



ISO/TR 10657:2021(Fr)

ISO-TC 4/SC 3

Secrétariat: DIN

Deuxième édition

2021-11

Notes explicatives sur l'ISO 76

Explanatory notes on ISO 76

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

© ISO 2021

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en ~~œuvre~~œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
CP 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Geneva
~~Téléphone: +~~Phone: + 41 22 749 01 11
E-mail: copyright@iso.org

~~Site web:~~ www.iso.org

~~Website:~~ www.iso.org

Publié en Suisse

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Sommaire

page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives.....	1
3 Termes, définitions et symboles.....	1
3.1 Termes et définitions.....	1
3.2 Symboles	1
4 Charge statique de base	3
4.1 Généralités.....	3
4.2 Charge radiale statique de base C_{0r} des roulements radiaux à billes.....	5
4.3 Charge axiale statique de base C_{0a} pour les butées à billes.....	8
4.4 Charge radiale statique de base C_{0a} pour les roulements radiaux à rouleaux.....	9
4.5 Charge axiale statique de base C_{0a} pour les butées sur rouleaux	10
5 Charge statique équivalente	10
5.1 Charge radiale équivalente statique théorique P_{0r} pour les roulements radiaux.....	10
5.2 Charge axiale équivalente statique théorique P_{0a} pour les butées	24
5.3 Formules approximatives pour la charge équivalente statique théorique	30
5.4 Formules pratiques pour la charge équivalente statique	31
5.5 Facteur de charge radiale statique X_0 et facteur de charge axiale statique Y_0	40
Annexe A (normative) Valeurs pour γ , κ et $E(\kappa)$	47
Bibliographie	50

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 (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 4, *Roulements*, sous-comité SC 8, *Charges de base et durée*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 10657:1991), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- ~~Inclusion~~~~inclusion~~ de nouveaux paragraphes 0.4 et 0.5 avec des explications concernant l'édition 2006 de la norme ISO 76:2006 et l'ISO 76/Amd.1:2017;
- ~~Inclusion~~~~inclusion~~ de ~~3~~~~l'Article 3~~ pour les symboles;
- ~~Modification~~~~modification~~ du Tableau 16 ~~Tableau 16~~ et du Tableau 18 ~~Tableau 18~~ conformément aux valeurs supplémentaires de l'ISO 76:2006 (valeurs de X_0 et Y_0 pour des angles de contact de 5° et 10° des roulements à billes à contact oblique).

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

(fr)

Introduction

0.1 ISO/R 76:1958

L'ISO/R 76, *Roulements à billes et à rouleaux — Méthodes d'évaluation des charges statiques admissibles*, a été élaborée par le Comité technique ISO/TC 4, Roulements.

L'ISO/R 76 s'appuie sur les études d'A. Palmgren et al.[2][3]. Les charges statiques de base ont été définies de manière à correspondre à une déformation permanente totale de l'élément roulant et de la piste, au point de contact le plus sollicité entre l'élément roulant et le chemin de roulement, égale à 0,000 1 du diamètre de l'élément roulant. Les valeurs de base relatives aux charges statiques de base pour les roulements à rouleaux à conception interne spéciale ont ensuite été définies.

L'ISO/R 76:1958 a été approuvée par 28 comités membres (sur un total de 38) et a ensuite été soumise au Conseil de l'ISO, qui a décidé, en décembre 1958, de l'adopter en tant que Recommandation ISO.

0.2 ISO 76:1978

L'ISO/TC 4 a décidé d'inscrire la révision de l'ISO/R 76 à son programme de travail et a demandé au secrétariat du sous-comité ISO/TC 4/SC 8 de préparer une proposition de projet. En conséquence, le secrétariat a présenté une proposition de projet[3] en janvier 1976.

La proposition de projet a été acceptée par 6 des 8 membres de l'ISO/TC 4/SC 8. Parmi les deux propositions restantes, le Japon a préféré poursuivre l'étude, tandis que les États-Unis ont présenté leur contre-proposition, le document ISO/TC 4/SC 8 N 64[4]. Le projet a ensuite été soumis au Secrétariat central de l'ISO. Une fois le projet approuvé par les comités membres de l'ISO, le Conseil de l'ISO a décidé, en juin 1978, de l'adopter en tant que norme internationale.

L'ISO 76:1978 a adopté l'unité SI «newton» et a fait l'objet d'une révision complète, sans toutefois apporter de modifications substantielles. Cependant, les valeurs de X_0 et Y_0 pour les angles de contact nominaux de 15° et 45° des roulements à billes, à gorges, à contact radial et oblique ont été ajoutées au tableau afin de calculer les charges radiales statiques équivalentes des roulements à billes radiaux (voir ISO 76:1978, Tableau 2).

0.3 ISO 76:1987

Lors de la révision de l'ISO/R 76:1958, les États-Unis avaient présenté en 1975 une contre-proposition[4] concernant les charges statiques de base, fondée sur une contrainte de contact calculée.

En janvier 1978, le secrétariat a demandé un vote sur la révision des charges statiques admissibles en fonction du niveau de contrainte de contact puis a ensuite diffusé les résultats du vote en juin 1978, et le numéro de ce projet de révision est devenu le n° 157 du programme de travail du TC 4.

L'ISO/TC 4/SC 8, après avoir examiné les propositions formulées dans les documents TC 4/SC 8 N 75[5] et TC 4 N 86[6] ainsi que les commentaires formulés par les membres du TC 4 et le fait que plusieurs membres du SC 8 ont exprimé la nécessité de mettre à jour ISO 76, a convenu de poursuivre son étude en tenant compte de la possibilité d'utiliser soit la déformation permanente, soit le niveau de contrainte comme

© ISO 2021 – Tous droits réservés

© ISO 2021 – Tous droits réservés

✖

base pour les charges statiques, et l'ISO/TC 4/SC 8 a demandé à son secrétariat de préparer un nouveau projet. Il était prévu que le nouveau projet soit élaboré selon les principes et les formules du document TC 4/SC 8 N 75, et inclure des niveaux de contrainte de contact pour différents types de contact entre les éléments roulants, correspondant généralement à une déformation permanente de 0,000 1 du diamètre de l'élément roulant au centre du contact le plus soumis à des contraintes entre l'élément roulant/le chemin de roulement. Pour les roulements à rouleaux, un niveau de contrainte de 4 000 MPa a été convenu puis l'ISO/TC 4/SC 8 a ensuite décidé, à la majorité, qu'il convient que les charges statiques correspondent à des contraintes de contact calculées de

- 4 000 MPa pour les roulements à rouleaux,
- 4 600 MPa pour les roulements à rotule sur billes, et
- 4 200 MPa pour tous les autres roulements à billes auxquels s'applique la norme.

Pour ces contraintes de contact calculées, une déformation permanente totale se produit au centre du contact le plus soumis à des contraintes entre l'élément roulant/le chemin de roulement, et cette déformation est d'environ 0,000 1 du diamètre de l'élément roulant.

L'ISO 76 a été soumis au Secrétariat central de l'ISO en 1985 et, après avoir été approuvé par les membres de l'ISO, le Conseil de l'ISO a décidé en février 1987 de l'adopter en tant que norme internationale.

Par ailleurs, l'ISO/TC 4/SC 8 a décidé qu'il convenait que les informations complémentaires concernant la dérivation des formules et des facteurs figurant dans l'ISO 76 soient publiées sous la forme d'un rapport technique. Ce rapport technique a été publié en tant qu'ISO/TR 10657:1991.

Un amendement à l'ISO 76:1987, qui explique les différences de charges entre les roulements radiaux et les roulements axiaux, a été publié en tant qu'ISO 76:1987/Amd.1:1999.

0.4 ~~0.4~~ ISO 76:2006

Une révision systématique de l'ISO 76:1987 a été décidée en 2003, sur la base du procédé de vote préalable et des documents TC 4/SC 8 N 233 et N 235.

L'ISO 76:2006 comprend des adaptations rédactionnelles et des mises à jour, ainsi qu'une extension par le facteur de sécurité statique S_0 . De plus, l'ISO 76:1987/Amd.1:1999 a été intégrée et est devenue l'[Annexe A](#) informative «Discontinuités dans le calcul des charges statiques de base».

0.5 ~~0.5~~ ISO 76:2006/Amd.1:2017

L'ISO 76:2006/Amd.1:2017 comprend les éléments suivants:

- des graphiques pour les facteurs f_0 , X_0 et Y_0 tirés du projet ÖNORM M 6320 à inclure dans une annexe informative;
- des formules de calcul du facteur de charge f_0 issues de l'ISO/TR 10657 à introduire dans la partie normative de la norme;
- les tableaux relatifs au facteur de charge f_0 resteront dans la partie normative de la norme; toutefois, une phrase sera ajoutée pour préciser que les résultats obtenus à partir des formules sont privilégiés.

Notes explicatives sur l'ISO 76

1 Domaine d'application

Le présent document fournit des informations complémentaires sur la dérivation des formules et des facteurs figurant dans l'ISO 76:2006.

2 Références normatives

Il n'y a pas de références normatives dans le présent document.

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

3.2 Symboles

C_{0a}	charge axiale statique de base, en newtons
C_{0r}	charge radiale statique de base, en newtons
D_{pw}	diamètre primitif, sur billes ou rouleaux, en millimètres
D_w	diamètre nominal de la bille, en millimètres
D_{we}	diamètre du rouleau à utiliser dans les calculs de charges de base, en millimètres
E	module d'élasticité (ou module d'Young), en mégapascals
E_1, E_2	module d'élasticité du corps 1 (élément roulant) et du corps 2 (chemin de roulement), en mégapascals
$E(\kappa)$	intégrale elliptique complète de la deuxième espèce
E_0	$E/(1 - \nu^2)$
F_a	charge axiale (composante axiale de la charge appliquée), en newtons
F_r	charge radiale (composante radiale de la charge appliquée), en newtons
$F(\rho)$	différence de courbure relative
$J_a(\epsilon)$	intégrale de charge axiale
$J_r(\epsilon)$	intégrale de charge radiale
$K(\kappa)$	intégrale elliptique complète de la première espèce

L_{we}	longueur de rouleau à utiliser dans les calculs de charges, en millimètres
P_{0a}	charge axiale statique équivalente théorique pour une butée, généralement appelée charge axiale statique équivalente, en newtons
P_{0r}	charge radiale statique équivalente théorique pour un roulement radial, généralement appelée charge radiale statique équivalente, en newtons
Q	force normale entre l'élément roulant et le chemin de roulement, en newtons
Q_{max}	force normale maximale entre l'élément roulant et le chemin de roulement, en newtons
S	nombre de Stribeck
X_0	facteur de charge radiale statique
Y_0	facteur de charge axiale statique
Z	nombre de billes supportant la charge dans une direction, nombre de billes ou de rouleaux par rangée, ou nombre d'éléments roulants par rangée
a	demi-grand axe de l'ellipse de contact projetée, demi-longueur de la surface de contact
b	demi-petit axe de l'ellipse de contact projetée, demi-largeur de la surface de contact
c	constante de compression, en $1/\text{mégapascal}^{2/3}$
f	osculation = r/D_w
f_e	osculation au niveau de la bague extérieure = r_e/D_w
f_i	osculation au niveau de la bague intérieure = r_i/D_w
f_0	facteur qui dépend de la géométrie des composants du roulement et du niveau de contrainte appliqué
i	nombre de rangées de billes ou de rouleaux dans un roulement
k_0	paramètre de distribution de charge.
r	rayon de courbure d'une section transversale d'un chemin de roulement, en millimètres
r_e	rayon de la gorge de la bague extérieure, en millimètres
r_i	rayon de la gorge de la bague intérieure, en millimètres
t	exposant dans la formule charge-déflexion
x	distance dans la direction du demi-grand axe, en millimètres
y	distance dans la direction du demi-petit axe, en millimètres
α	angle de contact nominal, en degrés
α'	angle réel de contact nominal, en degrés
γ	paramètre auxiliaire, $\gamma = D_{we} \cos \alpha / D_{pw}$ pour roulements à billes avec $\alpha \neq 90^\circ$ $\gamma = D_w / D_{pw}$ pour roulements à billes avec $\alpha = 90^\circ$ $\gamma = D_{we} \cos \alpha / D_{pw}$ pour roulements à rouleaux avec $\alpha \neq 90^\circ$ $\gamma = D_{we} / D_{pw}$ pour roulements à rouleaux avec $\alpha = 90^\circ$
ε	paramètre caractéristique de la grandeur de la zone chargée
κ	rapport entre l'axe semi-majeur et l'axe semi-mineur = a/b

ν	coefficient de Poisson
ν_1	coefficient de Poisson du corps 1 (élément roulant)
ν_2	coefficient de Poisson du corps 2 (chemin de roulement)
$\Sigma\rho$	somme des courbures
ρ_{11}, ρ_{12}	courbure principale du corps 1 (élément roulant)
ρ_{21}, ρ_{22}	courbure principale du corps 2 (chemin de roulement)
σ	contrainte de contact calculée, en mégapascals
$\sigma_{\max}$	contrainte de contact maximale calculée, en mégapascals
ϕ	angle auxiliaire, en radians
ψ_0	moitié de l'arc chargé

4 Charge statique de base

4.1 Généralités

4.1.1 Formule de base pour le contact ponctuel

La relation entre la contrainte de contact calculée et la charge de l'élément roulant au sein d'une zone de contact elliptique est présentée dans la Référence [Error! Reference source not found. \[8\]](#) en tant que [Error! Reference source not found. Formule \(1\)](#).

$$\sigma = \frac{3Q}{2\pi ab} \left[1 - \left(\frac{x}{a} \right)^2 - \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Il est conclu que la contrainte de contact maximale calculée ($\sigma_{\max}$) se produit au point $x = 0$ et $y = 0$,

$$\sigma_{\max} = \frac{3Q}{2\pi ab} \quad \text{ou} \quad Q = \frac{2\pi ab}{3} \sigma_{\max} \quad (2)$$

Selon la théorie de Hertz,

$$\kappa = \frac{a}{b} \quad (3)$$

$$E(\kappa) = \int_0^{\pi/2} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\kappa^2} \right) \sin^2 \phi \right]^{1/2} d\phi \quad (4)$$

$$a = \left(\frac{2\kappa^2 E(\kappa)}{\pi} \right)^{1/3} \left[\frac{3Q}{2\Sigma\rho} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \right]^{1/3} \quad (3)$$

$$b = \left(\frac{2E(\kappa)}{\pi\kappa} \right)^{1/3} \left[\frac{3Q}{2\Sigma\rho} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \right]^{1/3} \quad (4)$$

où

$$\kappa = \frac{a}{b}$$

$$E(\kappa) = \int_0^{\pi/2} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\kappa^2} \right) \sin^2 \phi \right]^{1/2} d\phi$$

$$\begin{aligned}\Sigma\rho &= \rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22} \\ \rho_{11} = \rho_{12} &= \frac{2}{D_w}\end{aligned}$$

En substituant la [Formule \(3\)](#) et la [Formule \(4\)](#) par la [Formule \(2\)](#) pour le cas où $E_1 = E_2 = E$ et $\nu_1 = \nu_2 = \nu$,

$$Q = \sigma_{\max}^3 \frac{32\pi}{3E_0^2} \kappa \left(\frac{E(\kappa)}{\Sigma\rho} \right)^2 \quad (5)$$

et

$$1 - \frac{2}{\kappa^2 - 1} \left(\frac{K(\kappa)}{E(\kappa)} - 1 \right) - F(\rho) = 0 \quad (6)$$

où

$$\begin{aligned}E_0 &= \frac{E}{1 - \nu^2} \\ E &= 2,07 \times 10^5 \text{ MPa} \\ \nu &= 0,3 \\ K(\kappa) &= \int_0^{\pi/2} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\kappa^2} \right) \sin^2 \phi \right]^{-1/2} d\phi \\ F(\rho) &= \frac{\rho_{11} - \rho_{12} + \rho_{21} - \rho_{22}}{\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}}\end{aligned}$$

Par conséquent, d'après la [Formule \(5\)](#),

$$Q = 6,4762065 \times 10^{-10} \kappa \left(\frac{E(\kappa)}{\Sigma\rho} \right)^2 \sigma_{\max}^3 \quad (7)$$

4.1.2 Formule de base pour le contact linéaire

La relation entre la contrainte de contact calculée et la charge de l'élément roulant pour un contact linéaire est présentée dans la Référence [\[9\]](#) comme suit,

$$\sigma = \frac{2Q}{\pi L_{we} b} \left[1 - \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

Il est conclu que la contrainte de contact maximale calculée ($\sigma_{\max}$) de la [Formule \(8\)](#) se produit à la ligne $y = 0$,

$$\sigma_{\max} = \frac{2Q}{\pi L_{we} b} \quad \text{ou} \quad Q = \frac{\pi L_{we} b}{2} \sigma_{\max} \quad (9)$$

De plus, b est donné par la formule suivante:

$$b = \left[\frac{4Q}{\pi L_{we} \Sigma \rho} \left(\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right) \right]^{1/2} \quad (10)$$

où

$$\Sigma \rho = \rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}$$

$$\rho_{11} = \frac{2}{D_{we}}$$

$$\rho_{21} = \pm \frac{2}{D_{we}} \frac{\gamma}{1+\gamma}; \text{ le signe du haut s'applique au contact avec la bague intérieure et celui du bas au contact avec la bague extérieure;}$$

$$\rho_{12} = 0$$

$$\rho_{22} = 0$$

$$\gamma = \frac{D_{we} \cos \alpha}{D_{pw}}$$

En substituant la [Formule \(9\)](#) par la [Formule \(10\)](#) pour le cas où $E_1 = E_2 = E$ et $\nu_1 = \nu_2 = \nu$,

$$Q = 2\pi \sigma_{\max}^2 \frac{L_{we}}{E_0 \Sigma \rho}$$

où

$$E_0 = \frac{E}{1-\nu^2}$$

$$E = 2,07 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,3$$

Par conséquent,

$$Q = 2,7621732 \times 10^{-5} \frac{L_{we}}{\Sigma \rho} \sigma_{\max}^2 \quad (11)$$

4.2 Charge radiale statique de base, C_{0r} des roulements radiaux à billes

4.2.1 Roulements à billes, à gorges, à contact radial et oblique

La somme des courbures $\Sigma \rho$ et la différence de courbure relative $F(\rho)$ des roulements à billes, à gorges, à contact radial et oblique sont données par les formules suivantes:

(12)

(13)

où

$$\Sigma \rho = \frac{2}{D_w} \left(2 \pm \frac{\gamma}{1 \mp \gamma} - \frac{1}{2 f_{i(e)}} \right) \quad (12)$$

$$F(\rho) = \frac{\pm \frac{\gamma}{1 \mp \gamma} + \frac{1}{2 f_{i(e)}}}{2 \pm \frac{\gamma}{1 \mp \gamma} - \frac{1}{2 f_{i(e)}}} \quad (13)$$

où

le signe du haut s'applique au contact avec la bague intérieure et celui du bas au contact avec la bague extérieure;

$$\gamma = \frac{D_w \cos \alpha}{D_{pw}}$$

$f_{i(e)}$ signifie

$$f_i = \frac{r_i}{D_w} \text{ pour le contact avec la bague intérieure, et}$$

$$f_e = \frac{r_e}{D_w} \text{ pour le contact avec la bague extérieure.}$$

En substituant la [Error! Reference source not found. Formule \(12\)](#) par la [Error! Reference source not found. Formule \(7\)](#),

(14)

$$Q = 6,4762065 \times 10^{-10} \kappa \left(\frac{D_w}{2} \frac{E(\kappa)}{2 \pm \frac{\gamma}{1 \mp \gamma} - \frac{1}{2 f_{i(e)}}} \right)^2 \sigma_{\max}^3 \quad (14)$$

En substituant la [Error! Reference source not found. Formule \(12\)](#) et la [Error! Reference source not found. Formule \(14\)](#) par la [Error! Reference source not found. Formule \(15\)](#) (voir Référence [Error! Reference source not found. \(10\)](#)), puis en remplaçant Q par $Q_{\max}$, cela donne

$$C_{0r} = \frac{1}{S} Z Q_{\max} \cos \alpha \quad (15)$$

où S est une fonction du paramètre de zone de charge ε . Si la moitié des billes sont chargées, alors $S = 4,37$ s'applique. Une valeur couramment utilisée dans les calculs des roulements est $S = 5$, ce qui conduit à une estimation plutôt prudente de la charge maximale de la bille.

$$C_{0r} = 0,2 Z Q_{\max} \cos \alpha \quad (16)$$

Par conséquent,

$$C_{0r} = 0,2 \times 6,4762065 \times 10^{-10} \times (4000)^3 \left(\frac{\sigma_{\max}}{4000} \right)^3 \kappa \times \frac{1}{4} \left(\frac{E(\kappa)}{2 \pm \frac{\gamma}{1 \mp \gamma} - \frac{1}{2 f_{i(e)}}} \right)^2 Z D_w^2 \cos \alpha$$

lorsque le signe du haut désigne la bague intérieure et celui du bas la bague extérieure. Par conséquent, introduire le nombre de rangées, i , de billes, a pour résultat la [Formule \(17\)](#):

$$C_{0r} = f_0 i Z D_w^2 \cos \quad (17)$$

lorsque f_0 facteur qui dépend de la géométrie des composants du roulement et du niveau de contrainte appliqué:

—(18)

$$f_0 = 2,072 \left(\frac{\sigma_{\max}}{4000} \right)^3 \kappa \left(\frac{E(\kappa)}{2 + \frac{\gamma}{1+\gamma} - 2f_{i(e)}} \right)^2 \quad (18)$$

Pour une bague intérieure avec $f_i = 0,52$, la [Formule \(18\)](#) devient,

—(19)

$$f_0 = 2,072 \left(\frac{\sigma_{\max}}{4000} \right)^3 \kappa \left(\frac{E(\kappa)}{2 + \frac{\gamma}{1-\gamma} - 1,04} \right)^2 \quad (19)$$

et pour une bague extérieure avec $f_e = 0,53$,

—(20)

$$f_0 = 2,072 \left(\frac{\sigma_{\max}}{4000} \right)^3 \kappa \left(\frac{E(\kappa)}{2 - \frac{\gamma}{1+\gamma} - 1,06} \right)^2 \quad (20)$$

La plus petite des valeurs f_0 calculées à partir de la Formule (19) et de la Formule (20) est utilisée pour le calcul des charges statiques.

Les valeurs du facteur f_0 dans le Tableau 1 de l'ISO 76:2006 sont calculées en substituant les valeurs de κ , $E(\kappa)$ et $\gamma = D_w \cos \alpha / D_{pw}$ indiqués dans le Tableau A.1 et $\sigma_{\max} = 4\,200$ MPa dans la formule ci-dessus.

Ces valeurs s'appliquent aux roulements avec un rayon de courbure transversal d'un chemin de roulement inférieurs à $0,52 D_w$ pour les bagues intérieures des roulements à billes, à gorges, à contact radial et oblique, et à $0,53 D_w$ pour les bagues extérieures des roulements à billes, à gorges, à contact radial et oblique ainsi que pour les bagues intérieures des roulements à rotules sur billes.

L'aptitude d'un roulement à supporter les charges n'est pas nécessairement améliorée par l'emploi d'un rayon de gorge plus petit, mais décroît par l'emploi d'un rayon de gorge plus grand. Dans le dernier cas, une valeur de f_0 réduite en conséquence est utilisée.

4.2.2 Roulements à rotule sur billes

La somme des courbures $\Sigma\rho$ des roulements à rotules sur billes est donnée par la formule suivante pour une bague extérieure:

$$\Sigma\rho = \frac{4}{D_w} \left(\frac{1}{1+\gamma} \right) \quad (21)$$

En substituant la [Formule \(21\)](#) par la [Formule \(7\)](#),

(22)

$$Q = 6,4762065 \times 10^{-10} \kappa \left(\frac{D_w}{4}\right)^2 (1 + \gamma) E(\kappa)^2 \sigma_{\max}^3 \quad (22)$$

En général, $\kappa = a/b = 1$ dans le cas d'un contact entre le chemin de roulement de la bague extérieure et les billes des roulements à rotules sur billes. Par conséquent,

$$E(\kappa) = \int_0^{\pi/2} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\kappa^2}\right) \sin^2 \phi\right]^{1/2} d\phi = \int_0^{\pi/2} d\phi = \frac{\pi}{2}$$

Par conséquent, la [Error! Reference source not found. Formule \(22\)](#) est obtenue

(23)

$$Q = 6,4762065 \times 10^{-10} \kappa \left(\frac{D_w}{8}\right)^2 (1 + \gamma) \pi^2 \sigma_{\max}^3 \quad (23)$$

En substituant la [Error! Reference source not found. Formule \(23\)](#) par la [Error! Reference source not found. Formule \(16\)](#) et en remplaçant de plus Q par $Q_{\max}$,

$$C_{0r} = 2,072 \left(\frac{\sigma_{\max}}{4000}\right)^3 \left[\frac{\pi}{4} (1 + \gamma)\right]^2 Z D_w^2 \cos \alpha$$

L'introduction du nombre de rangées de billes i , a pour résultat la [Error! Reference source not found. Formule \(24\)](#)

$$C_{0r} = f_0 i Z D_w^2 \cos \alpha \quad (24)$$

où

(25)

$$f_0 = 2,072 \left(\frac{\sigma_{\max}}{4000}\right)^3 \left[\frac{\pi}{4} (1 + \gamma)\right]^2 \quad (25)$$

Les valeurs du facteur f_0 figurant dans le Tableau 1 de l'ISO 76:2006 sont calculées en substituant $\sigma_{\max} = 4\,600$ MPa et les valeurs de $\gamma = D_w \cos \alpha / D_{pw}$ indiquées dans le Tableau 1 de l'ISO 76:2006 dans la Formule (25).

4.3 Charge axiale statique de base C_{0a} pour les butées à billes

La somme des courbures $\Sigma \rho$ et la différence de courbure relative $F(\rho)$ des butées à billes est donnée par les formules suivantes:

$$\Sigma \rho = \frac{2}{D_w} \left(2 \pm \frac{\gamma}{1 \mp \gamma} - \frac{1}{2f}\right) \quad (26)$$

$$F(\rho) = \frac{\pm \frac{\gamma}{1 \mp \gamma} + \frac{1}{2f}}{2 \pm \frac{\gamma}{1 \mp \gamma} - \frac{1}{2f}} \quad (27)$$

où le signe du haut désigne la bague intérieure et celui du bas la bague extérieure et

$$f = r/D_w$$

En substituant la [Error! Reference source not found.](#) Formule (26) par la [Error! Reference source not found.](#) Formule (7),

$$\text{---(28)}$$

$$Q = 6,4762065 \times 10^{-10} \kappa \left(\frac{D_w}{2} \frac{E(\kappa)}{2 \pm \frac{\gamma}{1 \mp \gamma} \frac{1}{2f}} \right)^2 \sigma_{\max}^3 \text{---(28)}$$

En substituant la [Error! Reference source not found.](#) Formule (28) par la [Error! Reference source not found.](#) Formule (29) suivante,

$$C_{0a} = Z Q_{\max} \sin \alpha \text{---(29)}$$

Donc,

$$\text{---(30)}$$

$$C_{0a} = 10,362 \left(\frac{\sigma_{\max}}{4000} \right)^3 \kappa \left(\frac{E(\kappa)}{2 \pm \frac{\gamma}{1 \mp \gamma} \frac{1}{2f}} \right)^2 Z D_w^2 \sin \alpha \text{---(30)}$$

La valeur C_{0a} la plus faible calculée à partir de la [Error! Reference source not found.](#) Formule (30) est adoptée. Pour les rondelles avec $f = 0,54$, l'utilisation du signe supérieur donne la [Error! Reference source not found.](#) Formule (31).

$$C_{0a} = f_0 Z D_w^2 \sin \alpha \text{---(31)}$$

où

$$\text{---(32)}$$

$$f_0 = 10,362 \left(\frac{\sigma_{\max}}{4000} \right)^3 \kappa \left(\frac{E(\kappa)}{2 + \frac{\gamma}{1 - \gamma} \frac{1}{1,08}} \right)^2 \text{---(32)}$$

Les valeurs du facteur f_0 dans le Tableau 1 de l'ISO 76:2006 sont calculées en substituant les valeurs de κ , $E(\kappa)$ et $\gamma = D_w \cos \alpha / D_{pw}$ indiqués dans le Tableau A.2 [Tableau A.2](#), et $\sigma_{\max} = 4\,200$ MPa dans la Formule [\(32\)](#) [\(32\)](#).

4.4 Charge radiale statique de base C_{0a} pour les roulements radiaux à rouleaux

La somme des courbures $\Sigma \rho$ pour les roulements à rouleaux radiaux est donnée par la formule suivante,

$$\Sigma \rho = \frac{2}{D_{we}} \frac{1}{1 \mp \gamma} \text{---(33)}$$

En substituant la [Error! Reference source not found.](#) Formule (33) par la [Error! Reference source not found.](#) Formule (11) et en retenant le Q le plus faible,

$$\text{---(34)}$$

$$Q = 1,3810867 \times 10^{-5} (1 - \gamma) L_{we} D_{we} \sigma_{\max}^2 \text{---(34)}$$