NORME INTERNATIONALE

ISO 1940-1

Deuxième édition
2003-08-15

Vibrations mécaniques — Exigences en matière de qualité dans l'équilibrage pour les rotors en état rigide (constant) —

Partie 1: Spécifications et vérification des tolérances

Mechanical vibration — Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state —

Part 1: Specification and verification of balance tolerances

Numéro de référence
ISO 1940-1:2003(F)

© ISO 2003

PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

© ISO 2003

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos v

Introduction vi

1 Domaine d'application 1

2 Références normatives 1

3 Termes et définitions 2

4 Aspects pertinents de la question de l'équilibrage 4
4.1 Généralités 4
4.2 Représentation du balourd 4
4.3 Effets de balourd 6
4.4 Plans de référence pour les tolérances d'équilibrage 6
4.5 Plans de correction 6
4.6 Balourd résiduel admissible 7

5 Considérations sur la similitude 8
5.1 Généralités 8
5.2 Balourd résiduel admissible et masse du rotor 8
5.3 Balourd spécifique résiduel admissible et vitesse nominale 8

6 Spécifications des tolérances d'équilibrage 9
6.1 Généralités 9
6.2 Degrés de qualité d'équilibrage G 9
6.3 Évaluation expérimentale 10
6.4 Méthodes basées sur des objectifs particuliers 13
6.5 Méthodes basées sur l'expérience 13

7 Répartition du balourd résiduel admissible dans les plans de tolérance 13
7.1 Un seul plan 13
7.2 Deux plans 13

8 Répartition des tolérances d'équilibrage dans les plans de correction 15
8.1 Généralités 15
8.2 Un seul plan 16
8.3 Deux plans 16

9 Rotors assemblés 16
9.1 Généralités 16
9.2 Équilibrage après assemblage 16
9.3 Équilibrage des composants 16

10 Vérification des balourds résiduels 17
10.1 Généralités 17
10.2 Critères d'acceptation 17
10.3 Vérification avec une machine à équilibrer 18
10.4 Vérification sans machine à équilibrer 18

Annexe A (informative) **Exemple de spécification du balourd résiduel admissible en fonction du degré de qualité d'équilibrage G et de la répartition dans les plans de tolérance** 19

Annexe B (informative) **Spécification des tolérances d'équilibrage en fonction des limites de force au droit des liaisons** 22

Annexe C (informative) **Spécification des tolérances d'équilibrage en fonction des limites de vibration** 23

© ISO 2003 — Tous droits réservés

Annexe D (informative) **Spécification des tolérances d'équilibrage en fonction de l'expérience établie** **24**

Annexe E (informative) **Règles de transfert des tolérances d'équilibrage dans les plans de tolérance aux tolérances d'équilibrage dans les plans de correction** **26**

Bibliographie **28**

 © ISO 2003 — Tous droits réservés

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 1940-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*, sous-comité SC 1, *Équilibrage, y compris les machines à équilibrer*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 1940-1:1986), qui a fait l'objet d'une révision technique. Le changement le plus important est l'introduction de plans de référence pour les tolérances d'équilibrage, au lieu d'utiliser les plans de correction comme plans de tolérance.

L'ISO 1940 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Vibrations mécaniques — Exigences en matière de qualité dans l'équilibrage pour les rotors en état rigide (constant)*:

— *Partie 1: Spécifications et vérification des tolérances d'équilibrage*

— *Partie 2: Erreurs d'équilibrage*

© ISO 2003 — Tous droits réservés

Introduction

Une introduction générale aux normes traitant de l'équilibrage est donnée dans l'ISO 19499 (en préparation). Pour les rotors en état rigide (constant), seuls le balourd résultant et le moment résultant (couple résultant) présentent de l'intérêt et sont souvent représentés ensemble par un balourd dynamique.

Actuellement, compte tenu des moyens disponibles, un balourd résiduel faible peut être obtenu. Toutefois, il serait contraire aux lois de l'économie de ramener les balourds à ces limites. Il est au contraire nécessaire de spécifier les critères de qualité pour toute opération d'équilibrage.

La vérification des balourds résiduels s'avère d'une aussi grande importance. Il faut prendre en compte différentes erreurs d'équilibrage pour effectuer cette vérification. Une méthode améliorée permettant de traiter les erreurs de la machine à équilibrer est décrite dans l'ISO 1940-2.

© ISO 2003 — Tous droits réservés

Vibrations mécaniques — Exigences en matière de qualité dans l'équilibrage pour les rotors en état rigide (constant) —

Partie 1: Spécifications et vérification des tolérances d'équilibrage

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 1940 donne des spécifications pour les rotors en état rigide (constant). Elle spécifie

a) les tolérances d'équilibrage,

b) le nombre de plans de correction nécessaires, et

c) des méthodes permettant de vérifier le balourd résiduel.

Des recommandations relatives à la qualité des rotors équilibrés en état rigide (constant) sont aussi données, en fonction de leur type et de leur vitesse nominale maximale. Ces recommandations reposent sur une expérience internationale.

La présente partie de l'ISO 1940 se propose également de faciliter les relations entre le constructeur et l'utilisateur des machines tournantes, en définissant des critères d'acceptation pour la vérification des balourds résiduels.

Des compléments concernant les erreurs associées à l'équilibrage et à la détermination du balourd résiduel sont donnés dans l'ISO 1940-2.

La présente partie de l'ISO 1940 ne concerne pas les rotors à l'état flexible. Les critères de qualité d'un rotor équilibré à l'état flexible sont définies dans l'ISO 11342.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 1925:2001, *Vibrations mécaniques — Équilibrage — Vocabulaire*

ISO 1940-2, *Vibrations mécaniques — Exigences en matière de qualité dans l'équilibrage des rotors rigides — Partie 2: Défauts d'équilibrage*

© ISO 2003 — Tous droits réservés

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 1925 s'appliquent. Par commodité pour les utilisateurs, certaines de ces définitions sont données ci-après.

NOTE Certaines de ces définitions font actuellement l'objet d'une révision.

3.1
équilibrage
méthode par laquelle la répartition de la masse d'un rotor est vérifiée et, si nécessaire, corrigée, de façon à garantir que le balourd résiduel ou la vibration des tourillons et/ou que les forces sur les paliers sont dans des limites spécifiées pour une fréquence correspondant à la vitesse nominale

[ISO 1925:2001, définition 4.1]

3.2
balourd
état dans lequel se trouve un rotor quand, par suite de forces centrifuges, une force ou un mouvement vibratoire est communiqué à ses paliers

[ISO 1925:2001, définition 3.1]

3.3
balourd initial
balourd de tout type existant dans le rotor avant l'équilibrage

[ISO 1925:2001, définition 3.11]

3.4
balourd résiduel
balourd final
balourd de tout type subsistant après l'équilibrage

[ISO 1925:2001, définition 3.10]

3.5
balourd résultant
vecteur égal à la somme des vecteurs balourds répartis le long du rotor

NOTE 1 Voir notes de la définition 3.6.

[ISO 1925:2001, définition 3.12]

NOTE 2 Il peut être exprimé par

$$\vec{U}_{\mathrm{r}} = \sum_{k=1}^{K} \vec{U}_k$$

où

$\vec{U}_{\mathrm{r}}$ est le vecteur balourd résultant (g·mm);

$\vec{U}_k$ sont les vecteurs balourds individuels, numérotés 1 à K.

3.6
moment résultant de balourd
vecteur égal à la somme des moments de tous les vecteurs balourds, répartis le long du rotor, par rapport au plan du balourd résultant

 © ISO 2003 — Tous droits réservés

NOTE 1 Le balourd résultant et le moment résultant de balourd permettent de décrire complètement le balourd d'un rotor en état rigide (constant).

NOTE Le vecteur balourd résultant n'est pas lié à un plan radial particulier, mais le module et la position angulaire du moment résultant dépendent de la position axiale choisie pour le balourd résultant.

NOTE 3 Le vecteur balourd résultant est un vecteur qui résulte de la somme des vecteurs balourds complémentaire du balourd dynamique.

NOTE 4 Le moment résultant de balourd est souvent exprimé par une paire de vecteurs balourds de grandeur égale, mais de sens opposés, dans l'un ou l'autre des deux plans radiaux différents.

NOTE 5 Ceci peut être exprimé par

$$\vec{P}_{\mathrm{r}} = \sum_{k=1}^{K} \left(\vec{z}_{U\mathrm{r}} - \vec{z}_k \right) \times \vec{U}_k$$

où

$\vec{P}_{\mathrm{r}}$ est le moment résultant de balourd (g·mm²);

$\vec{U}_k$ sont les vecteurs balourds individuels, numérotés 1 à K;

$\vec{z}_{U\mathrm{r}}$ est le vecteur position axiaile d'un point de référence au plan du balourd résultant, $\vec{U}_{\mathrm{r}}$;

$\vec{z}_k$ est le vecteur position axiale du même point de référence au plan de $\vec{U}_k$.

NOTE 6 Adapté de l'ISO 1925:2001, définition 3.13.

3.7
couple de balourds
paire de vecteurs balourds, dont les modules sont égaux mais les angles opposés, dans deux plans radiaux, formant un moment de l'ensemble des balourds avec la distance entre les paliers

3.8
balourd dynamique
état dans lequel l'axe central principal d'inertie se trouve dans n'importe quelle orientation par rapport à l'axe de l'arbre

NOTE 1 Dans des cas particuliers, il peut être parallèle à l'axe de l'arbre, ou encore couper celui-ci.

NOTE 2 La mesure quantitative du balourd dynamique peut être donnée par deux vecteurs balourds complémentaires dans deux plans spécifiés (perpendiculaires à l'axe de l'arbre), vecteurs représentant complètement le balourd total du rotor en état rigide (constant).

NOTE 3 Adapté de l'ISO 1925:2001, définition 3.9.

3.9
module du balourd
produit de la masse du balourd par la distance (rayon) de son centre de masse à l'axe de l'arbre

NOTE Le module du balourd s'exprime en grammes millimètres (g·mm).

[ISO 1925:2001, définition 3.3]

3.10
angle du balourd
angle polaire repérant la position de la masse du balourd dans un système donné de coordonnées polaires se trouvant dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'arbre et tournant avec le rotor

[ISO 1925:2001, définition 3.4]

© ISO 2003 — Tous droits réservés

3.11
vecteur balourd
vecteur défini par son module égal au module du balourd et son angle égal à l'angle du balourd

[ISO 1925:2001, définition 3.5]

3.12
état d'un rotor
état déterminé par le comportement de déséquilibre selon la vitesse, les types de balourds à corriger et la capacité du rotor à maintenir ou à modifier la position des éléments qui constituent sa masse ainsi que la position de leur centre de masse les uns par rapport aux autres dans une plage de vitesses définie

NOTE 1 Dans la plupart des cas, les balourds varient peu avec la vitesse. Contrairement aux définitions utilisées à ce jour (ISO 1925), les balourds modaux ne dépendent pas de la vitesse. Ce n'est que dans certains cas que les balourds varient avec la vitesse de façon notable.

NOTE 2 Les éléments de la masse permettent de décrire utilement la répartition de la masse d'un rotor et les évolutions possibles en fonction de la vitesse. Les éléments de la masse peuvent être des éléments finis, des pièces, ou des composants.

NOTE 3 L'état du rotor dépend de sa conception, de sa construction et de son montage.

NOTE 4 La réponse du rotor au balourd peut varier avec la vitesse et les caractéristiques du palier. L'acceptabilité de la réponse est déterminée par les tolérances d'équilibrage appropriées.

NOTE 5 La plage de vitesse contient toutes les vitesses, de l'immobilité à la vitesse nominale maximale, mais elle peut également inclure une survitesse correspondant à l'exploitation (liée par exemple à la température, à la pression, au débit).

NOTE 6 Au titre de l'équilibrage, seuls les changements dans la position des éléments de la masse du rotor non symétriques à l'axe de l'arbre sont considérés.

3.13
rotor en état rigide (constant)
état d'un rotor dans lequel les balourds varient peu avec la vitesse, seuls le balourd résiduel et/ou le moment résultant sont en dehors des limites spécifiées, et la position de tous les éléments de masse du rotor les uns par rapport aux autres varie peu dans la plage de vitesses

NOTE Le balourd d'un rotor en état rigide peut être corrigé dans l'un ou l'autre (choisi arbitrairement) des deux plans.

4 Aspects pertinents de la question de l'équilibrage

4.1 Généralités

L'équilibrage est un mode opératoire permettant de vérifier et, si nécessaire, d'ajuster la répartition de la masse d'un rotor pour garantir que le balourd résiduel ou les vibrations du tourillon et/ou les forces aux paliers, à une fréquence correspondant à la vitesse nominale, se situent dans les limites spécifiées.

Le balourd d'un rotor peut provenir de la conception, du matériau utilisé, de la réalisation et de l'assemblage. Chaque rotor présente une répartition unique du balourd sur sa longueur, même fabriqué en série.

4.2 Représentation du balourd

Un seul et même balourd d'un rotor en état rigide (constant) peut être représenté par des vecteurs de diverses façons, comme le montrent les Figures 1a) à 1f).

Les Figures 1a) à 1c) montrent différentes représentations du balourd résultant et du couple résultant; les Figures 1d) à 1f) présentent le balourd dynamique dans deux plans.

 © ISO 2003 — Tous droits réservés