

Analisi sperimentale di un elettromandrino con supporti pneumatici

Original

Analisi sperimentale di un elettromandrino con supporti pneumatici / Colombo, Federico; Lentini, Luigi; Raparelli, Terenziano; Trivella, Andrea. - ELETTRONICO. - (2022). ((Intervento presentato al convegno Tribologia e Industria 2022 tenutosi a Rovereto (Trento) nel 30/6/2022-01/7/2022.

Availability:

This version is available at: 11583/2970350 since: 2022-07-28T13:42:17Z

Publisher:

Associazione Italiana di Tribologia

Published

DOI:

Terms of use:

openAccess

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

Analisi sperimentale di un elettromandrino con supporti pneumatici

F. COLOMBO, L. LENTINI, T. RAPARELLI, A. TRIVELLA

L’articolo descrive una sintesi dell’attività sperimentale condotta su un elettromandrino commerciale ad alta velocità, sostenuto da cuscinetti ad aria. In particolare, la sperimentazione condotta ha riguardato lo studio delle prestazioni del sistema in presenza di boccole radiali montate in configurazione fissa e flottante. Tale analisi è stata condotta sulla base della risposta libera e forzata a differenti velocità di rotazione.

Keywords: *high speed, electrospindle, air bearings, unbalance response, damping*

1. Introduzione

Grazie alla bassissima viscosità del lubrificante i cuscinetti ad aria sono particolarmente adatti all’impiego in elettromandri ad alta velocità per microlavorazioni di alta precisione. In questo tipo di applicazioni i principali obiettivi sono quelli di raggiungere velocità di rotazione sempre più elevate e ridurre quanto più possibile il runout. Per ottenere questi risultati è fondamentale ridurre il più possibile lo sbilanciamento dell’albero ed utilizzare soluzioni al fine di aumentare lo smorzamento dei supporti. Di seguito è presentata la sperimentazione condotta su un elettromandrino commerciale verificando il comportamento del rotore in presenza di boccole radiali montate in configurazione fissa e flottante rispetto al corpo del mandrino.

2. Il mandrino in prova

L’elettromandrino commerciale in esame, mostrato in figura 1, ha un rotore di massa pari a 0.382 kg e lunghezza pari a 145 mm. Il motore sincrono, posizionato tra i cuscinetti radiali, ha potenza nominale di 3.5 kW. Ciascun cuscinetto radiale è dotato di due file di 12 fori di alimentazione aventi diametro pari a 0.15 mm. Il cuscinetto radiale anteriore, più vicino al lato utensile, è stato progettato più rigido di quello posteriore. I diametri delle boccole anteriore e posteriore sono pari rispettivamente a 25 mm e a 22 mm, i meati radiali misurati delle boccole anteriore e posteriore sono pari a 16 μm e 19 μm rispettivamente.

Gli spostamenti dell’albero nelle direzioni radiali x , y sono misurati con due coppie di sensori capacitivi Microepsilon capaNCDT.

Considerando il rotore come un corpo infinitamente rigido, le misure di spostamento consentono di valutare i moti di tilting ϑ_x , ϑ_y rispetto a un sistema di riferimento solidale al corpo, risalendo quindi al valore dell’eccentricità in ogni posizione assiale del rotore.

Nella prima configurazione testata (1) le boccole sono montate rigidamente nelle sedi del corpo, dunque la rigidità dei cuscinetti radiali è solo quella dovuta al meato d’aria tra rotore e boccole. Nella seconda

configurazione provata (2) le boccole sono montate flottanti rispetto alla parte statorica mediante l’interposizione di alcune guarnizioni OR precaricate, realizzate in NBR e aventi durezza 70 Shore.

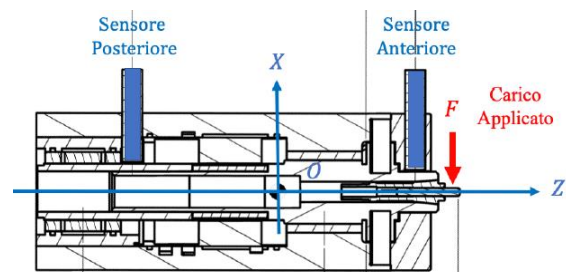


Fig. 1 Schema dell’elettromandrino

3. Misura della rigidità statica dei cuscinetti radiali

Il carico verticale F è stato realizzato con piccole masse calibrate appese all’estremità dell’albero. La tabella 1 mostra i valori di rigidità k_A, k_P dei cuscinetti anteriore e posteriore misurati nelle due configurazioni di montaggio, a rotore fermo e per piccole eccentricità dell’albero. La pressione relativa di alimentazione è pari a 0.6 MPa.

La rigidità dei cuscinetti nella configurazione 2 è inferiore a quella nella configurazione 1, infatti la rigidità degli anelli OR è sempre inferiore a quella del meato d’aria pressurizzato. Nella configurazione 2, in assenza di pressione di alimentazione, la rigidità misurata delle sole guarnizioni OR risulta pari a 9.1 N/ μm per ogni cuscinetto. I valori sperimentali confermano che il meato d’aria e le guarnizioni OR si comportano come elementi elastici montati in serie.

Tabella 1 Rigidità dei cuscinetti radiali (N/ μm)

	k_A	k_P
Config. (1)	19.9	15.1
Config. (2)	6.2	5.4

4. Risposta allo sbilanciamento

Sono state misurate le ampiezze delle orbite del rotore in corrispondenza dei cuscinetti radiali, in assenza di carico esterno e a diverse velocità di rotazione. La pressione relativa di alimentazione è pari a 0.6 MPa.

Per evitare la lettura dei disturbi dovuti al motore elettrico il rotore è stato prima portato in velocità e poi spento, acquisendo quindi i segnali in fase di decelerazione con frequenza di campionamento pari a 50 kHz. In generale è stato osservato un moto conico dell’asse polare del rotore dovuto sia allo spostamento radiale che a quello di tilting. Per la configurazione di montaggio (1) la figura 2 mostra l’orbita sul cuscinetto anteriore misurata alla velocità del rotore di 93 krpm e lo spettro in frequenza dei segnali; sono visibili il picco della componente in frequenza sincrona e quello della componente $2x$.

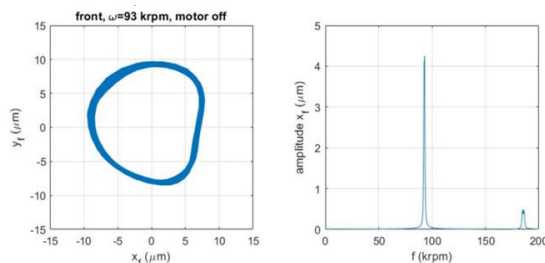


Fig. 2 orbita e spettro in frequenza del segnale misurato

La figura 3 mostra, sempre per la configurazione (1), l’ampiezza dell’orbita misurata in direzione verticale a diverse velocità di rotazione, sia in corrispondenza del baricentro che dei cuscinetti radiali.

Il rotore presenta la prima velocità critica a circa 95 krpm dove l’ampiezza dell’orbita è prossima all’altezza del meato. Per evitare il possibile grippaggio del rotore tale velocità non è mai stata superata sperimentalmente. Il modello numerico del sistema rotore - cuscinetti radiali mostra risultati simili a quelli sperimentali. Ipotizzando uno sbilanciamento statico del rotore pari a $1 \mu\text{m}$ i risultati numerici indicano che le condizioni di instabilità vengono raggiunte sempre prima sul cuscinetto anteriore.

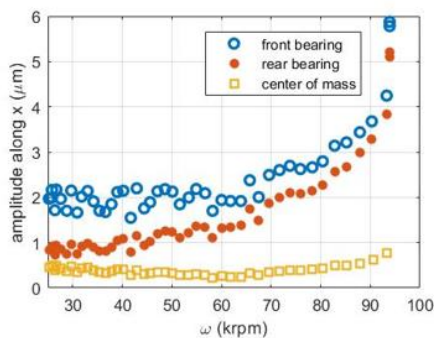


Fig. 3 configurazione (1): ampiezza dell’orbita sul cuscinetto anteriore in funzione della velocità del rotore

La figura 4 mostra, per la configurazione (1), lo spettro in frequenza teorico dell’orbita sul cuscinetto anteriore a

diverse velocità di rotazione. Si nota l’insorgere di una vibrazione subsincrona (whirl) per velocità poco superiori a 100 krpm. Il modello numerico ha anche permesso di individuare la seconda velocità critica del rotore pari a circa 115 krpm, l’ampiezza dell’orbita a tale velocità è comunque molto inferiore a quella della prima velocità critica.

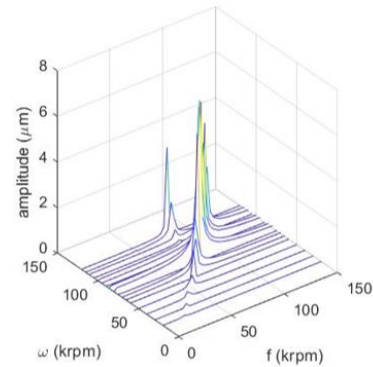


Fig. 4 spettro in frequenza teorico per il cuscinetto anteriore

Nella configurazione (2) la prima velocità critica misurata sperimentalmente si manifesta a 64 kHz con un’ampiezza massima di vibrazione pari a meno di un terzo di quella massima registrata nella configurazione (1). E’ stata superata la prima velocità critica senza pericolo di grippaggio del rotore in quanto oltre al massimo rilevato l’ampiezza si riduce all’aumentare della velocità. Le misure sono state eseguite fino a 120 krpm, senza individuare la seconda velocità critica e senza osservare whirling. L’instabilità da whirl è stata rilevata sperimentalmente a 70krpm con una pressione di alimentazione di circa 0.23 MPa, nettamente inferiore a quella di normale funzionamento.

5. Conclusioni

E’ stato verificato che l’utilizzo di anelli OR tra le boccole e il corpo del mandrino diminuisce la rigidità dei cuscinetti radiali e ne aumenta notevolmente la capacità smorzante garantendo una buona stabilità del rotore nel campo di velocità di normale funzionamento.

6. Ringraziamenti

Si ringrazia la ditta Carbomech (Burolo, TO) per il permesso alla pubblicazione dei risultati della ricerca condotta su un elettromandrino di sua produzione.

7. Bibliografia

- [1] Otsu, Y., Somaya, K., Yoshimoto, S.: High-speed stability of a rigid rotor supported by aerostatic journal bearings with compound restrictors. Tribology International. 44, 9–17 (2011).
- [2] Colombo, F., Lentini, L., Raparelli, T., Trivella, A., Viktorov, V.: Experimental and Numerical Dynamic Identification of an Aerostatic Electro-Spindle. Applied Science, 11, 11462 (2021)

