

Première édition
2014-10-01

Version corrigée
2015-01-15

**Calcul de la capacité de charge
aux micropiqûres des engrenages
cylindriques à dentures droite et
hélicoïdale —**

Partie 2:

Exemples de calcul pour micropiqûres

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

*Calculation of micropitting load capacity of cylindrical spur and
helical gears —*

Part 2: Examples of calculation for micropitting

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5c6300db-1b64-4005-9701-89ba45f1-faf6/iso-tr-15144-2-2014>



Numéro de référence
ISO/TR 15144-2:2014(F)

© ISO 2014

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 15144-2:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5c6300db-1b64-4005-9701-89ba45f1-faf6/iso-tr-15144-2-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5c6300db-1b64-4005-9701-89ba45f1-faf6/iso-tr-15144-2-2014>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2014

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
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, définitions, symboles et unités	1
3.1 Termes et définitions.....	1
3.2 Symboles et unités.....	1
4 Exemple de calcul	4
4.1 Exemple 1 — Dentures droites.....	5
4.1.1 Données d'entrée.....	6
4.1.2 Calcul selon la méthode B.....	7
4.1.3 Calcul selon la méthode A.....	13
4.1.4 Calcul de l'épaisseur admissible du film lubrifiant.....	13
4.2 Exemple 2 — Dentures droites.....	19
4.2.1 Données d'entrée.....	20
4.2.2 Calcul selon la méthode B.....	21
4.3 Exemple 3 — Dentures hélicoïdales.....	27
4.3.1 Données d'entrée.....	29
4.3.2 Calcul selon la méthode B.....	30
4.3.3 Calcul selon la méthode A.....	36
4.4 Exemple 4 — Multiplicateur.....	37
4.4.1 Données d'entrée.....	38
4.4.2 Calcul selon la méthode B.....	39
4.4.3 Calcul selon la méthode A.....	45
Bibliographie	47

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5c6300db-1b64-4005-9701-89ba45f1f4fe/iso-tr-15144-2-2014>

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'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [Avant-propos — Informations supplémentaires](http://www.iso.org/standards).

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*.

La présente version corrigée de l'ISO/TR 15144-2:2014 inclut les corrections suivantes: des erreurs dans les symboles et les équations ont été corrigées.

L'ISO/TR 15144 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Calcul de la capacité de charge aux micropiûres des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale*:

- *Partie 1: Introduction et principes fondamentaux*
- *Partie 2: Exemples de calcul pour les micropiûres*

Introduction

La présente partie de l'ISO/TR 15144 fournit des exemples pratiques pour l'application des méthodes de calcul définies dans l'ISO/TR 15144-1. Les exemples de calcul concernent l'application aux engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale et à profil en développante de cercle, à la fois dans des conditions de fonctionnement à grande vitesse et à faible vitesse, en déterminant le coefficient de sécurité contre la formation de micropiqûres pour chaque engrenage. Les méthodes de calcul utilisées sont cohérentes avec celles présentées dans l'ISO/TR 15144-1. Aucun des calculs supplémentaires présentés ici n'est exclu du domaine d'application du rapport technique.

Quatre exemples pratiques sont présentés, les jeux de données d'entrée nécessaires pour chaque engrenage sont indiqués au début de chaque calcul. Ces exemples pratiques sont fondés sur des engrenages réels pour lesquels des données de performance en laboratoire ou sur le terrain ont été établies, les exemples couvrant plusieurs types d'applications. Le cas échéant, des images et des mesures de l'usure par micropiqûres rencontrée sur les trains d'engrenages utilisés dans les conditions des exemples pratiques sont fournies. Les détails des calculs sont présentés en intégralité pour les premiers exemples de calculs, puis par la suite seul un récapitulatif des résultats est donné. Pour une meilleure applicabilité, la numérotation des formules suit celle de l'ISO/TR 15144-1. Pour plusieurs des exemples pratiques présentés, les calculs sont effectués à la fois selon la méthode A et la méthode B en fonction de l'application.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TR 15144-2:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5c6300db-1b64-4005-9701-89ba45f1-faf6/iso-tr-15144-2-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5c6300db-1b64-4005-9701-89ba45f1-faf6/iso-tr-15144-2-2014>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 15144-2:2014

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5c6300db-1b64-4005-9701-89ba45f1-fafe/iso-tr-15144-2-2014>

Calcul de la capacité de charge aux micropiqûres des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale —

Partie 2: Exemples de calcul pour micropiqûres

1 Domaine d'application

Les exemples de calcul présentés ici sont uniquement destinés à servir de guide pour l'application du rapport technique ISO/TR 15144-1. Il convient de n'utiliser, lors de l'application de cette méthode, dans des cas d'applications réelles autres, aucune des valeurs ou données présentées ici comme des valeurs admissibles pour les matériaux ou les lubrifiants ou des recommandations pour la micro-géométrie. Il convient que les paramètres nécessaires et les valeurs admissibles d'épaisseur de film, λ_{GFP} , soient déterminés pour une application donnée conformément aux méthodes définies dans l'ISO/TR 15144-1.

2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de façon normative dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 1122-1:1998, *Vocabulaire des engrenages — Partie 1: Définitions géométriques*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5c6300db-1b64-4005-9046-66c41960a174/iso-1122-1-1998>

ISO 6336-1:2006, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale — Partie 1: Principes de base, introduction et facteurs généraux d'influence*

ISO 6336-2:2006, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale — Partie 2: Calcul de la résistance à la pression superficielle (piqûre)*

ISO 21771:2007, *Engrenages — Roues et engrenages cylindriques à développante — Concepts et géométrie*

ISO/TR 15144-1:2014, *Calcul de la capacité de charge aux micropiqûres des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale — Partie 1: Introduction et principes fondamentaux*

3 Termes, définitions, symboles et unités

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 1122-1, l'ISO 6336-1 et l'ISO 6336-2 s'appliquent.

3.2 Symboles et unités

Les symboles utilisés dans le présent rapport technique sont donnés dans le [Tableau 1](#). Les unités de longueur mètre, millimètre et micromètre sont choisies conformément à l'usage en la matière. Les conversions des unités sont déjà comprises dans les formules données.

Tableau 1 — Symboles et unités

Symbole	Description	Unité
a	entraxe	mm
B_{M1}	coefficient de contact thermique du pignon	$N/(m \cdot s^{0,5} \cdot K)$
B_{M2}	coefficient de contact thermique de la roue	$N/(m \cdot s^{0,5} \cdot K)$
b	largeur de denture	mm
C_{a1}	dépouille de tête du pignon	μm
C_{a2}	dépouille de tête de la roue	μm
c_{M1}	chaleur spécifique par unité de masse du pignon	$J/(kg \cdot K)$
c_{M2}	chaleur spécifique par unité de masse de la roue	$J/(kg \cdot K)$
c'	rigidité maximale par unité de largeur de denture (rigidité simple) d'une paire de dents	$N/(mm \cdot \mu m)$
$c_{\gamma\alpha}$	valeur moyenne de la rigidité d'engrènement par unité de largeur de denture	$N/(mm \cdot \mu m)$
d_{a1}	diamètre de tête du pignon	mm
d_{a2}	diamètre de tête de la roue	mm
d_{b1}	diamètre de base du pignon	mm
d_{b2}	diamètre de base de la roue	mm
d_{w1}	diamètre primitif de fonctionnement du pignon	mm
d_{w2}	diamètre primitif de fonctionnement de la roue	mm
d_{Y1}	diamètre du cercle Y du pignon	mm
d_{Y2}	diamètre du cercle Y de la roue	mm
E_r	module d'élasticité réduit	N/mm^2
E_1	module d'élasticité du pignon	N/mm^2
E_2	module d'élasticité de la roue	N/mm^2
F_{bt}	force nominale apparente dans le plan d'action (plan tangent aux cylindres de base)	N
F_t	force tangentielle (nominale) sur le cylindre de référence par engrènement	N
G_M	paramètre de matériau	-
g_Y	paramètre sur la ligne de conduite (distance du point Y au point A)	mm
g_α	longueur de la ligne de conduite	mm
H_v	facteur de pertes de charge	-
h_Y	épaisseur locale du film lubrifiant	μm
K_A	facteur d'application	-
$K_{H\alpha}$	facteur de distribution transversale de la charge	-
$K_{H\beta}$	facteur de distribution longitudinale de la charge	-
K_v	facteur dynamique	-
n_1	vitesse de rotation du pignon	min^{-1}
P	puissance transmise	kW
p_{et}	pas de base apparent sur la ligne de conduite	mm
$p_{dyn,Y}$	pression de contact hertzienne locale comprenant les facteurs de charge K	N/mm^2
$p_{H,Y}$	pression de contact hertzienne nominale locale	N/mm^2
R_a	rugosité arithmétique moyenne effective	μm
R_{a1}	rugosité arithmétique moyenne du pignon	μm

Tableau 1 (suite)

Symbole	Description	Unité
Ra_2	rugosité arithmétique moyenne de la roue	μm
$S_{GF,Y}$	paramètre de glissement local	-
S_λ	coefficient de sécurité contre la formation de micropiqûres	-
$S_{\lambda,\text{min}}$	coefficient de sécurité minimal requis contre la formation de micropiqûres	-
T_1	couple nominal sur le pignon	Nm
U_Y	paramètre de vitesse local	-
u	rapport d'engrenage	-
$v_{g,Y}$	vitesse de glissement locale	m/s
$v_{r1,Y}$	vitesse tangentielle locale sur le pignon	m/s
$v_{r2,Y}$	vitesse tangentielle locale sur la roue	m/s
$v_{\Sigma,C}$	somme des vitesses tangentielles au point primitif	m/s
$v_{\Sigma,Y}$	somme des vitesses tangentielles au point Y	m/s
W_W	facteur de matériau	-
W_Y	paramètre de charge local	-
$X_{\text{but},Y}$	facteur de contrefort local	-
X_{Ca}	facteur de dépouille de tête	-
X_L	facteur lubrifiant	-
X_R	facteur de rugosité	-
X_S	facteur de lubrification	-
X_Y	facteur de répartition de charge local	-
Z_E	facteur d'élasticité	$(\text{N}/\text{mm}^2)^{0,5}$
z_1	nombre de dents du pignon	-
z_2	nombre de dents de la roue	-
α_t	angle de pression apparent	$^\circ$
α_{wt}	angle de pression apparent sur le cylindre primitif de fonctionnement	$^\circ$
$\alpha_{\theta B,Y}$	coefficient de piezoviscosité à la température locale de contact	m^2/N
$\alpha_{\theta M}$	coefficient de piezoviscosité à la température de masse	m^2/N
α_{38}	coefficient de piezoviscosité à 38 °C	m^2/N
β_b	angle d'hélice de base	$^\circ$
ε_{max}	rapport maximal de conduite de saillie	-
ε_α	rapport de conduite apparent	-
$\varepsilon_{\alpha n}$	rapport de conduite équivalent	-
ε_β	rapport de recouvrement	-
ε_γ	rapport de conduite total	-
ε_1	rapport de conduite de saillie du pignon	-
ε_2	rapport de conduite de saillie de la roue	-
$\eta_{\theta B,Y}$	viscosité dynamique à la température locale de contact	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
$\eta_{\theta M}$	viscosité dynamique à la température de masse	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
$\eta_{\theta \text{oil}}$	viscosité dynamique à la température d'huile en entrée/au bain	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
η_{38}	viscosité dynamique à 38 °C	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
$\theta_{B,Y}$	température locale de contact	$^\circ\text{C}$

Tableau 1 (suite)

Symbole	Description	Unité
$\theta_{fl,Y}$	température-éclair locale	°C
θ_M	température de masse	°C
θ_{oil}	température au bain d'huile	°C
$\lambda_{GF,min}$	épaisseur spécifique minimale du film lubrifiant dans la zone de contact	-
$\lambda_{GF,Y}$	épaisseur spécifique locale du film lubrifiant	-
λ_{GFP}	épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant	-
λ_{GFT}	épaisseur spécifique limite du film lubrifiant de l'engrenage d'essai	-
λ_{M1}	conductivité thermique spécifique du pignon	W/(m·K)
λ_{M2}	conductivité thermique spécifique de la roue	W/(m·K)
μ_m	coefficient de frottement moyen	-
$\nu_{\theta B,Y}$	viscosité cinématique à la température locale de contact	mm ² /s
$\nu_{\theta M}$	viscosité cinématique à la température de masse	mm ² /s
ν_1	coefficient de Poisson du pignon	-
ν_2	coefficient de Poisson de la roue	-
ν_{100}	viscosité cinématique à 100 °C	mm ² /s
ν_{40}	viscosité cinématique à 40 °C	mm ² /s
ρ_{M1}	densité du pignon	kg/m ³
ρ_{M2}	densité de la roue	kg/m ³
$\rho_{n,C}$	rayon de courbure équivalent normal au diamètre primitif	mm
$\rho_{n,Y}$	rayon de courbure équivalent normal au point Y	mm
$\rho_{t,Y}$	rayon de courbure équivalent apparent au point Y	mm
$\rho_{t1,Y}$	rayon de courbure apparent du pignon au point Y	mm
$\rho_{t2,Y}$	rayon de courbure apparent de la roue au point Y	mm
$\rho_{\theta B,Y}$	densité du lubrifiant à la température locale de contact	kg/m ³
$\rho_{\theta M}$	densité du lubrifiant à la température de masse	kg/m ³
ρ_{15}	densité du lubrifiant à 15 °C	kg/m ³
Indices des symboles		
Y	Paramètre pour tout point de contact Y dans la zone de contact pour la méthode A et sur la ligne de conduite pour la méthode B (tous les paramètres indicés Y doivent être calculés avec des valeurs locales).	

4 Exemple de calcul

Des exemples de calcul du coefficient de sécurité contre la formation de micropiqûres, S_λ , sont présentés ci-après. Chaque exemple est d'abord calculé selon la méthode B et les exemples 1, 3 et 4 sont ensuite calculés selon la méthode A. La séquence de calcul pour la méthode B suit une approche logique par rapport aux données d'entrée. En regard de la formule, les numéros des formules de l'ISO/TR 15144-1 sont indiqués.

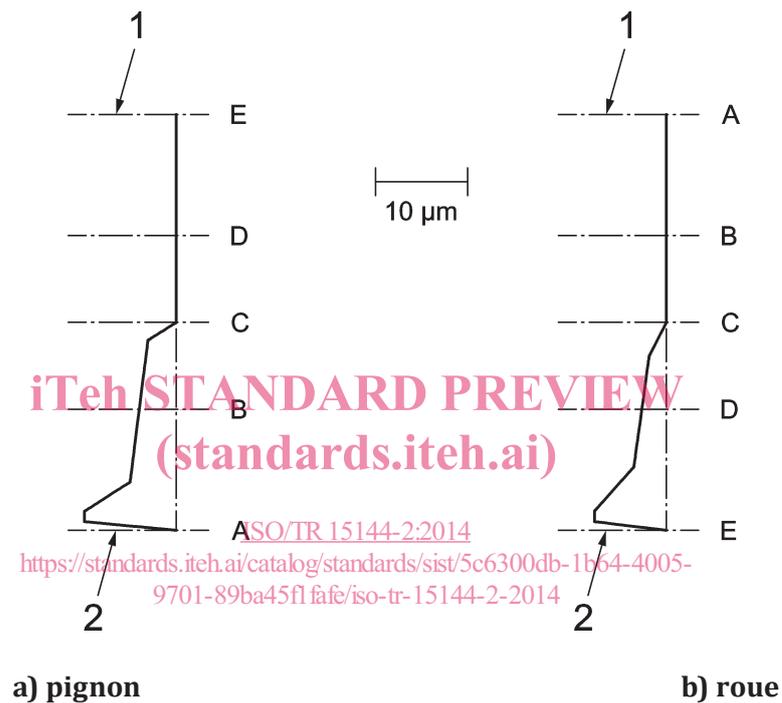
Les exemples calculent le coefficient de sécurité S_λ d'un train d'engrenages spécifique lorsqu'il y a une comparaison avec une valeur admissible λ_{GFP} . Pour les exemples 1, 2 et 4, l'épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant, λ_{GFP} , a été déterminée à partir du résultat du lubrifiant lors de l'essai de micropiqûres FZG-FVA⁽¹⁾. Pour ces calculs, les valeurs médianes obtenues avec le banc d'essai à circulation de puissance FZG normalisé et dans les conditions d'essai normalisées pour $K_{H\beta}$ et K_V ont été utilisées ($K_{H\beta} = 1,10$ et $K_V = 1,05$). Le calcul de la valeur de λ_{GFP} à partir du résultat de l'essai de micropiqûres FZG-FVA⁽¹⁾

(méthode B) est indiqué à titre d'exemple sur la base du premier exemple. Pour l'exemple 3, l'épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant, λ_{GFP} , a été déterminée à partir d'un essai sur banc.

NOTE Les calculs ont été effectués par des ordinateurs. Si les calculs sont effectués manuellement, de légers écarts entre les résultats peuvent apparaître.

4.1 Exemple 1 — Dentures droites

Le résultat de cet exemple est confirmé par des études expérimentales. Les engrenages comportaient des micropiqûres évidentes et avaient des écarts de profil d'environ $8\ \mu\text{m}$ à $10\ \mu\text{m}$. La Figure 1 représente un diagramme de l'emplacement observé et de la sévérité des micropiqûres pour le pignon et la roue de l'exemple 1.



Légende

- 1 tête
- 2 pied

Figure 1 — Représentation schématique des écarts de profil du pignon et de la roue pour l'exemple 1

4.1.1 Données d'entrée

Tableau 2 — Données d'entrée pour l'exemple 1

	Symbole	Description	Unité	Exemple 1	
				pignon	roue
				comb.	
Géométrie	z	nombre de dents	-	18	18
	-	roue menante	-	x	
	m_n	module normal	mm	10,93	
	α_n	angle de pression normal	°	20	
	β	angle d'hélice	°	0	
	b	largeur de denture	mm	21,4	
	a	entraxe	mm	200	
	x	coefficient de déport	-	0,158	0,158
	d_a	diamètre de tête du pignon	mm	221,4	221,4
	-	corrections de profil des dents	-	aucune correction	
	Q	classe de tolérance de la denture	-	5	5
	Ra	rugosité arithmétique moyenne	μm	0,90	0,90
Matériau	-	matériau	-	Eh	Eh
	E	module d'élasticité	N/mm ²	206 000	206 000
	ν	coefficient de Poisson	-	0,3	0,3
	λ_M	conductivité thermique spécifique	W/(m·K)	45	45
	c_M	chaleur spécifique par unité de masse	J/(kg·K)	440	440
	ρ_M	densité	kg/m ³	7 800	7 800
Application	W_w	facteur matériau conformément à l'ISO/TR 15144-1:2014, Tableau A.1 (pour appariement entre acier cémenté/acier cémenté)	-	1,0	
	K_A	facteur d'application	-	1,0	
	K_V	facteur dynamique	-	1,15	
	$K_{H\alpha}$	facteur de distribution transversale de la charge	-	1,0	
Charge	$K_{H\beta}$	facteur de distribution longitudinale de la charge	-	1,10	
	T_1	couple nominal sur le pignon	Nm	1 878	
	n_1	vitesse de rotation du pignon	min ⁻¹	3 000	

Tableau 2 (suite)

	Symbole	Description	Unité	Exemple 1	
				pignon	roue
				comb.	
Lubrifiant	θ_{oil}	température d'entrée de l'huile (lubrification par injection)	°C	90	
	ν_{40}	viscosité cinématique à 40 °C	mm ² /s	210	
	ν_{100}	viscosité cinématique à 100 °C	mm ² /s	18,5	
	ρ_{15}	densité du lubrifiant à 15 °C	kg/m ³	895	
	-	type d'huile	-	huile minérale	
	-	niveau de la charge de rupture à la température d'essai (90 °C) selon FVA 54/7	-	SKS 8	
	λ_{GFP}	épaisseur spécifique admissible du film lubrifiant (voir 4.1.4 pour le calcul)	-	0,211	

4.1.2 Calcul selon la méthode B

4.1.2.1 Calcul des caractéristiques géométriques de l'engrenage (selon l'ISO 21771)

Valeurs de base:

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$$

$$m_t = 10,93 \text{ mm}$$

$$d_1 = z_1 \cdot m_t$$

ISO/TR 15144-2:2014
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5c6300db-1b64-4005-9701-89ba45f1-faf6/iso-tr-15144-2-2014>

$$d_1 = 196,74 \text{ mm}$$

$$d_2 = z_2 \cdot m_t$$

$$d_2 = 196,74 \text{ mm}$$

$$u = \frac{z_2}{z_1}$$

$$u = 1$$

$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}\right)$$

$$\alpha_t = 20^\circ$$

$$d_{b1} = d_1 \cos \alpha_t$$

$$d_{b1} = 184,875 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = d_2 \cos \alpha_t$$

$$d_{b2} = 184,875 \text{ mm}$$

$$d_{w1} = \frac{2 \cdot a}{u + 1}$$

$$d_{w1} = 200 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = 2 \cdot a - d_{w1}$$

$$d_{w2} = 200 \text{ mm}$$

$$\alpha_{wt} = \arccos\left[\frac{(z_1 + z_2) \cdot m_t \cdot \cos \alpha_t}{2 \cdot a}\right]$$

$$\alpha_{wt} = 22,426^\circ$$

$$\beta_b = \arcsin(\sin \beta \cdot \cos \alpha_n)$$

$$\beta_b = 0^\circ$$

$$p_{et} = m_t \cdot \pi \cdot \cos \alpha_t$$

$$p_{et} = 32,267 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{z_1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{d_{a1}}{d_{b1}}\right)^2 - 1} - \tan \alpha_{wt} \right]$$

$$\varepsilon_1 = 0,705$$

$$\varepsilon_2 = \frac{z_2}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{d_{a2}}{d_{b2}}\right)^2 - 1} - \tan \alpha_{wt} \right]$$

$$\varepsilon_2 = 0,705$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{p_{et}} \cdot \left(\sqrt{\frac{d_{a1}^2}{4} - \frac{d_{b1}^2}{4}} + \sqrt{\frac{d_{a2}^2}{4} - \frac{d_{b2}^2}{4}} - a \cdot \sin \alpha_{wt} \right)$$

$$\varepsilon_\alpha = 1,411$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{b \cdot \sin \beta}{m_n \cdot \pi}$$

$$\varepsilon_\beta = 0$$

$$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$$

$$\varepsilon_\gamma = 1,411$$

$$g_\alpha = 0,5 \cdot \left(\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} \right) - a \cdot \sin \alpha_{wt}$$

$$g_\alpha = 45,519 \text{ mm}$$

Coordonnées des points de base (A, AB, B, C, D, DE, E) sur la ligne de conduite:

$$g_A = 0 \text{ mm}$$

$$g_A = 0 \text{ mm}$$

$$g_{AB} = \frac{g_\alpha - p_{et}}{2}$$

$$(35) \quad g_{AB} = 6,626 \text{ mm}$$

$$g_B = g_\alpha - p_{et}$$

$$(36) \quad g_B = 13,253 \text{ mm}$$

$$g_C = \frac{d_{b1}}{2} \cdot \tan \alpha_{wt} - \sqrt{\frac{d_{a1}^2}{4} - \frac{d_{b1}^2}{4}} + g_\alpha$$

$$(37) \quad g_C = 22,760 \text{ mm}$$

$$g_D = p_{et}$$

$$(38) \quad g_D = 32,267 \text{ mm}$$

$$g_{DE} = \frac{g_\alpha - p_{et}}{2} + p_{et}$$

$$(39) \quad g_{DE} = 38,893 \text{ mm}$$

$$g_E = g_\alpha$$

$$(40) \quad g_E = 45,519 \text{ mm}$$

$$d_{A1} = 2 \cdot \sqrt{\frac{d_{b1}^2}{4} + \left(\sqrt{\frac{d_{a1}^2}{4} - \frac{d_{b1}^2}{4}} - g_\alpha + g_A \right)^2}$$

$$(41) \quad d_{A1} = 187,419 \text{ mm}$$

$$d_{AB1} = 190,046 \text{ mm}$$

$$d_{B1} = 193,546 \text{ mm}$$

$$d_{C1} = 200,000 \text{ mm}$$

$$d_{D1} = 207,998 \text{ mm}$$

$$d_{DE1} = 214,394 \text{ mm}$$

$$d_{E1} = 221,400 \text{ mm}$$

$$d_{A2} = 2 \cdot \sqrt{\frac{d_{b2}^2}{4} + \left(\sqrt{\frac{d_{a2}^2}{4} - \frac{d_{b2}^2}{4}} - g_A \right)^2} \quad (42) \quad d_{A2} = 221,400 \text{ mm}$$

$$d_{AB2} = 214,394 \text{ mm} \quad d_{B2} = 207,998 \text{ mm} \quad d_{C2} = 200,000 \text{ mm}$$

$$d_{D2} = 193,546 \text{ mm} \quad d_{DE2} = 190,046 \text{ mm} \quad d_{E2} = 187,419 \text{ mm}$$

Rayon de courbure équivalent normal:

$$\rho_{n,A} = \frac{\rho_{t,A}}{\cos \beta_b} \quad (45) \quad \rho_{n,A} = 12,285 \text{ mm}$$

$$\rho_{n,AB} = 15,663 \text{ mm} \quad \rho_{n,B} = 17,890 \text{ mm} \quad \rho_{n,C} = 19,074 \text{ mm}$$

$$\rho_{n,D} = 17,890 \text{ mm} \quad \rho_{n,DE} = 15,663 \text{ mm} \quad \rho_{n,E} = 12,285 \text{ mm}$$

4.1.2.2 Calcul des données relatives aux matériaux

$$E_r = 2 \cdot \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^{-1} \quad (6) \quad E_r = 226\,374 \text{ N/mm}^2$$

$$B_{M1} = \sqrt{\lambda_{M1} \cdot \rho_{M1} \cdot c_{M1}} \quad (82) \quad B_{M1} = 12\,427,4 \text{ N/(ms}^{0,5}\text{K)}$$

$$B_{M2} = \sqrt{\lambda_{M2} \cdot \rho_{M2} \cdot c_{M2}} \quad (83) \quad B_{M2} = 12\,427,4 \text{ N/(ms}^{0,5}\text{K)}$$

4.1.2.3 Calcul des conditions de fonctionnement

Chargement:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_1}{60} \cdot \frac{T_1}{1\,000} \quad (85) \quad P = 590 \text{ kW}$$

$$F_t = 2\,000 \cdot \frac{T_1}{d_1} \quad F_t = 19\,091 \text{ N}$$

$$F_{bt} = 2\,000 \cdot \frac{T_1}{d_{b1}} \quad F_{bt} = 20\,316 \text{ N}$$

Facteur de répartition de charge local:

NOTE Aucune correction de profil des dents, engrenages à denture droite, classe de tolérance de denture ≤ 7 (voir l'ISO/TR 15144-1:2004, Figure 2).

$$X_A = \frac{Q-2}{15} + \frac{1}{3} \cdot \frac{g_A}{g_B} \quad (46) \quad X_A = 0,333$$

$$X_{AB} = 0,500 \quad X_B = 1,000 \quad X_C = 1,000$$

$$X_D = 1,000 \quad X_{DE} = 0,500 \quad X_E = 0,333$$