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

Partie 20:
**Calcul de la capacité de charge
au grippage — Méthode de la
température-éclair**

Calculation of load capacity of spur and helical gears —

*Part 20: Calculation of scuffing load capacity — Flash temperature
method*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/66d49d2c-bd79-409f-899f-365e5554e462/iso-ts-6336-20-2022>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 6336-20:2022](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/66d49d2c-bd79-409f-899f-365e5554e462/iso-ts-6336-20-2022)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/66d49d2c-bd79-409f-899f-365e5554e462/iso-ts-6336-20-2022>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2022

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en 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
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
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 | 1 |
| 3.1 Termes et définitions | 1 |
| 3.2 Symboles et unités | 2 |
| 4 Grippage et usure | 5 |
| 4.1 Apparition du grippage et de l'usure | 5 |
| 4.2 Diagramme de transition | 6 |
| 4.3 Frottement à l'amorçage du grippage | 7 |
| 5 Formules de base | 8 |
| 5.1 Température de contact | 8 |
| 5.2 Formule de la température-éclair | 9 |
| 5.3 Charge unitaire apparente | 10 |
| 5.4 Répartition des températures de masse globales | 11 |
| 5.5 Approximation grossière de la température de masse | 12 |
| 6 Coefficient de frottement | 13 |
| 6.1 Généralités | 13 |
| 6.2 Coefficient de frottement moyen, méthode A | 13 |
| 6.3 Coefficient de frottement moyen, méthode B | 13 |
| 6.4 Coefficient de frottement moyen, méthode C | 14 |
| 7 Paramètre sur la ligne d'action | 15 |
| 8 Facteur d'approche | 16 |
| 9 Facteur de répartition de charge, X_{Γ} | 16 |
| 9.1 Généralités | 16 |
| 9.2 Engrenages à denture droite à profils non corrigés | 17 |
| 9.3 Engrenages à denture droite à profils corrigés | 18 |
| 9.4 Facteur de contrefort, $X_{\text{but},\Gamma}$ | 19 |
| 9.5 Engrenages à denture hélicoïdale avec $\varepsilon_{\beta} \leq 0,8$ à profils non corrigés | 20 |
| 9.6 Engrenages à denture hélicoïdale avec $\varepsilon_{\beta} \leq 0,8$ à profils corrigés | 20 |
| 9.7 Engrenages à denture hélicoïdale avec $\varepsilon_{\beta} \geq 1,2$ à profils non corrigés | 21 |
| 9.8 Engrenages à denture hélicoïdale avec $\varepsilon_{\beta} \geq 1,2$ à profils corrigés | 22 |
| 9.9 Engrenages à denture hélicoïdale avec $0,8 < \varepsilon_{\beta} < 1,2$ | 23 |
| 10 Température de grippage et sécurité | 24 |
| 10.1 Température de grippage | 24 |
| 10.2 Facteur de structure | 24 |
| 10.3 Durée de contact | 25 |
| 10.4 Température de grippage dans les essais d'engrenage | 26 |
| 10.5 Domaine de sécurité | 26 |
| Annexe A (informative) Présentation de la formule de la température-éclair | 28 |
| Annexe B (informative) Correction de profil optimale | 33 |
| Bibliographie | 35 |

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 attirée 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 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 60, *Engrenages*, sous-comité SC 2, *Calcul de la capacité des engrenages*.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition (ISO/TS 6336-20:2017), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- le contenu relatif aux engrenages coniques a été supprimé après la publication de l'ISO/TS 10300-20:2021 qui couvre précisément les engrenages coniques;
- l'unité du facteur thermoélastique, X_M , a été corrigée en [5.2](#) et [A.4](#);
- la [Formule \(30\)](#) pour le calcul du paramètre sur la ligne de conduite au point D, Γ_D , a été révisée;
- la [Formule \(A.10\)](#) pour calculer le module d'élasticité réduit, E_r , a été corrigée;
- les [Formules \(A.11\)](#) et [\(A.12\)](#) pour calculer le coefficient de contact thermique du pignon B_{M1} et B_{M2} , ont été corrigées;
- la Bibliographie a été mise à jour.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 6336 se trouve sur le site web de l'ISO.

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.

Introduction

La série ISO 6336 se compose de Normes internationales, de Spécifications techniques (TS) et de Rapports techniques (TR) sous le titre général *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale* (voir [Tableau 1](#)).

- Les Normes internationales contiennent des méthodes de calcul basées sur des pratiques largement admises qui ont été validées.
- Les Spécifications techniques (TS) contiennent des méthodes de calcul qui font toujours l'objet de développements.
- Les Rapports techniques (TR) contiennent des données à caractère informatif, telles que des exemples de calcul.

Les procédures spécifiées dans les ISO 6336-1 à ISO 6336-19 couvrent les analyses de fatigue pour la classification des engrenages. Les procédures décrites dans les ISO 6336-20 à ISO 6336-29 sont principalement liées au comportement tribologique du contact sur la surface d'un flanc lubrifié. Les ISO 6336-30 à ISO 6336-39 incluent des exemples de calcul. La série ISO 6336 permet l'ajout de nouvelles parties en nombre suffisant pour refléter les connaissances qui pourront être acquises à l'avenir.

Toute demande de calculs selon l'ISO 6336 sans référence à des parties spécifiques nécessite d'utiliser uniquement les parties désignées comme Normes internationales (voir la liste du [Tableau 1](#)). Si des Spécifications techniques (TS) sont requises comme faisant partie du calcul de la capacité de charge, elles doivent être spécifiées. L'utilisation d'une spécification technique en tant que critère d'acceptation pour une conception spécifique est soumise à un accord commercial.

(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 6336-20:2022](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/66d49d2c-bd79-409f-899f-365e5554e462/iso-ts-6336-20-2022>

Tableau 1 — Parties de la série ISO 6336 (état à la date de publication)

| Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale | Norme internationale | Spécification technique | Rapport technique |
|--|----------------------|-------------------------|-------------------|
| Partie 1: Principes de base, introduction et facteurs généraux d'influence | X | | |
| Partie 2: Calcul de la tenue en fatigue à la pression de contact (écaillage) | X | | |
| Partie 3: Calcul de la tenue en fatigue à la flexion en pied de dent | X | | |
| Partie 4: Calcul de la capacité de charge de la rupture en flanc de dent | | X | |
| Partie 5: Résistance et qualité des matériaux | X | | |
| Partie 6: Calcul de la durée de vie en service sous charge variable | X | | |
| Partie 20: Calcul de la capacité de charge au grippage) — Méthode de la température-éclair | | X | |
| Partie 21: Calcul de la capacité de charge au grippage — Méthode de la température intégrale | | X | |
| Partie 22: Calcul de la capacité de charge aux micropiqûres (remplace l'ISO/TR 15144-1) | | X | |
| Partie 30: Exemples de calculs pour l'application des ISO 6336-1, 2, 3, 5 | | | X |
| Partie 31: Exemples de calcul de la capacité de charge aux micropiqûres (remplace l'ISO/TR 15144-2) | | | X |
| Au moment de la publication de ce document, certaines des parties énumérées ici étaient en cours de développement. Consulter le site Web de l'ISO. | | | |

Depuis 1990, la méthode de la température-éclair a été enrichie par des recherches sur les temps de contact de courte durée, sur la prise en compte des diagrammes de transition, sur de nouvelles approximations, sur le coefficient de frottement et sur un renouvellement complet des facteurs de répartition de charge.

La méthode de la température intégrale, présentée dans l'ISO/TS 6336-21, moyenne la température-éclair et ajoute des facteurs d'influence empiriques au facteur de répartition de charge. Les valeurs résultantes arrondissent la température maximale de contact, donnant alors à peu de chose près la même évaluation du risque de grippage que la méthode de la température-éclair du présent document. La méthode de la température intégrale est moins sensible dans les cas présentant des pics de température localisés, habituellement dans les ensembles d'engrenages qui ont des faibles rapports de conduite ou qui présentent des contacts au voisinage du cercle de base ou des géométries sensibles.

Le risque de détérioration par grippage varie selon les propriétés des matériaux des dentures, le lubrifiant utilisé, la rugosité de surface des flancs de denture, les vitesses de glissement et la charge. Par opposition au développement relativement long de la détérioration par fatigue, une surcharge instantanée unique peut initier la détérioration par grippage avec une telle sévérité que l'engrenage ne pourra être utilisé plus longtemps. D'après Blok^{[8][9][10][11][12][13]}, des températures de contact élevées du lubrifiant et des surfaces de denture au point de contact instantané peuvent entraîner une rupture du film de lubrifiant à l'interface du contact.

La température de contact à l'interface résulte de la somme de deux composantes.

- La température de masse de l'interface en mouvement, qui, si elle varie, le fait comparativement lentement. La température de masse, θ_M , est la température d'équilibre de la surface des dents d'engrenage, avant qu'elles n'entrent dans la zone de contact. Pour évaluer cette composante, elle peut être moyennée à partir des deux températures de masse des deux dentures frottantes. Ces deux dernières températures de masse se déduisent de la théorie des réseaux thermiques^[17].

- La fluctuation rapide de la température-éclair des surfaces en contact en mouvement. La température-éclair est l'augmentation calculée de la température à la surface d'une dent d'engrenage à un point donné de la ligne de conduite, résultant des effets combinés de la géométrie, de la charge, des frottements, de la vitesse et des propriétés du matériau de la dent d'engrenage durant le fonctionnement. Le coefficient de frottement influence considérablement le résultat et il est recommandé de prêter une attention particulière à son calcul. La pratique habituelle est d'utiliser un coefficient de frottement valide pour des conditions de fonctionnement normales, bien qu'il soit établi qu'au commencement du grippage le coefficient de frottement atteint des valeurs plus élevées.

Les relations complexes entre les phénomènes mécaniques, hydrodynamiques, thermodynamiques et chimiques furent l'objet d'importantes recherches et expérimentations, qui peuvent induire différents facteurs d'influence empiriques. Une suppléance directe des facteurs d'influence empiriques peut renforcer les paramètres fonctionnels associés dans la formule de base et les fixer à des valeurs moyennes. Cependant, un traitement correct des paramètres fonctionnels (c'est-à-dire coefficient de frottement, facteur de répartition de charge, coefficient thermique de contact) garde la formule principale intacte, ce qui est confirmé avec l'expérimentation et la pratique.

À côté de la température maximale de contact, l'évolution de la température de contact le long de la ligne d'action fournit l'information nécessaire pour la conception de l'engrenage.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TS 6336-20:2022](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/66d49d2c-bd79-409f-899f-365e5554e462/iso-ts-6336-20-2022)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/66d49d2c-bd79-409f-899f-365e5554e462/iso-ts-6336-20-2022>

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

Partie 20:

Calcul de la capacité de charge au grippage — Méthode de la température-éclair

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les méthodes et les formules pour l'évaluation des risques de grippage, en se basant sur le concept de la température de contact de Blok.

Le concept fondamental selon Blok est applicable à tous les éléments de machine ayant des zones de contact mobiles. Les formules de température-éclair sont valables pour une zone de contact hertzien en forme de bande ou quasiment en forme de bande et pour des conditions de fonctionnement caractérisées par des nombres de Péclet suffisamment élevés.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

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

ISO 6336-1, *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 10825, *Engrenages — Usure et défauts des dentures — Terminologie*

3 Termes et définitions

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 1122-1 et l'ISO 10825 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:

- 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 et unités

Les symboles utilisés dans les formules sont répertoriés dans le [Tableau 2](#). Les unités de longueur choisies sont le mètre, le millimètre et le micromètre conformément à la pratique courante. Pour obtenir un système cohérent, les unités pour B_M , c_γ et X_M sont adaptées à l'application combinée de mètre et millimètre ou de millimètre et micromètre.

NOTE Le terme *roue* est utilisé pour désigner la roue conjuguée d'un pignon.

Tableau 2 — Symboles et unités

| Symbole | Description | Unité |
|---------------|--|--|
| A | classe de tolérance conformément à l'ISO 1328-1 | — |
| a | entraxe | mm |
| B_M | coefficient de contact thermique | $N/(mm^{1/2} \cdot m^{1/2} \cdot s^{1/2} \cdot K)$ |
| B_{M1} | coefficient de contact thermique du pignon | $N/(mm^{1/2} \cdot m^{1/2} \cdot s^{1/2} \cdot K)$ |
| B_{M2} | coefficient de contact thermique de la roue | $N/(mm^{1/2} \cdot m^{1/2} \cdot s^{1/2} \cdot K)$ |
| b | largeur de denture, plus petite valeur du pignon ou de la roue | mm |
| b_H | demi-largeur de la bande de contact hertzien | mm |
| C_{a1} | dépouille de tête du pignon | μm |
| C_{a2} | dépouille de tête de la roue | μm |
| C_{eff} | dépouille de tête optimale | μm |
| C_{eq1} | dépouille de tête équivalente du pignon | μm |
| C_{eq2} | dépouille de tête équivalente de la roue | μm |
| C_{f1} | dépouille de pied du pignon | μm |
| C_{f2} | dépouille de pied 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_γ | raideur d'engrènement | $N/(mm \cdot \mu m)$ |
| d_{a1} | diamètre de tête du pignon | mm |
| d_{a2} | diamètre de tête de la roue | mm |
| d_1 | diamètre de référence du pignon | mm |
| d_2 | diamètre de référence de la roue | mm |
| E_1 | module d'élasticité du pignon | N/mm^2 |
| E_2 | module d'élasticité de la roue | N/mm^2 |
| E_r | module d'élasticité réduit | N/mm^2 |
| F_{ex} | force axiale externe | N |
| F_n | charge réelle de l'essai d'usure | N |
| F_t | force tangentielle nominale | N |
| H_1 | dimension auxiliaire | mm |
| H_2 | dimension auxiliaire | mm |
| K_A | facteur d'application | — |
| $K_{B\alpha}$ | facteur de distribution transversale de la charge (grippage) | — |
| $K_{B\beta}$ | facteur de distribution longitudinale de la charge (grippage) | — |
| $K_{H\alpha}$ | facteur de distribution transversale de la charge (pression de contact) | — |
| $K_{H\beta}$ | facteur de distribution longitudinale de la charge (pression de contact) | — |

Tableau 2 (suite)

| Symbole | Description | Unité |
|-------------------------|--|--|
| K_{mp} | facteur d'engrènement multiple | — |
| K_V | facteur dynamique | — |
| m_n | module normal | mm |
| n_p | nombre de contacts d'engrènement | — |
| n_1 | vitesse de rotation par minute du pignon | min^{-1} |
| $Pé_1$ | nombre de Péclet du matériau du pignon | — |
| $Pé_2$ | nombre de Péclet du matériau de la roue | — |
| R_{a1} | rugosité de surface du flanc de dent du pignon | μm |
| R_{a2} | rugosité de surface du flanc de dent de la roue | μm |
| S_B | coefficient de sécurité relatif au grippage | — |
| S_{FZG} | niveau de charge (en essai FZG) | — |
| t_c | durée de contact au coude de la courbe | μs |
| t_{\max} | durée de contact la plus longue | μs |
| t_1 | durée de contact sur le pignon | μs |
| t_2 | durée de contact sur la roue | μs |
| u | rapport d'engrenage | — |
| u_V | rapport équivalent | — |
| v_g | vitesse de glissement | m/s |
| v_{g1} | vitesse tangentielle du pignon | m/s |
| v_{g2} | vitesse tangentielle de la roue | m/s |
| v_{gZC} | somme des vitesses tangentielles au point primitif | m/s |
| v_t | vitesse tangentielle au primitif de fonctionnement | m/s |
| w_{Bn} | charge unitaire normale | N/mm |
| w_{Bt} | charge unitaire apparente | N/mm |
| $X_{\text{but},\Gamma}$ | facteur de contrefort | — |
| $X_{\text{but},A}$ | valeur de contrefort | — |
| $X_{\text{but},E}$ | valeur de contrefort | — |
| X_G | facteur géométrique | — |
| X_j | facteur d'approche | — |
| X_L | facteur lubrifiant | — |
| X_M | facteur thermoélastique | $\text{K}\cdot\text{N}^{-3/4}\cdot\text{s}^{-1/2}\cdot\text{m}^{-1/2}\cdot\text{mm}$ |
| X_{mp} | facteur de pignons conjugués multiples | — |
| X_R | facteur de rugosité | — |
| X_S | facteur système de lubrification | — |
| X_W | facteur de structure | — |
| $X_{\alpha\beta}$ | facteur d'angle | — |
| X_Γ | facteur de répartition de charge | — |
| X_θ | gradient de la température de grippage | — |
| z_1 | nombre de dents du pignon | — |
| z_2 | nombre de dents de la roue | — |
| a_{a1} | angle de pression de tête apparent du pignon | $^\circ$ |
| α_{a2} | angle de pression de tête apparent de la roue | $^\circ$ |
| α_t | angle de pression apparent | $^\circ$ |
| α_{wn} | angle de pression de fonctionnement normal | $^\circ$ |

Tableau 2 (suite)

| Symbole | Description | Unité |
|----------------------|---|---------|
| α_{wt} | angle de pression de fonctionnement apparent | ° |
| α_{y1} | angle d'incidence du pignon en un point quelconque | ° |
| β | angle d'hélice | ° |
| β_b | angle d'hélice de base | ° |
| β_w | angle d'hélice de fonctionnement | ° |
| Γ_A | paramètre sur la ligne d'action au point A | — |
| Γ_{AA} | paramètre sur la ligne d'action au point AA | — |
| Γ_{AB} | paramètre sur la ligne d'action au point AB | — |
| Γ_{AU} | paramètre sur la ligne d'action au point AU | — |
| Γ_B | paramètre sur la ligne d'action au point B | — |
| Γ_{BB} | paramètre sur la ligne d'action au point BB | — |
| Γ_D | paramètre sur la ligne d'action au point D | — |
| Γ_{DD} | paramètre sur la ligne d'action au point DD | — |
| Γ_{DE} | paramètre sur la ligne d'action au point DE | — |
| Γ_E | paramètre sur la ligne d'action au point E | — |
| Γ_{EE} | paramètre sur la ligne d'action au point EE | — |
| Γ_{EU} | paramètre sur la ligne d'action au point EU | — |
| Γ_M | paramètre sur la ligne d'action au point M | — |
| Γ_y | paramètre sur la ligne d'action en un point arbitraire | — |
| γ_1 | angle de direction de la vitesse tangentielle du pignon | — |
| γ_2 | angle de direction de la vitesse tangentielle de la roue | — |
| ε_α | rapport de conduite apparent | — |
| ε_β | rapport de recouvrement | — |
| ε_γ | rapport de conduite total | — |
| η_{huile} | viscosité absolue (dynamique) à la température de l'huile | mPa·s |
| θ_B | température de contact | °C |
| θ_{Bmax} | température de contact maximale | °C |
| θ_{fl} | température-éclair | K |
| θ_{flm} | température-éclair moyenne | K |
| θ_{flmax} | température-éclair maximale | K |
| θ_{flmaxT} | température-éclair maximale en cours d'essai | K |
| θ_M | température de masse | °C |
| θ_{Mi} | température de masse interfaciale | °C |
| θ_{MT} | température de masse en cours d'essai | °C |
| θ_{M1} | température de masse des dents du pignon | °C |
| θ_{M2} | température de masse des dents de la roue | °C |
| θ_{huile} | température d'huile avant d'atteindre l'engrènement | °C |
| θ_S | température de grippage | °C |
| θ_{Sc} | température de grippage pour une durée de contact longue | °C |
| λ_{M1} | conductivité thermique du pignon | N/(s·K) |
| λ_{M2} | conductivité thermique de la roue | N/(s·K) |
| μ | coefficient de frottement dans l'essai pion-disque | — |
| μ_m | coefficient de frottement moyen | — |
| ν_1 | coefficient de Poisson du matériau du pignon | — |

Tableau 2 (suite)

| Symbole | Description | Unité |
|---------------|--|-------------------|
| ν_2 | coefficient de Poisson du matériau de la roue | — |
| ρ_{M1} | densité du matériau du pignon | kg/m ³ |
| ρ_{M2} | densité du matériau de la roue | kg/m ³ |
| ρ_{relC} | rayon de courbure relatif apparent au point primitif | mm |
| ρ_{y1} | rayon de courbure en un point quelconque du pignon | mm |
| ρ_{y2} | rayon de courbure en un point quelconque de la roue | mm |
| ρ_{rely} | rayon de courbure relatif en un point y quelconque | mm |
| Φ | torsion d'arbre torsible | ° |

4 Grippage et usure

4.1 Apparition du grippage et de l'usure

Lorsque les dents d'engrenage sont entièrement séparées par un film fluide complet de lubrifiant, il n'y a pas de contact entre les aspérités de surface des dents et, habituellement, il n'y a pas de grippage ou d'usure. Dans ce cas, le coefficient de frottement est plutôt faible. Dans des cas exceptionnels, une détérioration semblable au grippage peut être provoquée par une instabilité thermique soudaine^[15] dans un film d'huile épais, mais ce phénomène n'est pas traité ici.

Pour des films élastohydrodynamiques plus minces, il y a contact fortuit des aspérités. Au fur et à mesure que l'épaisseur moyenne du film décroît, le nombre de contacts augmente. L'usure par abrasion, l'usure par micro-soudage ou le grippage deviennent alors possibles. L'usure par abrasion peut apparaître du fait de l'action de roulement des dents d'engrenage ou du fait de la présence de particules abrasives dans le lubrifiant. L'usure par adhésion est due à une soudure par fusion locale suivie d'un arrachement et d'un transfert des particules de l'une ou des deux dents en prise. L'usure abrasive ou par adhésion peut ne pas être nuisible si elle est modérée et si elle s'atténue avec le temps, comme lors d'un processus normal de rodage.

Contrairement à l'usure modérée, le grippage est une forme grave d'usure par adhésion qui peut entraîner une détérioration progressive des dents des roues. Contrairement à la formation de piqûres et à la rupture de fatigue qui présentent une période d'incubation, une surcharge provisoire de courte durée peut entraîner une défaillance par grippage.

Une aération excessive ou la présence de contaminants dans le lubrifiant, tels que des particules métalliques en suspension ou de l'eau, augmente également le risque de détérioration par grippage. Après grippage, les engrenages à grande vitesse sont soumis à des charges dynamiques élevées produites par des vibrations qui conduisent généralement à une détérioration ultérieure par grippage, écaillage ou rupture de dent.

Dans la plupart des cas, la résistance des engrenages au grippage peut être améliorée en utilisant un lubrifiant enrichi d'additifs anti-grippage.

NOTE L'appellation moins correcte Extrême Pression, EP, est remplacée par anti-grippage.

Il est important de noter que l'utilisation de ces additifs anti-grippage peut également entraîner certains inconvénients, par exemple, une corrosion du cuivre, une fragilisation des élastomères, une difficulté d'approvisionnement.

Les méthodes décrites ne s'appliquent pas au «grippage à froid», qui est en général associé à des engrenages travaillant à faible vitesse, inférieure à environ 4 m/s, traités dans la masse, lourdement chargés, de précision plutôt médiocre.