattore di ricoprimento.

Questo è stato studiato utilizzando ruote prodotte con lo stesso utensile aventi lo stesso numero di denti e spostamento di profilo ($x=0$) ma presentando diametri di testa differenti. Utilizzando la stessa metodologia spiegata sopra è stato possibile osservare che maggiore è il fattore di ricoprimento maggiore è la redistribuzione del carico e dunque maggiore è il rallentamento della propagazione.

I due casi di studio di cui sopra sono basati su prove sperimentali documentate in letteratura. Ora che il fenomeno è osservato tramite un modello numerico sufficiente robusto, viene proposto un metodo per stimare la vita finita delle prove a ruote ingrananti partendo dai risultati delle prove al pulsatore.

Il caso applicativo sono ingranaggi in AISI9310 testate al pulsatore. Con la procedura FEM già descritta siamo in grado di stimare il numero finale di cicli per le due metodologie di prova, sottraendole l'una con l'altra otteniamo la differenza di numero di cicli nella propagazione della cricca. Questo valore sommato al numero di cicli ottenuto dalle prove sperimentali permette di stimare la vita finita di un test a ruote ingrananti

Ricapitolando, abbiamo studiato investigato l'effetto che la diversa applicazione del carico nelle due metodolo-

gie di test comporta sulle curve SN ottenute. In particolare, è stato osservato ed approfondito l'effetto che il fattore di ricoprimento ha sulla ripartizione del carico e, conseguentemente sulla propagazione della cricca e sulla vita finita delle ruote. Una volta stimato il fenomeno viene proposto un metodo per la stima della curva SN di test a ruote ingrananti partendo dalle prove al pulsatore.

Primary authors: GORLA, Carlo (Politecnico di Milano); VALSECCHI, Lorenzo (Politecnico di Milano - DMEC); BONAITI, Luca (Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano)

Presenter: VALSECCHI, Lorenzo (Politecnico di Milano - DMEC)

Session Classification: Fatica e Frattura

Track Classification: Progettazione Meccanica