**Vibrazione meccanica – Bilanciamento del Rotore -**

Parte 11: **Procedure e tolleranze per i rotori con comportamento rigido**

**Prefazione**

ISO (Organizzazione Internazionale per la normazione) è una federazione mondiale per la definizione di norme. Il lavoro di preparazione delle Norme Internazionali viene normalmente svolto attraverso i comitati tecnici ISO. Ogni membro del corpo interessato a un argomento per il quale un comitato tecnico è stato istituito ha il diritto di essere rappresentato in tale comitato. Organizzazioni Internazionali, governative e non governative prendono parte ai lavori in collaborazione con ISO. ISO collabora strettamente con la Commissione elettrotecnica internazionale (IEC) su tutte le questioni di standardizzazione elettrotecnica.

Le procedure utilizzate per sviluppare questo documento e quelle per la sua ulteriore manutenzione sono descritte nelle Direttive ISO / IEC, Parte 1. In particolare i diversi criteri di approvazione necessari per le differenti tipologie dei documenti ISO. Questo documento è stato redatto in conformità con le Regole redazionali delle Direttive ISO / IEC, Parte 2 (vedi www.iso.org/directives).

Si richiama all’ attenzione la possibilità che alcuni degli elementi di questo documento possano essere oggetto di diritti di brevetto. ISO non può essere ritenuta responsabile per l'identificazione di alcuni o tutti i diritti di brevetto. È possibile avere i dettagli di qualsiasi diritto di brevetto, identificati nel documento, nell'Introduzione e/o sulla lista ISO delle dichiarazioni di brevetto ricevute (vedi www.iso.org/patents).

Qualsiasi nome commerciale utilizzato in questo documento è un'informazione fornita per comodità degli utenti e non rappresenta un avallo.

Circa la spiegazione sul significato dei termini specifici ISO e delle espressioni relative alla valutazione delle conformità, nonché sulle informazioni dell'adesione di ISO ai principi dell'Organizzazione mondiale del commercio (OMC) nelle Barriere tecniche al commercio (TBT) vedi il seguente URL: www.iso.org/iso/foreword.html.

La commissione competente di questo documento è ISO / TC 108, Vibrazioni meccaniche, monitoraggio di urti e condizioni, sottocommissione SC 2, Misurazione e valutazione delle vibrazioni meccaniche e degli shock applicati a macchine, veicoli e strutture.

Questa prima edizione annulla e sostituisce ISO 1940-1: 2003, che è stata tecnicamente rivista. I principali cambiamenti riguardano la cancellazione dei termini e delle definizioni che sono stati trasferiti alla ISO 21940-2 e ad una spiegazione più pronunciata dell'applicazione degli squilibri residui ammissibili per i processi di bilanciamento del rotore e di verifica dello squilibrio residuo.

 Le informazioni sulle descrizioni dettagliate delle tolleranze di squilibrio basate sui limiti di vibrazione sono state rimosse.

Si incorpora anche la rettifica tecnica ISO 1940-1: 2003 / Cor 1: 2005.

Un elenco di parti della serie ISO 21940 è disponibile sul sito Web ISO.

**Introduzione**

Il bilanciamento del rotore è una procedura mediante la quale viene controllata la distribuzione di massa di un rotore (o parte o modulo) e, se necessario, regolata per assicurare che la tolleranza di squilibrio sia soddisfatta.

Questo documento copre il bilanciamento di rotori a comportamento rigido. Un rotore viene detto rigido quando la flessione del rotore causata dalla sua distribuzione di squilibrio può essere trascurata rispetto alla tolleranza di squilibrio concordata a qualsiasi velocità fino alla massima velocità di servizio. Per questi rotori, lo squilibrio risultante e spesso il momento di squilibrio, sono di interesse, i quali quando combinati sono espressi come uno squilibrio dinamico del rotore.

Le macchine equilibratrici oggi disponibili consentono di ridurre gli squilibri residui a limiti molto bassi. Pertanto, è necessario specificare un requisito di squilibrio di qualità per un'attività di bilanciamento e come nella maggior parte dei casi non sarebbe economicamente conveniente ridurre lo squilibrio ai limiti della macchina equilibratrice.

Oltre a specificare una tolleranza di squilibrio, è necessario considerare gli errori introdotti dal processo di bilanciamento. Questo documento prende in considerazione questi errori per distinguere chiaramente tra lo squilibrio residuo ammissibile specificato e i valori di squilibrio residuo ridotti, tali da essere raggiunti durante il processo di bilanciamento.

**Vibrazione meccanica - Bilanciamento del rotore -**

Parte 11:

**Procedure e tolleranze per rotori con comportamento rigido**

1. **Scopo**

Questo documento stabilisce le procedure e le tolleranze di sbilanciamento per equilibrare i rotori con comportamento rigido. Esso specifica:

a) l'entità dello squilibrio residuo ammissibile,

b) il numero necessario di piani di correzione,

c) l'assegnazione dello squilibrio residuo ammissibile ai piani di tolleranza, e

d) come tenere conto degli errori nel processo di bilanciamento.

NOTA: In ISO 21940-14, la valutazione degli errori di bilanciamento viene considerata nel dettaglio. I fondamenti del bilanciamento del rotore sono contenuti in ISO 19499 che fornisce un'introduzione al bilanciamento.

Questo documento non copre il bilanciamento dei rotori con comportamento flessibile. Le Procedure e tolleranze dei rotori con comportamento flessibile sono trattati in ISO 21940-12.

**2. Riferimenti Normativi**

Non ci sono riferimenti normativi in ​​questo documento.

1. **Termini e definizioni**

Ai fini del presente documento, si applicano i termini e le definizioni indicati nella norma ISO 21940-2. ISO e IEC gestiscono i database terminologici da utilizzare nella standardizzazione ai seguenti indirizzi internet:

- IEC Electropedia: disponibile su <http://www.electropedia.org/>

- Piattaforma di navigazione online ISO: disponibile all'indirizzo <http://www.iso.org/obp>

**4. Aspetti pertinenti del bilanciamento**

**4.1 Generale**

Il bilanciamento del rotore è una procedura mediante la quale viene esaminata la distribuzione di massa di un rotore e, se necessario, regolato per garantire che lo squilibrio o le vibrazioni residue in servizio rientrino nei limiti specificati. Dovrebbe essere noto che la vibrazione in servizio può provenire da fonti diverse dallo squilibrio.

Lo squilibrio del rotore può essere causato dal design, dal materiale, dalla manifattura e dall’assemblaggio. Ogni rotore ha una distribuzione individuale dello squilibrio lungo la sua lunghezza, anche nella produzione in serie.

**4.2 Rappresentazione dello squilibrio**

Per un rotore con comportamento rigido, è possibile utilizzare diverse quantità vettoriali per rappresentare lo stesso squilibrio come mostrato in Figura 1.

Figura 1 (dalla a alla c) mostra diverse rappresentazioni in termini di squilibrio risultante e squilibrio di coppia risultante, mentre la Figura 1 (da d a f) mostra rappresentazioni differenti in termini di uno squilibrio dinamico in due piani.

NOTA 1 Il vettore risultante di squilibrio può essere posizionato su qualsiasi piano radiale (senza modificare l’ampiezza e l’angolo), ma lo squilibrio di coppia risultante associato dipende dalla posizione del vettore di squilibrio risultante.

NOTA 2 Il centro di squilibrio è quella posizione sull'asse dell'albero per lo squilibrio risultante, dove lo squilibrio di coppia risultante è un minimo.

Se il bilanciamento su un solo piano è sufficiente (vedi 4.5.2) o quando vengono fatte considerazioni in termini di squilibrio risultante e squilibrio di coppia risultante (vedi 4.5.4), la rappresentazione nella figura 1 (da a a c) è preferibile.

Nel caso di tipiche considerazioni su due piani, la rappresentazione nella Figura 1 (da d a f) è vantaggiosa.

**4.3 Effetti di squilibrio**

Lo Squilibrio risultante e squilibrio del momento risultante (quest'ultimo può anche essere espresso come coppia risultante di squilibrio) hanno effetti diversi sulle forze dei cuscinetti e sulla vibrazione della macchina.

In pratica, quindi, entrambi gli squilibri sono spesso considerati separatamente. Anche se lo squilibrio è indicato come uno squilibrio dinamico in due piani, si dovrebbe notare che nella maggior parte dei casi c'è una differenza sugli effetti se gli squilibri formano prevalentemente uno squilibrio risultante o un momento risultante di squilibrio.

**4.4 Piani di riferimento per tolleranze di squilibrio**

Si consiglia di utilizzare i piani di riferimento per stabilire le tolleranze di squilibrio. Per questi piani, solo l'ampiezza di ogni squilibrio residuo deve rimanere entro la rispettiva tolleranza di equilibrio, qualsiasi posizione angolare sia.

Lo scopo del bilanciamento è di solito quello di ridurre le vibrazioni e le forze trasmesse attraverso i cuscinetti nell'ambiente. Ai fini del presente documento, i piani di riferimento per le tolleranze di squilibrio sono presi per essere piani di appoggio. Tuttavia, questo uso di piani di appoggio non si applica sempre.

NOTA Per un componente senza albero (ad esempio un elemento a forma di disco), ma dove le posizioni finali del cuscinetto sono conosciute (o possono essere stimate), si possono utilizzare questi piani.



NOTA per la figura 1 c) la coppia di squilibrio associata è un minimo e poggia su un piano ortogonale al vettore di squilibrio risultante.

**4.5 Piani di correzione**

**4.5.1 Generale**

I rotori che superano la tolleranza di squilibrio devono essere corretti. Queste correzioni di squilibrio spesso non possono essere eseguite nei piani in cui sono state impostate le tolleranze di sbilanciamento, ma devono essere eseguite dove il materiale può essere aggiunto, rimosso o riposizionato.

Il numero di piani di correzione necessari dipende dalla grandezza e dalla distribuzione dell'iniziale

squilibrio, oltre che dal design del rotore, ad esempio la forma dei piani di correzione e la loro posizione rispetto ai piani di tolleranza.

**4.5.2 Rotori che necessitano solo di un piano di correzione**

Per alcuni rotori, solo lo squilibrio risultante è fuori tolleranza ma lo squilibrio del momento risultante è entro la tolleranza. Questo di solito accade con i rotori che hanno un singolo disco, a condizione che:

a) la distanza del cuscinetto è sufficientemente grande,

b) il disco ruota con una rotazione assiale sufficientemente piccola, e

c) il piano di correzione per lo squilibrio risultante è scelto correttamente.

Dopo che il bilanciamento del singolo piano è stato effettuato su un numero sufficiente di rotori, viene determinato il residuo maggiore del momento di squilibrio e diviso per la distanza del cuscinetto, producendo uno squilibrio di coppia.

Se, anche nel peggiore dei casi, lo squilibrio della coppia trovato in questo modo è accettabile, ci si può aspettare che il bilanciamento su un solo piano sia sufficiente.

Per il bilanciamento su un solo piano, il rotore non ha bisogno di ruotare ma, per motivi di sensibilità e precisione, nella maggior parte dei casi vengono utilizzate macchine di bilanciamento rotazionale.

**4.5.3 Rotori che necessitano di due piani di correzione**

Se un rotore con comportamento rigido non soddisfa le condizioni specificate in 4.5.2, il momento di squilibrio deve essere ridotto. Nella maggior parte dei casi, lo squilibrio risultante e il momento risultante di squilibrio sono assemblati in uno squilibrio dinamico: due vettori di squilibrio in due piani; vedi Figura 1 d).

Per il bilanciamento a due piani, è necessario ruotare il rotore, altrimenti il momento di squilibrio rimarrebbe inosservato.

**4.5.4 Rotori con più di due piani di correzione**

Sebbene tutti i rotori con comportamento rigido teoricamente possano essere bilanciati su due piani, a volte vengono utilizzati più di due piani di correzione, ad esempio

a) nel caso di correzioni separate dello squilibrio risultante e dello squilibrio delle coppie, se la correzione di squilibrio risultante non viene eseguito in uno (o entrambi) dei piani di coppia, e

b) se la correzione si sviluppa lungo il rotore.

In casi speciali, la diffusione della correzione lungo il rotore può essere necessaria a causa di restrizioni nelle correzioni dei piani (ad esempio correzione di alberi a gomito mediante perforazione nei contrappesi) o raccomandabili per mantenere la funzione e la forza del componente.

**4.6 Squilibrio residuo ammesso**

Nel caso semplice di un rotore interno per il quale lo squilibrio di coppia può essere ignorato (vedi 4.5.2), il suo stato di squilibrio può quindi essere descritto come una singola quantità vettoriale, lo squilibrio, U.

Per ottenere un funzionamento soddisfacente del rotore, l'entità di questo squilibrio, vale a dire lo squilibrio residuo, $U\_{res}$, non deve essere superiore a un valore consentito, $U\_{per}$:

$$U\_{res}\leq U\_{per}$$

Più in generale, lo stesso si applica a qualsiasi tipo di rotore con comportamento rigido, ma poi $U\_{per}$r copre lo squilibrio risultante e squilibrio del momento risultante, vedere anche 5.2.

NOTA L'unità del SI per $U\_{per}$ è kg · m (chilogrammi metri), ma per scopi di bilanciamento, le unità più pratiche sono g · mm (grammi millimetri), kg · mm (chilogrammi millimetri) o mg · mm (milligrammi millimetri).

 $U\_{per} $è definito come la tolleranza totale nel piano del centro di massa. Nel caso di due piani di bilanciamento, questa tolleranza deve essere assegnata ai piani di tolleranza (vedi punto 7).

**5 Considerazioni sulla similarità**

**5.1 Generale**

Alcune considerazioni sulla similarità possono aiutare nella comprensione e nel calcolo delle influenze della massa del rotore e velocità di servizio sullo squilibrio residuo ammesso.

**5.2 Squilibrio residuo ammissibile e massa del rotore**

In generale, per rotori dello stesso tipo, lo squilibrio residuo ammissibile, $U\_{per}$, è proporzionale alla

massa del rotore, m, come indicato in Formula (2):

$$U\_{per} \~ m$$

Il rapporto tra $U\_{per}$ e massa del rotore, m, è lo squilibrio residuo specifico ammissibile, $e\_{per}$, come indicato in Formula (3):

$$e\_{per}=^{U\_{per}}/\_{m}$$

NOTA 1 L'unità del SI $^{U\_{per}}/\_{m}$ è kg · m / kg (chilogrammi metri per chilogrammo) o m (metri), ma una più pratica unità è g · mm / kg (grammi millimetri per chilogrammo), che corrisponde a $μm$ (micrometri) perché molti squilibri residui specifici ammessi sono compresi tra 0,1 $μm$ e 10 $μm$.

NOTA 2 Il termine $e\_{per}$ è utile specialmente se le tolleranze geometriche (ad es. Rotazione, gioco) sono correlate alle tolleranze di squilibrio.

NOTA 3 Nel caso di un rotore con un solo squilibrio risultante (vedere 4.5.2), $e\_{per}$ è la distanza dal centro della massa dall'asse dell'albero. Tuttavia, nel caso di un rotore generale con uno squilibrio risultante ed un momento risultante di squilibrio presente, $e\_{per} $è una quantità artificiale che contiene gli effetti dello squilibrio risultante oltre a quelli dello squilibrio del momento risultante.

NOTA 4 ci sono limiti per lo squilibrio specifico residuo raggiungibile, $e\_{per}$, in base alle condizioni di installazione nella macchina equilibratrice (ad esempio il centro, cuscinetti e azionamento).

NOTA 5 Valori piccoli di $e\_{per}$ possono essere raggiunti solo in pratica se la precisione dei diaframmi dell'albero (rotondità, linearità ecc.) è adeguata. In alcuni casi, può essere necessario equilibrare il rotore nei propri cuscinetti di servizio, usando la cintura, l'aria o l'auto-guida. In altri casi, il bilanciamento deve essere eseguito con il rotore completamente assemblato nel proprio alloggiamento con cuscinetti e self-drive, in condizioni di servizio e temperatura.