
Géométrie des engrenages coniques et hypoïdes

Bevel and hypoid gear geometry

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



Numéro de référence
ISO 23509:2016(F)

© ISO 2016

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2016, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos	v
Introduction	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes, définitions et symboles	1
3.1 Termes et définitions	5
3.2 Symboles	7
4 Considérations générales relatives à la conception	9
4.1 Généralités	9
4.2 Types d'engrenages coniques	10
4.2.1 Généralités	10
4.2.2 Engrenages coniques droits	10
4.2.3 Engrenages spiroconiques	10
4.2.4 Engrenages coniques zérol	11
4.2.5 Engrenages hypoïdes	11
4.3 Rapports	11
4.4 Sens de la spirale	12
4.5 Dimension préliminaire de l'engrenage	12
5 Géométrie de la denture et considérations relatives au taillage	12
5.1 Considérations de fabrication	12
5.2 Inclinaison de la denture	12
5.3 Configurations de la hauteur de denture	14
5.3.1 Variation de la hauteur	14
5.3.2 Hauteur uniforme	15
5.4 Modifications de l'angle de creux	17
5.5 Rayon de l'outil	17
5.6 Rayon moyen de courbure	17
5.7 Conception hypoïde	18
5.8 Type d'engrenages le plus courant	18
5.9 Géométrie hypoïde	19
5.9.1 Généralités	19
5.9.2 Point d'intersection	21
6 Paramètres du cône primitif de fonctionnement	21
6.1 Données initiales	21
6.2 Détermination des paramètres du cône primitif pour les engrenages coniques et hypoïdes	22
6.2.1 Méthode 0	22
6.2.2 Méthode 1	22
6.2.3 Méthode 2	26
6.2.4 Méthode 3	31
7 Dimensions d'engrenages	33
7.1 Données initiales des paramètres de profil	33
7.2 Détermination des données de base	36
7.3 Détermination de la hauteur de dent au point de calcul	38
7.4 Détermination des angles de cône du pied et de tête	38
7.5 Détermination de la largeur de denture du pignon, b_1	40
7.6 Détermination des angles de spirale intérieur et extérieur	42
7.6.1 Pignon	42
7.6.2 Roue	43
7.7 Détermination de la hauteur de dent	44
7.8 Détermination de l'épaisseur de dent	44
7.9 Détermination des autres dimensions	46

8	Vérification du dégagement de pied	47
8.1	Pignon.....	47
8.2	Roue.....	49
Annexe A	(informative) Structure de la série de formules ISO pour le calcul des données géométriques des engrenages coniques et hypoïdes.....	51
Annexe B	(informative) Paramètres de cône primitif de fonctionnement.....	57
Annexe C	(informative) Dimension des engrenages.....	67
Annexe D	(informative) Analyse des forces.....	74
Annexe E	(informative) Données relatives aux machines-outils.....	77
Annexe F	(informative) Exemples de calculs.....	78
Bibliographie		138

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

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'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. 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 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 le lien suivant: www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 60, *Engrenages*, sous-comité SC 2, *Calcul de la capacité des engrenages*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 23509:2006), qui a fait l'objet de la révision technique suivante:

- des corrections mineures ont été apportées à plusieurs formules;
- les figures ont été retravaillées;
- des explications ont été ajoutées en 4.4;
- la structure de la [Formule \(129\)](#) a été changée de manière à couvrir le cas où $\zeta_m = 0^\circ$;
- une formule pour le calcul de c_{be2} a été ajoutée en tant que [Formule \(F.160\)](#);
- les valeurs de α_{nC} et α_{nD} dans les [Formules \(F.318\)](#) et [\(F.319\)](#) ont été étendues à trois décimales pour éviter les erreurs d'arrondi.

Introduction

Pendant plusieurs décennies, les informations relatives à la géométrie des engrenages coniques, et plus particulièrement des engrenages hypoïdes, ont été collectées et publiées par les constructeurs de machines à tailler les engrenages. Il est clair que les formules spécifiques à leur géométrie respective ont été établies pour les méthodes de génération mécanique des machines et outils propres aux constructeurs. Dans de nombreux cas, ces formules ne pouvaient être utilisées pour tous les types d'engrenage conique. Grâce à l'introduction des machines CNC (commande numérique par ordinateur) universelles et multiaxiales, en principe capables de produire tous les types d'engrenage, cette situation a évolué. En conséquence, les constructeurs ont dû fournir des programmes CNC adaptés à la géométrie des différentes méthodes de génération d'engrenage conique présentes sur leurs machines.

Le présent Document intègre, dans un ensemble complet de formules, les engrenages coniques droits ainsi que les trois principales méthodes de conception des engrenages spiroconiques. Seuls quelques aspects particuliers nécessitent que des formules propres à chaque méthode soient appliquées. La structure des formules permet leur programmation directe, ce qui donne la possibilité à l'utilisateur de comparer les différentes conceptions.

Les formules des trois méthodes sont élaborées pour le cas général des engrenages hypoïdes et le calcul associé au cas particulier des engrenages spiroconiques s'effectue en définissant un décalage hypoïde égal à zéro. Par ailleurs, les géométries sont telles que chaque paire de roues est constituée d'une roue générée ou non générée sans décalage et d'un pignon généré et associé au décalage hypoïde total.

Le présent document peut également permettre la future mise en place d'un système de classification ISO des engrenages hypoïdes sur la base des géométries combinées des engrenages coniques.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Géométrie des engrenages coniques et hypoïdes

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie la géométrie des engrenages coniques.

Le terme «engrenages coniques» est utilisé pour désigner les engrenages coniques droits, spiroconiques, coniques zérol ainsi que les engrenages hypoïdes. Lorsque le texte ne fait référence qu'à certains de ces types d'engrenage, les formes spécifiques sont alors nommément identifiées.

Il n'est pas prévu que le processus d'usinage de la forme de denture souhaitée implique un processus spécifique. Il est, au contraire, de nature générale et applicable à toutes les méthodes de fabrication.

La géométrie des facteurs utilisés pour la capacité des engrenages coniques, tel que spécifié dans l'ISO 10300 (toutes les parties), est également incluse.

Le présent document est destiné à être utilisé par des concepteurs d'engrenages expérimentés, capables de sélectionner des valeurs raisonnables pour les facteurs en fonction de leurs connaissances et de leur expérience. Il ne s'adresse pas à un public d'ingénieurs généralistes.

L'[Annexe A](#) présente une structure de calcul applicable aux méthodes indiquées dans le présent document.

2 Références normatives

Il n'existe pas de références normatives pour le présent document.

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 1122-1 ainsi que les suivants, s'appliquent.

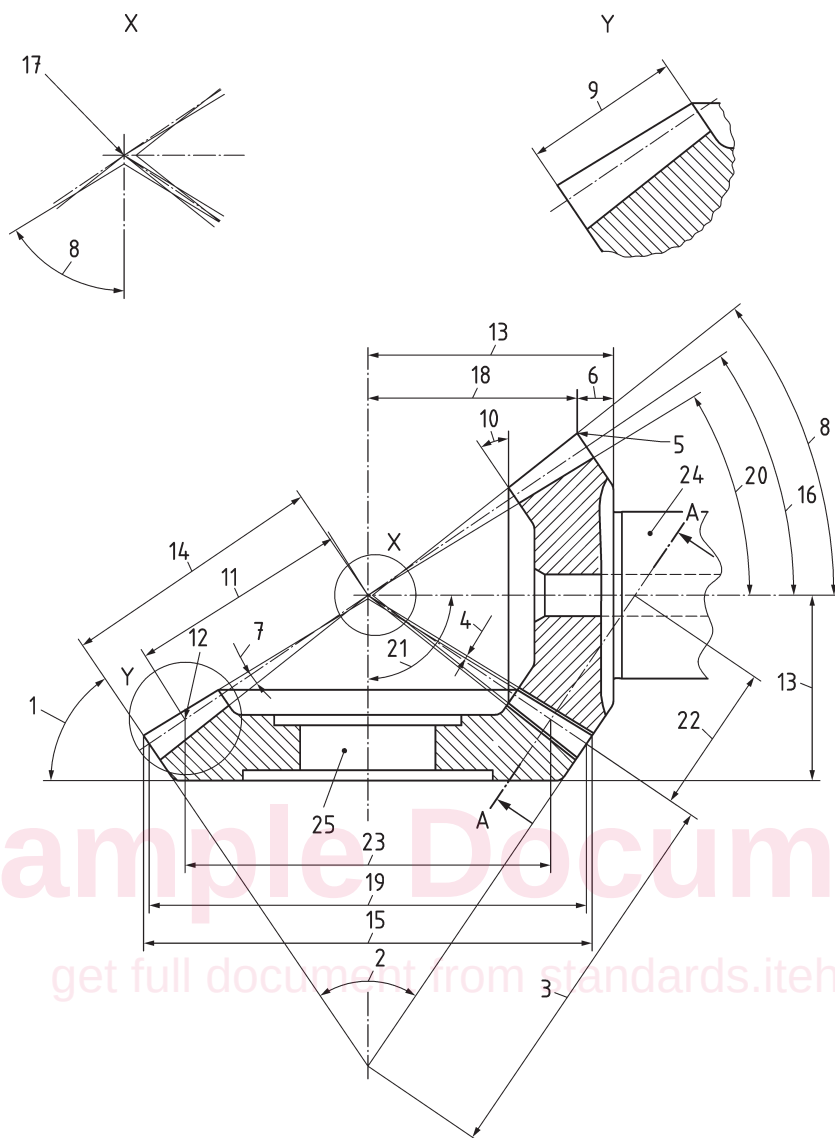
L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

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

NOTE 1 Les symboles, termes et définitions utilisés dans le présent document sont, dans la mesure du possible, cohérents avec d'autres Normes internationales. Toutefois, en raison de certaines limitations, il est reconnu que certains symboles, leurs termes et définitions, tels qu'utilisés dans le présent document, diffèrent de ceux utilisés dans certains documents relatifs aux engrenages à dentures droites et hélicoïdales.

NOTE 2 La nomenclature des engrenages coniques utilisée dans le présent document est illustrée à la [Figure 1](#), vue de la section axiale d'un engrenage conique et à la [Figure 2](#), vue de la section transversale moyenne. La nomenclature hypoïde est illustrée à la [Figure 3](#).

L'indice 1 fait référence au pignon et l'indice 2 à la roue.

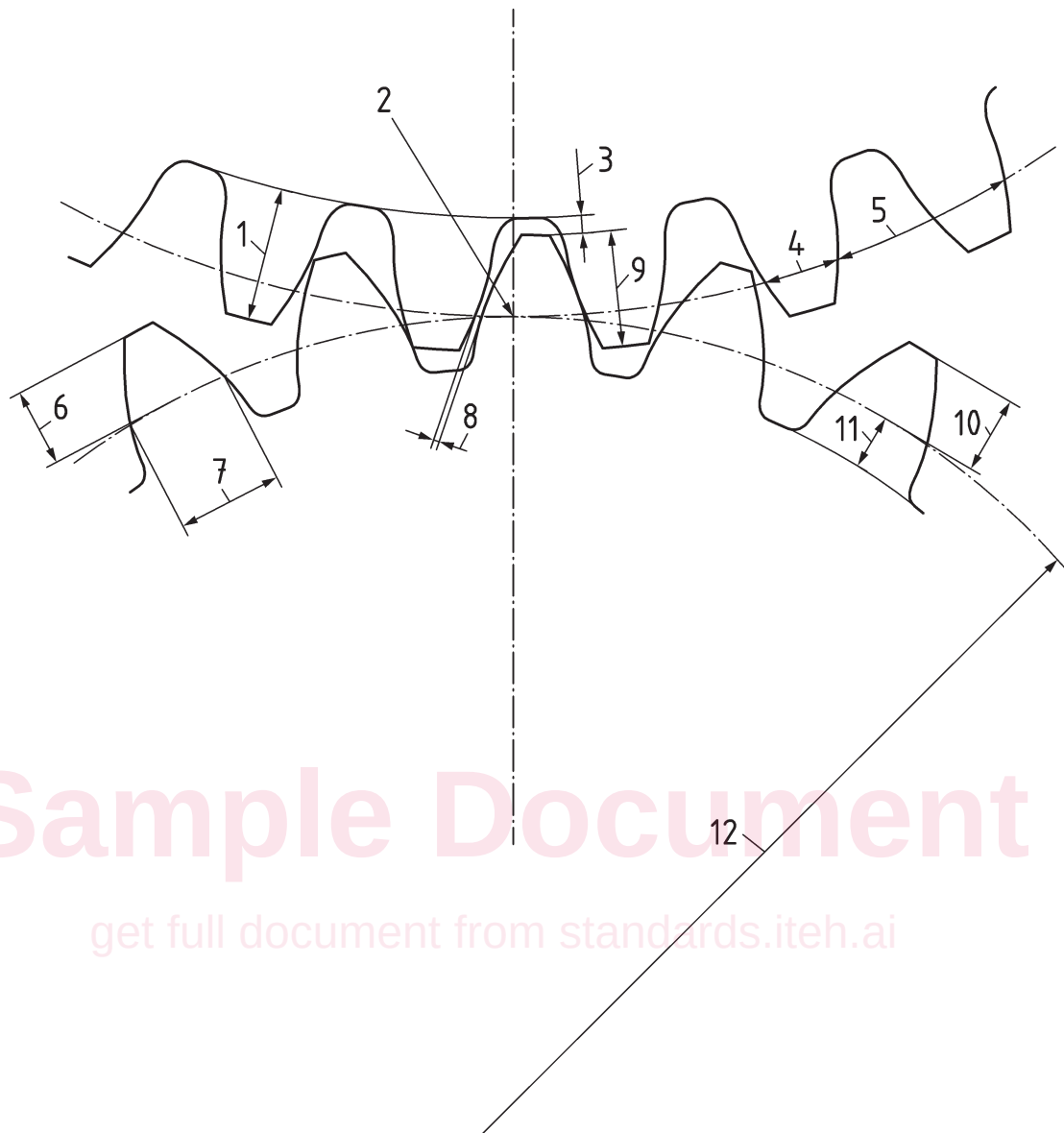


Légende

1	angle de dépouille	10	angle avant	19	diamètre de référence extérieur, d_{e1}, d_{e2}
2	angle du cône complémentaire	11	génératrice moyenne du cône de référence, R_m	20	angle de cône du pied, δ_{f1}, δ_{f2}
3	génératrice extérieure avec le cône complémentaire	12	point moyen	21	angle des axes, Σ
4	vide à fond de dent, c	13	distance de référence	22	rayon équivalent primitif de fonctionnement
5	point extérieur de diamètre de tête	14	génératrice extérieure du cône de référence, R_e	23	diamètre primitif moyen, d_{m1}, d_{m2}
6	distance de tête de référence	15	diamètre extérieur, d_{ae1}, d_{ae2}	24	pignon
7	angle de creux, θ_{f1}, θ_{f2}	16	angle primitif, δ_1, δ_2	25	roue
8	angle de cône de tête, δ_{a1}, δ_{a2}	17	sommet du cône primitif de fonctionnement		
9	largeur de denture, b	18	distance entre bombé et point d'intersection, t_{x01}, t_{x02}		

NOTE Voir [Figure 2](#) pour la section transversale moyenne, A-A.

Figure 1 — Nomenclature d'un engrenage conique — Plan axial

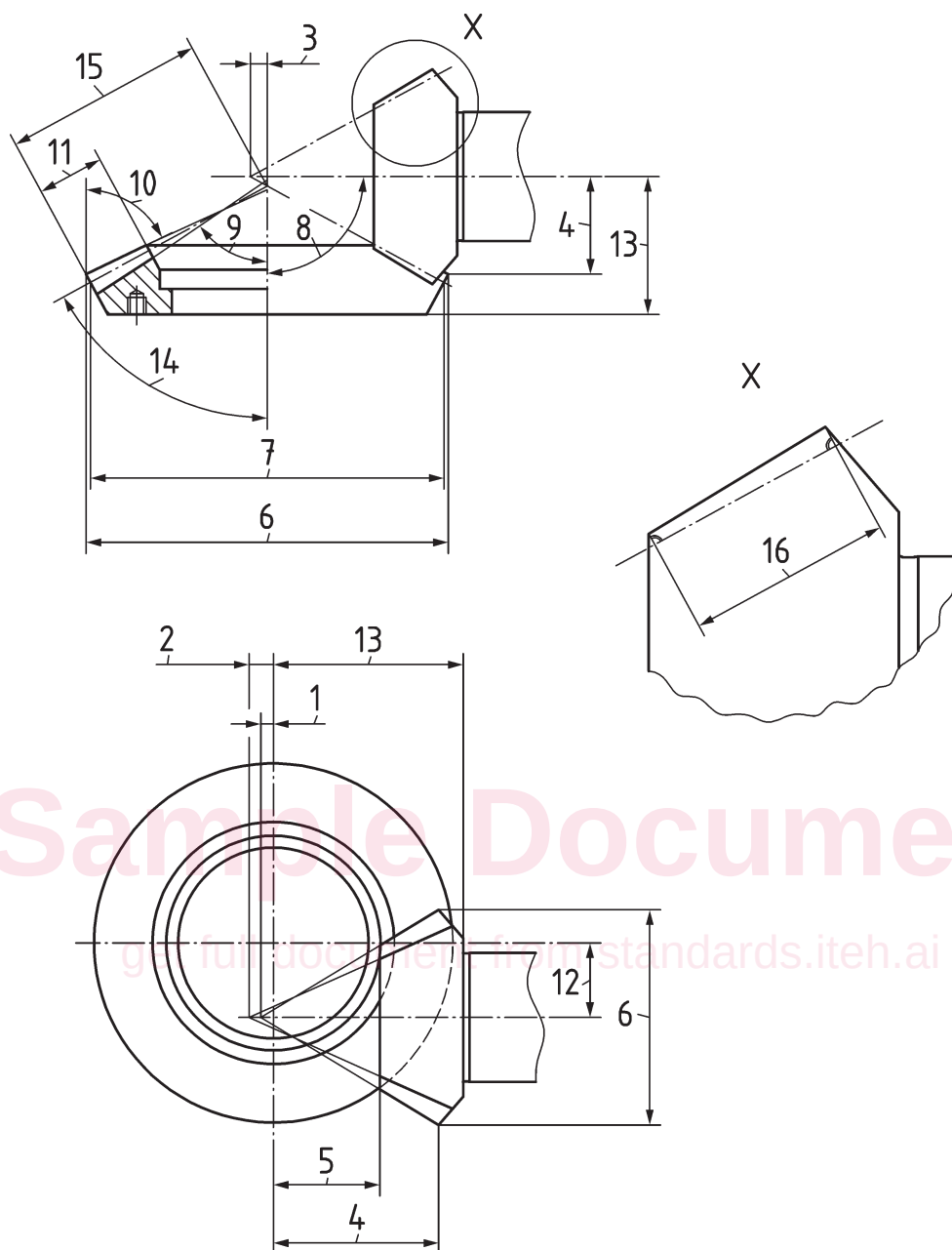


Légende

1	hauteur de dent, h_m	5	pas apparent	9	hauteur utile, h_{mw}
2	point primitif	6	saillie à la corde	10	saillie, h_{am}
3	vide à fond de dent, c	7	épaisseur à la corde	11	creux, h_{fm}
4	épaisseur apparente	8	jeu	12	rayon équivalent primitif de fonctionnement

NOTE Voir A-A à la [Figure 1](#).

Figure 2 — Nomenclature d'un engrenage conique — Section transversale moyenne



Légende

1	distance du sommet du cône de tête au-delà du point d'intersection, t_{zF1}	7	diamètre de référence extérieur, d_{e1}, d_{e2}	13	distance de référence
2	distance du sommet du cône de pied au-delà du point d'intersection, t_{zR1}	8	angle des axes, Σ	14	angle primitif, δ_2
3	distance du sommet primitif au-delà du point d'intersection, t_{z1}	9	angle de cône du pied, δ_{f1}, δ_{f2}	15	génératrice extérieure du cône de référence, R_e
4	distance entre bombé et point d'intersection, t_{x01}, t_{x02}	10	angle de cône de tête du corps de roue, δ_{a1}, δ_{a2}	16	largeur de denture du pignon, b_1
5	distance entre bombé frontal et point d'intersection, t_{xi1}	11	largeur de denture de la roue, b_2		
6	diamètre extérieur, d_{ae1}, d_{ae2}	12	décalage hypoïde, a		

NOTE Un sommet au-delà du point d'intersection prend une valeur positive lorsque ce point se situe dans le cône respectif.

Figure 3 — Nomenclature hypoïde

3.1 Termes et définitions

3.1.1

saillie moyenne à la corde

h_{amc1}, h_{amc2}

distance entre le sommet d'une dent et la corde sous-tendant l'arc d'épaisseur apparente au niveau de la génératrice moyenne du cône de référence, dans un plan normal par rapport à la face de la dent

3.1.2

saillie moyenne

h_{am1}, h_{am2}

distance par laquelle la dent de roue se projette au-dessus du cône primitif de fonctionnement au niveau de la génératrice moyenne du cône de référence

3.1.3

tolérance de jeu normal extérieur

j_{en}

grandeur de réduction des épaisseurs apparentes en vue de fournir le jeu nécessaire à l'assemblage

Note 1 à l'article: Elle est spécifiée au niveau de la génératrice extérieure du cône de référence.

3.1.4

côté entraîné

<par convention normale> flanc de pignon convexe en engrènement avec le flanc de roue concave

3.1.5

rayon de l'outil

r_{c0}

rayon nominal de la fraise ou de la meule boisseau utilisée pour tailler ou meuler les dents des engrenages spiroconiques

3.1.6

somme des angles de creux

$\Sigma\theta_f$

somme des angles de creux du pignon et de la roue

3.1.7

somme des angles de creux, largeur de rainure constante

$\Sigma\theta_{fC}$

somme des angles de creux pour une largeur de rainure constante

3.1.8

somme des angles de creux, largeur de rainure modifiée

$\Sigma\theta_{fM}$

somme des angles de creux pour une variation de la largeur de rainure modifiée

3.1.9

somme des angles de creux, hauteur standard

$\Sigma\theta_{fS}$

somme des angles de creux pour une variation de la hauteur standard

3.1.10

somme des angles de creux, hauteur uniforme

$\Sigma\theta_{fU}$

somme des angles de creux pour une hauteur uniforme

3.1.11

creux moyen

h_{fm1}, h_{fm2}

hauteur de l'entredent au-dessous du cône primitif de fonctionnement au niveau de la génératrice moyenne du cône de référence

3.1.12

hauteur de dent moyenne

h_m

hauteur de dent au niveau de la génératrice moyenne du cône de référence

3.1.13

hauteur utile moyenne

h_{mw}

hauteur de l'engrènement de deux roues au niveau de la génératrice moyenne du cône de référence

3.1.14

sens de rotation

sens déterminé par un observateur visualisant l'engrènement depuis l'arrière en regardant vers le sommet primitif

3.1.15

côté entraînement

par convention normale, flanc de pignon concave en engrènement avec le flanc de roue convexe

3.1.16

largeur de denture

b

longueur des dents mesurée le long d'un élément du cône primitif de fonctionnement

3.1.17

facteur moyen de saillie

c_{ham}

répartition de la hauteur utile moyenne entre les saillies moyennes de la roue et du pignon

Note 1 à l'article: La saillie moyenne de l'engrènement est égale à c_{ham} fois la hauteur utile moyenne.

3.1.18

rayon moyen de courbure

$\rho_{m\beta}$

rayon de courbure de la surface de la dent dans le sens longitudinal au niveau de la génératrice moyenne du cône de référence

3.1.19

nombre de groupes de lames

z_0

nombre de groupes de lames contenues dans la circonférence de l'outil de taillage

3.1.20

nombre de dents

z_1, z_2

nombre de dents contenues dans la circonférence totale du cône primitif de fonctionnement

3.1.21

nombre de dents de roue plate

z_p

nombre de dents dans la circonférence totale de la roue plate

Note 1 à l'article: Ce nombre peut ne pas être un entier.

3.1.22

épaisseur normale moyenne à la corde

s_{mnc1}, s_{mnc2}

épaisseur à la corde des dents de la roue au niveau de la génératrice moyenne du cône de référence dans un plan normal par rapport à la ligne de flanc de référence de la dent

3.1.23**épaisseur circulaire normale moyenne** s_{mn1}, s_{mn2}

longueur de l'arc sur le cône primitif de fonctionnement entre les deux côtés de la dent au niveau de la génératrice moyenne du cône de référence, dans le plan normal par rapport à la ligne de flanc de référence de la dent

3.1.24**ligne de flanc**

courbe de la dent sur la surface primitive

3.1.25**point moyen**

point où la géométrie de base est calculée

Note 1 à l'article: Le point moyen ne coïncide pas nécessairement avec le point central de la largeur de denture.

Note 2 à l'article: Dans toutes les méthodes énumérées dans le présent document, le terme « point moyen » désigne le « point de calcul ». Voir [A.3](#) pour les points de calcul.

3.2 Symboles**Tableau 1 — Symboles utilisés dans le présent document**

Symbole	Description	Unité
a	décalage hypoïde	mm
b_1, b_2	largeur de denture	mm
b_{e1}, b_{e2}	largeur de denture du point de calcul vers l'extérieur	mm
b_{i1}, b_{i2}	largeur de denture du point de calcul vers l'intérieur	mm
c	vide à fond de dent	mm
c_{be2}	facteur de largeur de denture	—
c_{ham}	facteur moyen de saillie de la roue	—
d_{ae1}, d_{ae2}	diamètre extérieur	mm
d_{e1}, d_{e2}	diamètre de référence extérieur	mm
d_{m1}, d_{m2}	diamètre primitif moyen	mm
F_{ax}	force axiale	N
F_{mt1}, F_{mt2}	force tangentielle au niveau du diamètre moyen	N
F_{rad}	force radiale	N
$f_{\alpha lim}$	facteur d'influence de l'angle de pression limite	—
h_{ae1}, h_{ae2}	saillie extérieure	mm
h_{am1}, h_{am2}	saillie moyenne	mm
h_{amc1}, h_{amc2}	saillie moyenne à la corde	mm
h_{e1}, h_{e2}	hauteur de dent extérieure	mm
h_{fe1}, h_{fe2}	creux extérieur	mm
h_{fi1}, h_{fi2}	creux intérieur	mm
h_{fm1}, h_{fm2}	creux moyen	mm
h_m	hauteur de dent moyenne	mm
h_{mw}	hauteur utile moyenne	mm
h_{t1}	hauteur de dent du pignon	mm
j_{en}	jeu normal extérieur	mm
j_{et}	jeu apparent extérieur	mm
j_{mn}	jeu normal	mm

Tableau 1 (suite)

Symbole	Description	Unité
j_{mt}	jeu apparent	mm
k_c	facteur de vide à fond de dent	—
k_d	facteur de hauteur de dent	—
k_{hap}	facteur de saillie de la roue plate de référence (par rapport à m_{mn})	—
k_{hfp}	facteur de creux de la roue plate de référence (par rapport à m_{mn})	—
k_t	facteur d'épaisseur apparente	—
m_{et}	module apparent extérieur	mm
m_{mn}	module normal moyen	mm
n_1	vitesse du pignon	min^{-1}
P	puissance	kW
R_{e1}, R_{e2}	génératrice extérieure du cône de référence	mm
R_{i1}, R_{i2}	génératrice intérieure du cône de référence	mm
R_{m1}, R_{m2}	génératrice moyenne du cône de référence	mm
r_{c0}	rayon de l'outil	mm
s_{mn1}, s_{mn2}	épaisseur circulaire normale moyenne	mm
s_{mnc1}, s_{mnc2}	épaisseur normale moyenne à la corde	mm
T_1	couple du pignon	Nm
t_{xi1}, t_{xi2}	distance entre bombé avant et point d'intersection	mm
t_{xo1}, t_{xo2}	distance entre sommet du cône primitif de fonctionnement et bombé (distance entre bombé et point d'intersection, hypoïde)	mm
t_{z1}, t_{z2}	sommet primitif au-delà du point d'intersection	mm
t_{zF1}, t_{zF2}	sommet du cône de tête au-delà du point d'intersection	mm
t_{zi1}, t_{zi2}	distance entre le point d'intersection et un point intérieur le long de l'axe	mm
t_{zm1}, t_{zm2}	distance entre le point d'intersection et un point moyen le long de l'axe	mm
t_{zR1}, t_{zR2}	sommet du cône de pied au-delà du point d'intersection	mm
u	rapport d'engrenage	—
u_a	rapport équivalent	—
W_{m2}	largeur de rainure moyenne de la roue	mm
x_{hm1}	coefficient de déport	—
x_{sm1}, x_{sm2}	coefficient de modification de l'épaisseur (jeu inclus)	—
x_{smn}	coefficient de modification de l'épaisseur (théorique)	—
z_0	nombre de groupes de lames	—
z_1, z_2	nombre de dents	—
z_p	nombre de dents de roue plate	—
α_{dC}	angle de pression nominal de conception côté entraîné	°
α_{dD}	angle de pression nominal de conception côté entraînement	°
α_{eC}	angle de pression effectif côté entraîné	°
α_{eD}	angle de pression effectif côté entraînement	°
α_{nD}	angle de pression normal généré côté entraînement	°
α_{nC}	angle de pression normal généré côté entraîné	°
α_{lim}	angle de pression limite	°
β_{e1}, β_{e2}	angle de spirale extérieur	°

Tableau 1 (suite)

Symbole	Description	Unité
β_{i1}, β_{i2}	angle de spirale intérieur	°
β_{m1}, β_{m2}	angle de spirale moyen	°
Δb_{x1}	incrément de largeur de denture au pignon	mm
Δg_{xi}	incrément le long de l'axe du pignon à partir du point de calcul vers l'intérieur	mm
Δg_{xe}	incrément le long de l'axe du pignon à partir du point de calcul vers l'extérieur	mm
$\Delta \Sigma$	écart de l'angle des axes à partir de 90°	°
δ_{a1}, δ_{a2}	angle de cône de tête	°
δ_{f1}, δ_{f2}	angle de cône du pied	°
δ_1, δ_2	angle primitif	°
ε_β	rapport de conduite	-
η	angle de décalage de la roue par rapport au plan axial	°
θ_{a1}, θ_{a2}	angle de saillie	°
θ_{f1}, θ_{f2}	angle de creux	°
ν	inclinaison de l'outil	°
ρ_b	rayon du cercle de base épicycloïde	mm
ρ_{lim}	rayon de courbure limite	mm
ρ_{P0}	entraxe roue plate – outil	mm
Σ	angle des axes	°
$\Sigma \theta_f$	somme des angles de creux	°
$\Sigma \theta_{fc}$	somme des angles de creux pour une variation de largeur de rainure constante	°
$\Sigma \theta_{fs}$	somme des angles de creux pour une inclinaison standard	°
$\Sigma \theta_{fM}$	somme des angles de creux pour une variation de la largeur de rainure modifiée	°
$\Sigma \theta_{fU}$	somme des angles de creux pour une variation uniforme de la hauteur	°
ζ_o	angle de décalage du pignon au niveau du plan de tête	°
ζ_m	angle de décalage du pignon au niveau du plan axial	°
ζ_{mp}	angle de décalage du pignon au niveau du plan primitif	°
ζ_R	angle de décalage du pignon au niveau du plan de pied	°

4 Considérations générales relatives à la conception

4.1 Généralités

Le chargement, la vitesse, les exigences en matière d'exactitude, les limitations d'espace ainsi que les conditions particulières de fonctionnement influencent la conception. Pour plus de détails, voir l'ISO 10300 (toutes les parties), Annexe B ainsi que les manuels fournis par les constructeurs d'engrenages.

Le terme « finition de précision » utilisé dans le présent document fait référence à une opération de finition par machine qui inclut la rectification, le « skiving » et la finition au tour. Toutefois, la forme