

Première édition
2001-08-01

Version corrigée
2003-05-15

**Calcul de la capacité de charge des
engrenages coniques —**

Partie 2:

**Calcul de la résistance à la pression
superficielle (formation des piqûres)**

iTeh STANDARD PREVIEW
Calculation of load capacity of bevel gears —
(standards.iteh.ai)
Part 2: Calculation of surface durability (pitting)

ISO 10300-2:2001

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2aba3b84-6796-4a96-8c8a-4255b9e24fd0/iso-10300-2-2001>



Numéro de référence
ISO 10300-2:2001(F)

© ISO 2001

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.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 10300-2:2001](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2aba3b84-6796-4a96-8c8a-4255b9e24fd0/iso-10300-2-2001)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2aba3b84-6796-4a96-8c8a-4255b9e24fd0/iso-10300-2-2001>

© ISO 2001

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	iv
Introduction.....	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	2
4 Symboles et abréviations	2
5 Exigences pour l'évaluation de la détérioration par piqûres et coefficients de sécurité	2
6 Formules de calcul de la capacité de charge	3
7 Facteur géométrique, Z_H	5
8 Facteur géométrique moyen, Z_{M-B}	6
9 Facteur d'élasticité, Z_E	6
10 Facteur de répartition de charge, Z_{LS}	7
11 Facteur d'angle de spirale, Z_β	8
12 Facteur d'engrenage conique, Z_K	8
13 Facteur de dimension, Z_X	8
14 Facteurs d'influence du film de lubrifiant, Z_L, Z_V, Z_R	8
15 Facteur de rapport de dureté, Z_W	13
16 Facteur de durée, Z_{NT}	14
Annexe A (informative) Facteur de répartition de charge, Z_{LS}	17

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 3.

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 de la présente partie de l'ISO 10300 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.

La Norme internationale ISO 10300-2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 60, *Engrenages*, sous-comité SC 2, *Calcul de la capacité des engrenages*.

L'ISO 10300 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Calcul de la capacité de charge des engrenages coniques*:

- *Partie 1: Introduction et facteurs généraux d'influence*
- *Partie 2: Calcul de la résistance à la pression superficielle (formation des piqûres)*
- *Partie 3: Calcul de la résistance du pied de dent*

L'annexe A de la présente partie de l'ISO 10300 est donnée uniquement à titre d'information.

La présente version corrigée de l'ISO 10300-2:2001 incorpore les corrections suivantes:

les équations (16) et (18) ont été corrigées.

Introduction

La présente partie de l'ISO 10300, l'ISO 10300-1 et l'ISO 10300-3, ainsi que l'ISO 6336-5, établissent les principes généraux et les procédures pour le calcul de la capacité de charge des engrenages coniques. Ainsi, l'ISO 10300 a été conçue pour faciliter l'application des connaissances et du développement futurs, ainsi que les échanges d'informations acquises par expérience.

La présente partie de l'ISO 10300 traite de la dégradation d'une denture d'engrenage par la formation de piqûres, cette dégradation est un phénomène dû à la fatigue. Deux sortes de piqûres sont reconnues, à savoir: les piqûres initiales et les piqûres destructives.

Dans des applications utilisant de l'acier à faible dureté ou de l'acier traité dans la masse, une formation de piqûres initiales correctives (non progressives) se produit fréquemment au début de l'utilisation et n'est pas considérée comme sérieuse. La formation de piqûres initiales est caractérisée par de petites piqûres qui ne s'étendent pas sur toute la largeur de denture ou toute la hauteur du profil de la dent concernée. Le degré d'acceptabilité des piqûres initiales acceptables varie largement selon l'application. La formation de piqûres initiales se produit dans des zones surchargées localisées et tend à redistribuer la charge, en retirant progressivement des points à pression de contact élevée. Généralement, lorsque la charge a été redistribuée, la formation de piqûres cesse.

Dans des applications utilisant de l'acier à haute dureté et de l'acier cémenté trempé, les piqûres qui se forment sont généralement des piqûres destructives. Les formules données dans l'ISO 10300 concernant la résistance à la formation de piqûres sont destinées à aider à la conception d'engrenages qui seront exempts de piqûres destructives pendant leur durée de vie de conception.

Les formules de base de l'ISO 10300, élaborées en premier par Hertz pour la pression de contact entre deux surfaces courbes, ont été modifiées pour tenir compte du partage de charge entre des dents voisines, de la position du centre de pression sur la dent, de la forme de la zone de contact instantanée et de la concentration de charge résultant des écarts de fabrication. La pression de contact hertzienne sert de théorie pour l'évaluation de la résistance à la pression superficielle (formation de piqûres). Bien que toutes les hypothèses pour un engrènement ne soient pas satisfaites, l'utilisation des relations hertziennes peut être justifiée par le fait que, pour un matériau donné, les limites de la pression hertzienne sont déterminées sur la base d'essais réalisés avec des engrenages et tiennent compte des influences supplémentaires dans l'analyse des valeurs limites. Par conséquent, si les points de référence se trouvent dans la zone du domaine d'application, la pression hertzienne peut être utilisée comme un type de théorie modèle pour aider à la conversion des données d'essai d'engrenages aux engrenages de divers types et dimensions.

NOTE Contrairement aux engrenages cylindriques où le contact est principalement linéaire, les engrenages coniques sont généralement réalisés avec un bombé, à savoir les flancs de la dent sont courbes dans toutes les directions et le contact développe une surface de contact elliptique. Ceci est pris en compte lors de la détermination des facteurs $K_{H\beta}$ et $K_{H\alpha}$ (voir l'ISO 10300-1) par le fait que la surface de contact rectangulaire (dans le cas d'un contact linéaire) est remplacée par une ellipse de contact inscrite. Les conditions pour les engrenages coniques qui sont différents des engrenages cylindriques par rapport au type de contact sont donc prises en compte par les facteurs de distribution longitudinale et transversale de la charge. Par conséquent, les équations générales pour le calcul de la pression hertzienne sont similaires pour les engrenages cylindriques et coniques.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 10300-2:2001

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2aba3b84-6796-4a96-8c8a-4255b9e24fd0/iso-10300-2-2001>

Calcul de la capacité de charge des engrenages coniques —

Partie 2:

Calcul de la résistance à la pression superficielle (formation des piqûres)

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 10300 spécifie les formules de base à utiliser dans la détermination de la capacité de charge superficielle d'engrenages coniques droits, coniques hélicoïdaux, coniques «zerol» et spiroconiques, et comprend les formules pour toutes les influences sur la résistance à la pression superficielle pour laquelle des évaluations quantitatives peuvent être faites. Elle est applicable aux transmissions lubrifiées à l'huile, pourvu qu'il y ait, à tout moment, suffisamment de lubrifiant dans l'engrènement.

Les formules données dans l'ISO 10300 sont valables pour les engrenages coniques pour lesquels le rapport de conduite apparent est $\varepsilon_{\alpha} < 2$. Les résultats sont acceptables dans le domaine où les facteurs s'appliquent, comme indiqué dans l'ISO 10300-1 et dans l'ISO 6336-2. Toutefois, ces formules ne sont pas directement applicables pour l'évaluation de certains types de détérioration superficielle de dent d'engrenage, tels que la déformation plastique, les griffures, le grippage ou de tout autre type non spécifié.

AVERTISSEMENT — L'utilisateur est mis en garde sur le fait qu'il convient que, lorsque ces méthodes sont utilisées pour des angles de spirale et de pression importants, et pour de grandes largeurs de denture $b > m_{mn}$, les résultats des calculs effectués conformément à l'ISO 10300 soient confirmés par l'expérience.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 10300. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de l'ISO 10300 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

ISO 53:1998, *Engrenages cylindriques de mécanique générale et de grosse mécanique — Tracé de référence.*

ISO 1122-1:1998, *Vocabulaire des engrenages — Partie 1: Définitions géométriques.*

ISO 1328-1, *Engrenages cylindriques — Système ISO de précision — Partie 1: Définitions et valeurs admissibles des écarts pour les flancs homologues de la denture.*

ISO 6336-2:1996, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale — Partie 2: Calcul de la résistance à la pression de contact (piqûres).*

ISO 6336-5:1996, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale — Partie 5: Résistance et qualité des matériaux.*

ISO 10300-1:2001, *Calcul de la capacité de charge des engrenages coniques — Partie 1: Introduction et facteurs généraux d'influence.*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 10300, les termes et définitions donnés dans l'ISO 53 et dans l'ISO 1122-1, et le terme et la définition suivants, s'appliquent.

3.1

capacité de charge superficielle

résistance superficielle

capacité de charge déterminée au moyen de la pression de contact admissible

4 Symboles et abréviations

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 10300, les symboles et abréviations donnés dans le Tableau 1 de l'ISO 10300-1:2001, et les abréviations données dans le Tableau 1, s'appliquent.

Tableau 1 — Abréviations

Abréviations	Description
St	acier ($\sigma_B < 800 \text{ N/mm}^2$)
V	acier traité dans la masse ($\sigma_B \geq 800 \text{ N/mm}^2$)
GG	fonte grise
GGG (perl., bai., ferr.)	fonte à graphite sphéroïdale (structure perlitique, bainitique, ferritique)
GTS (perl.)	fontes malléables (structure perlitique)
Eh	acier de cémentation, cémenté
IF	acier et GGG, durcis superficiellement à la flamme ou par induction
NT (nitr.)	acier de nitruration, nitruré
NV (nitr.)	acier traité dans la masse et acier cémenté, nitrurés
NV (nitrocar.)	acier traité dans la masse et acier cémenté, nitrocarburés

5 Exigences pour l'évaluation de la détérioration par piqûres et coefficients de sécurité

5.1 Vue générale

Lorsque les limites de la résistance à la pression superficielle des flancs sont dépassées, des particules se détacheront des flancs en formant des piqûres. L'étendue sur laquelle certaines piqûres peuvent être tolérées, en fonction de leur dimension et nombre, varie dans des limites importantes, qui dépendent en grande partie du domaine d'application. Dans certains domaines, une formation considérable de piqûres est acceptable; dans d'autres domaines, toute formation de piqûres est inacceptable. Les descriptions suivantes, se rapportant aux conditions de fonctionnement moyennes, donnent les lignes directrices pour faire la distinction entre les piqûres initiales et destructives, acceptables et non acceptables.

5.2 Acceptabilité ou non-acceptabilité des piqûres

Une augmentation linéaire ou progressive de la zone totale des piqûres est généralement considérée comme inacceptable. Cependant, la zone de portée de dent effective peut être élargie par la formation de piqûres initiales, et le taux de formation de piqûres peut par la suite diminuer (piqûres dégressives) ou s'arrêter (piqûres stabilisées),

et être considéré alors comme tolérable. Néanmoins, là où il y a contestation sur l'acceptabilité des piqûres, la règle suivante est déterminante:

La formation de piqûres qui augmente linéairement ou progressivement avec le temps, quand les conditions de service sont inchangées (piqûres linéaires ou progressives), ne doit pas être acceptée. L'évaluation de la détérioration doit se faire sur la surface active entière de tous les flancs de dent. Le nombre et la dimension des piqûres nouvellement développées dans les flancs de dent non durcis doivent être pris en compte. Les piqûres se forment fréquemment sur juste un ou seulement quelques flancs de dent durcis superficiellement. Dans certaines circonstances, l'évaluation doit être centrée sur les flancs réellement piqués.

Il convient de marquer les dents suspectées d'être particulièrement à risque en vue d'un examen critique, si une évaluation quantitative est exigée.

Dans des cas spéciaux, une première évaluation grossière peut être basée sur l'examen de la totalité des débris d'usure. Dans des cas critiques, il convient d'examiner l'état des flancs au moins trois fois. Cependant, il convient de réaliser le premier examen après au moins 10^6 cycles de mise en charge. Il convient de réaliser des examens complémentaires après une période de service dépendant des résultats des examens précédents.

Si la détérioration par la formation de piqûres est telle qu'elle met des vies humaines en danger, ou qu'il existe un risque ayant des conséquences graves, alors les piqûres ne doivent pas être acceptées. En raison des effets de concentration de contrainte, une piqûre de 1 mm de diamètre près du rayon de raccordement en pied d'une dent d'engrenage, traité dans la masse ou cimenté, peut être à l'origine d'une fissure pouvant provoquer la rupture de la dent; pour cette raison, une telle piqûre doit être considérée comme inacceptable (par exemple dans les transmissions aérospatiales).

Il convient que des considérations similaires à celles spécifiées ci-dessus soient prises en compte pour les engrenages de turbine. En général, durant la longue vie (10^{10} à 10^{11} cycles) qui est demandée à ces engrenages, ni la formation de piqûres ni une usure excessivement lourde n'est acceptable. Ces détériorations peuvent provoquer des vibrations inacceptables et des charges dynamiques excessives. Il convient d'inclure dans le calcul des coefficients de sécurité larges et adéquats, c'est-à-dire que seule une faible probabilité de dégradation peut être tolérée.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2aba3b84-6796-4a96-8c8a-4206cc2010-2001>

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2aba3b84-6796-4a96-8c8a-4206cc2010-2001>

Au contraire, des piqûres sur 100 % des flancs actifs peuvent être tolérées pour certains engrenages industriels travaillant à petite vitesse et ayant de grandes dents (par exemple de module 25), fabriqués à partir d'acier à faible dureté, qui peuvent transmettre de façon sûre la puissance pendant 10 ans à 20 ans. Ici, les piqûres isolées peuvent avoir jusqu'à 20 mm de diamètre et 0,8 mm de profondeur. Les piqûres apparemment «destructives» qui apparaissent pendant les deux ou trois premières années de service diminuent normalement doucement. Les flancs de dent deviennent lisses et durcissent en fonctionnement dans les limites d'un accroissement de la valeur de la dureté Brinell superficielle de 50 % ou plus. Dans de telles conditions, des coefficients de sécurité relativement faibles (dans quelques cas inférieurs à 1) peuvent être choisis, avec une probabilité proportionnellement plus élevée de détérioration de surface de dent. Néanmoins, un coefficient de sécurité élevé contre la rupture de dent doit être choisi.

Il convient que la valeur du coefficient de sécurité minimum pour la pression de contact, S_{Hmin} , soit 1,0 (pour des recommandations supplémentaires sur le choix du coefficient de sécurité pour la pression de contact, S_H , voir l'ISO 10300-1).

Il est recommandé que le fabricant et l'acheteur se mettent d'accord sur la valeur du facteur de sécurité minimum.

6 Formules de calcul de la capacité de charge

6.1 Généralités

La capacité d'une denture à résister à la formation de piqûres doit être déterminée par la comparaison des deux valeurs suivantes:

- **pression de contact**, basée sur la géométrie de la dent, la précision de sa fabrication, la rigidité des corps de roue, des paliers et du carter, et le couple de service, exprimée par la formule de la pression de contact (voir 6.2.1);

— **contrainte admissible**, et l'effet des conditions de fonctionnement dans lesquelles les engrenages fonctionnent, exprimée par la formule de la pression de contact admissible (voir 6.2.2).

Le calcul de la résistance à la formation de piqûres est basé sur la pression de contact (hertzien), dans laquelle la charge est répartie sur les lignes de contact (voir l'annexe A de l'ISO 10300-1:2001). La position critique de l'application de la charge est:

- a) le point le plus haut de contact unique ($\varepsilon_{v\beta} = 0$);
- b) le point central de la zone de contact ($\varepsilon_{v\beta} > 1$);
- c) l'interpolation entre a) et b) ($0 < \varepsilon_{v\beta} < 1$).

6.2 Pression de contact

6.2.1 Formule de pression de contact

Les calculs sont à effectuer ensemble pour le pignon et la roue:

$$\sigma_H = \sigma_{H0} \sqrt{K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha}} \leq \sigma_{HP} \quad (1)$$

Ainsi, la valeur de base de la pression de contact est:

$$\sigma_{H0} = \sqrt{\frac{F_{mt}}{d_{v1} l_{bm}} \cdot \frac{u_v + 1}{u_v}} Z_{M-B} Z_H Z_E Z_{LS} Z_{\beta} Z_K \quad (2)$$

Pour l'angle des axes $\Sigma = \delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$, ce qui suit s'applique:

$$\sigma_{H0} = \sqrt{\frac{F_{mt}}{d_{m1} l_{bm}} \cdot \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u}} Z_{M-B} Z_H Z_E Z_{LS} Z_{\beta} Z_K \quad (3)$$

Pour K_A , K_V , $K_{H\beta}$, $K_{H\alpha}$, F_{mt} , d_v , u_v et l_{bm} , voir l'ISO 10300-1:2001, en particulier l'annexe A pour d_v et u_v et les équations (A.42) et (A.43) pour l_{bm} .

6.2.2 Pression de contact admissible

La pression de contact admissible est à calculer séparément pour le pignon et la roue:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT}}{S_{Hlim}} Z_X Z_L Z_R Z_v Z_W \quad (4)$$

Pour σ_{Hlim} , limite d'endurance pour la pression de contact, voir l'ISO 6336-5.

6.2.3 Coefficient de sécurité contre la formation de piqûres calculé pour la pression de contact

Le coefficient de sécurité calculé pour la pression de contact est à contrôler séparément pour le pignon et la roue:

$$S_H = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT}}{\sigma_{H0}} \cdot \frac{Z_X Z_L Z_R Z_v Z_W}{\sqrt{K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha}}} \quad (5)$$

NOTE Ceci est la relation pour le coefficient de sécurité calculé par rapport à la pression de contact. La sécurité relative au couple transmissible est égale au carré de S_H . Voir l'ISO 10300-1, pour la référence aux valeurs numériques du coefficient de sécurité minimal ou du risque de dégradation géométrique (probabilité de détérioration).

7 Facteur géométrique, Z_H

Le facteur géométrique, Z_H , tient compte de l'influence de la courbure du flanc dans le sens du profil au point primitif sur la pression hertzienne.

Lorsqu'on suppose un profil de dent en développante, ce qui suit s'applique aux engrenages coniques sans déport, où $x_1 + x_2 = 0$ et $\alpha_t = \alpha_{wt}$:

$$Z_H = 2 \sqrt{\frac{\cos \beta_{vb}}{\sin(2\alpha_{vt})}} \quad (6)$$

Pour certains angles de pression normale courants, Z_H peut être pris à partir de la Figure 1.

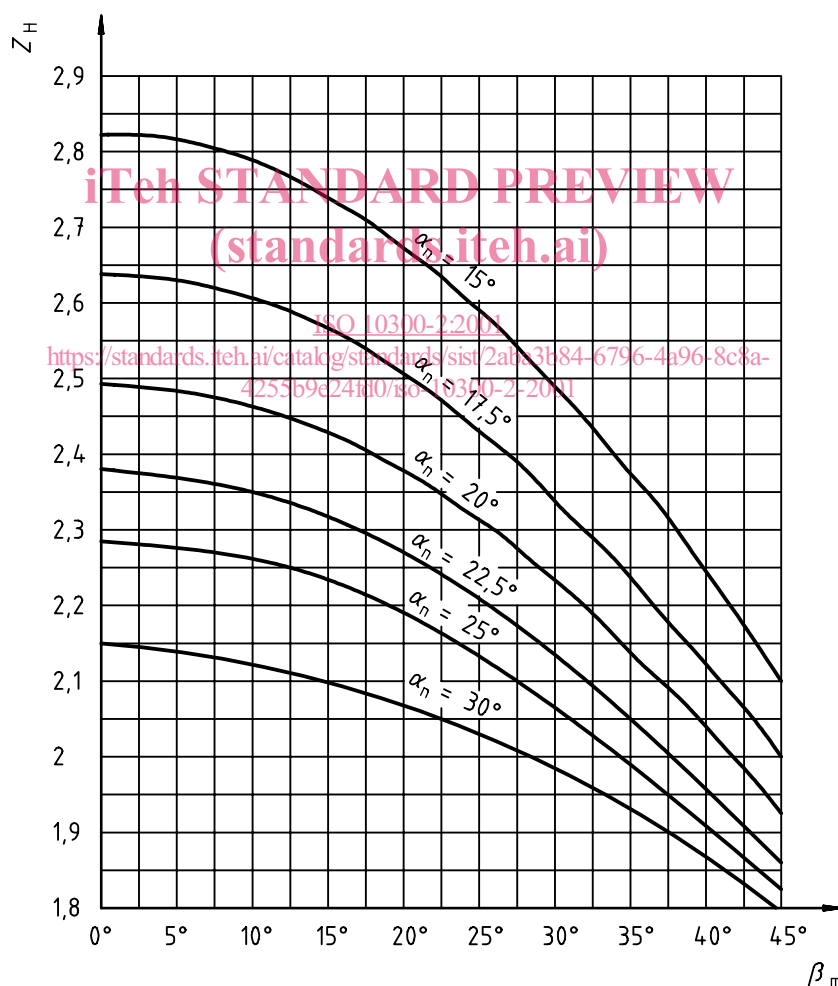


Figure 1 — Facteur géométrique, Z_H , pour les engrenages coniques sans déport