

~~ISO/TC 60/SC 1~~

~~Date: 2022-09-16~~

~~ISO/TR 10825-2:2022(F)~~

~~ISO/TC 60/SC 1/GT~~

~~ISO/TR 10825-2:2022(F)~~

~~Date: 2022-10~~

~~ISO/TC 60/SC 1/GT~~

~~Secrétariat: BSI~~

Engrenages — Usure et défauts des dentures — Partie 2: Informations supplémentaires

Gears — Wear and damage to gear teeth — Part 2: Supplementary information

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 10825-2:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e3040025-1489-4510-a367-0f9eefaa7d27/iso-tr-10825-2-2022>

Type du document:

Sous-type du document:

Stade du document:

Langue du document:



Engrenages — Usure et défauts des dentures — Partie 2: Informations supplémentaires

Gears — Wear and damage to gear teeth — Part 2: Supplementary information

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 10825-2:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e3040025-1489-4510-a367-0f9eefaa7d27/iso-tr-10825-2-2022>

Type du document:
Sous-type du document:
Stade du document:
Langue du document:

DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

~~Droits de reproduction~~Tous droits réservés. Sauf ~~indication contraire~~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, ~~l'affichage~~ou la diffusion sur l'internet~~l'internet~~ ou ~~sur un Intranet~~intranet, sans autorisation écrite préalable. ~~Les demandes d'autorisation peuvent~~Une autorisation peut être adressée~~demandée~~ à ~~l'ISO~~ISO à ~~l'adresse~~l'adresse ci-après ou au comité membre de ~~l'ISO~~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

ITeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

www.iso.org

[ISO/TR 10825-2:2022](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e3040025-1489-4510-a367-0f9eefaa7d27/iso-tr-10825-2-2022)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e3040025-1489-4510-a367-0f9eefaa7d27/iso-tr-10825-2-2022>

Sommaire

Page

Avant-propos.....	vi
Introduction.....	vii
1	Domaine d'application.....1
2	Références normatives.....1
3	Termes et définitions1
4	Aperçu général et avertissements.....1
4.1	Aperçu général1
4.2	Avertissements.....2
5	Endommagements tribologiques (non dus à la fatigue)3
5.1	Généralités.....3
5.2	Usure type poli miroir.....3
5.2.1	Généralités3
5.2.2	Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque d'usure type poli miroir3
5.3	Rayures.....4
5.4	Usure abrasive.....4
5.4.1	Généralités4
5.4.2	Sources de particules provoquant l'usure abrasive.....4
5.4.3	Méthodes pour réduire l'usure abrasive4
5.5	Grippage.....6
5.5.1	Généralités6
5.5.2	Méthodes pour réduire le risque de grippage8
5.5.3	Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque de grippage.....9
5.6	Usure adhésive (adhésion)9
5.6.1	Généralités9
5.6.2	Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque d'usure adhésive 10
5.7	Corrosion de contact..... 11
5.7.1	Généralités 11
5.7.2	Faux effet Brinell..... 11
5.7.3	Corrosion de contact..... 12
5.7.4	Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque de corrosion de contact 12
5.8	Usure par interférence 13
6	Endommagement par fatigue..... 13
6.1	Fissures de fatigue..... 13
6.2	Fatigue de contact..... 14
6.2.1	Généralités 14
6.2.2	Microécaillage..... 14
6.2.3	Macroécaillage..... 19
6.2.4	Dislocation (fatigue en sous-couche) 24
6.2.5	Formation de la couche blanche 24
6.2.6	Rupture en flanc de dent (TFF) (fatigue de flexion initiée en sous-couche) 25
6.2.7	Rupture par fatigue en intérieur de dent (TIFF) 26
6.3	Fatigue de flexion 27
6.3.1	Fissuration par fatigue de flexion en pied de dent..... 27

6.3.2	Fissures dans la jante, le voile et le moyeu	34
7	Rupture non due à la fatigue	35
7.1	Généralités.....	35
7.1.1	Rupture fragile	35
7.1.2	Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque de rupture fragile.....	37
7.1.3	Rupture ductile	38
7.1.4	Rupture en mode mixte	38
7.2	Rupture en pied de dent	39
7.3	Rupture en extrémité de largeur de denture.....	39
7.4	Rupture par cisaillement de la dent.....	39
8	Déformation plastique	39
8.1	Généralités.....	39
8.2	Empreinte	40
8.3	Brinelling	40
8.4	Fluage à froid	40
8.5	Fluage à chaud.....	40
8.6	Déformation plastique du profil de raccordement en pied de dent.....	40
8.7	Rupture après déformation plastique.....	41
8.8	Déformation plastique par roulement	41
8.9	Déformation plastique par martèlement des dents	41
8.10	Traces de broutage	41
8.11	Sillons	41
8.12	Bavures	41
8.13	Déformation par interférence	41
8.13.1	Interférence entre sommet et pied de dents.....	41
8.13.2	Interférence entre sommet et creux	42
8.13.3	Engrenement sans jeu	42
9	Problèmes de fabrication	42
9.1	Fissures de forgeage.....	42
9.2	Tapures de trempe	42
9.2.1	Généralités.....	42
9.2.2	Contraintes thermiques.....	42
9.2.3	Concentration de contraintes due au traitement thermique.....	43
9.2.4	Sévérité de trempe.....	43
9.2.5	Transformation de phase.....	43
9.2.6	Défauts matières	43
9.2.7	Pratique de traitement thermique	44
9.2.8	Pratique de revenu	44
9.2.9	Détection des tapures de trempe	44
9.2.10	Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque de tapures de trempe.....	44
9.3	Criques de rectification.....	45
9.3.1	Généralités.....	45
9.3.2	Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque de criques de rectification	45
9.4	Défaillances des roues dentées par présence d'hydrogène et contrainte résiduelle interne.....	45
9.4.1	Généralité.....	45
9.4.2	Flocons d'hydrogène.....	46
9.4.3	L'oeil de poison	47

9.4.4	Fissure de ségrégation	48
9.4.5	Rupture différée.....	48
9.5	Brûlure de rectification (revenu dû à une rectification).....	49
9.6	Entaille de rectification	49
9.7	Pelage.....	49
9.8	Séparation de la couche durcie par rapport au cœur.....	49
9.8.1	Généralités	49
9.8.2	Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque de séparation couche durcie/cœur	50
10	Autres endommagements de surface	51
10.1	Corrosion	51
10.1.1	Généralités	51
10.1.2	Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque de corrosion.....	51
10.2	Cavitation.....	52
10.3	Érosion.....	52
10.4	Étincelage	52
10.4.1	Généralités	52
10.4.2	Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque d'endommagement par décharge électrique	53
10.5	surchauffe.....	53
	Bibliographie.....	54

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 10825-2:2022](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e3040025-1489-4510-a367-0f9eefaa7d27/iso-tr-10825-2-2022)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e3040025-1489-4510-a367-0f9eefaa7d27/iso-tr-10825-2-2022>

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 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 [le lien suivant: www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 60, *Engrenages*, sous-comité SC 1, *Nomenclature et engrenages à vis*.

[Cette première édition de l'ISO/TR 10825-2, avec l'ISO 10825-1, annule et remplace l'ISO 10825:1995, qui a fait l'objet d'une révision technique.](#)

[Les principales modifications sont les suivantes:](#)

— [l'ISO 10825:1995 se compose maintenant de deux parties: l'ISO 10825-1 et l'ISO/TR 10825-2 qui fournit des informations supplémentaires sur les modes de défaillance.](#)

Une liste de toutes les parties de la série ISO 10825 se trouve sur le site [Webweb](http://www.iso.org) 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

Le présent document a été élaboré pour aider les lecteurs à identifier les causes possibles de défaillance de denture, et donner des indications sur les moyens d'éviter des défaillances futures. Cependant, il n'est pas destiné à donner une raison définitive pour chaque défaillance observée. Certaines causes incluses font encore l'objet de recherches et de discussions, mais sont présentées dans l'intention d'offrir des possibilités. De plus, dans certains cas, les mesures prises pour réduire le risque d'un type d'endommagement peuvent augmenter le risque d'un autre type d'endommagement.

Le présent document est un complément à l'ISO 10825-1. Pour faciliter la corrélation des informations des deux parties, les deux documents ont la même structure. Certaines sections du présent document sont principalement destinées à garder les structures parallèles.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 10825-2:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e3040025-1489-4510-a367-0f9eefaa7d27/iso-tr-10825-2-2022>

**Engrenages — Usure et défauts des dentures — Partie 2:
Informations supplémentaires**

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 10825-2:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e3040025-1489-4510-a367-0f9eefaa7d27/iso-tr-10825-2-2022>

Engrenages — Usure et défauts des dentures — Partie 2: Informations supplémentaires

1 Domaine d'application

Le présent document fournit des informations sur l'usure et l'endommagement des dentures. Le contenu présenté est destiné à aider l'utilisateur à mieux comprendre les modes d'endommagement des dents d'engrenages, mais les raisons potentielles d'endommagement et les mesures préventives discutées ne sont pas définitives. De plus, pour des cas individuels, il peut exister d'autres raisons d'endommagements ou de mesures qui ne sont pas mentionnées dans le présent document. Dans le même temps, les raisons des endommagements ou des mesures mentionnées dans le présent document ne sont pas toujours importantes. Dans de nombreux cas, les endommagements peuvent être le résultat de plusieurs facteurs en interaction. Certaines causes qui sont incluses font encore l'objet de recherches et de discussions, mais sont présentées dans le but d'offrir des possibilités.

La solution à de nombreux problèmes de roues dentées implique une étude et une analyse détaillées par des spécialistes; le présent document n'est pas destiné à remplacer une telle expertise.

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_10825-1, *Engrenages — Usure et défauts des dentures — Partie 1 — Terminologie, Nomenclature et caractéristiques* standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e3040025-1489-4510-a367-0f9eefaa7d27/iso-tr-10825-2-2022

3 Termes et définitions

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

— ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
<https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org>
[https://www.electropedia.org/](https://www.electropedia.org)

4 Aperçu général et avertissements

4.1 Aperçu général

Les roues dentées peuvent être endommagées par différents mécanismes. L'endommagement peut aller d'une dégradation mineure dont il n'y a pas lieu de tenir compte, ou prendre la forme d'un endommagement rendant l'engrenage inutilisable. Le terme «défaillance de denture» est subjectif et est source de désaccords considérables. Dans le cas de l'endommagement de la surface des flancs, il n'existe

pas une seule définition de la défaillance de denture, car la question de savoir si une roue dentée est considérée comme endommagée dépend de l'application spécifique. Lorsqu'il n'y a que de petits changements à la surface, par exemple, quand les dents ont un aspect brillant, aspect poli miroir, une personne les observant peut croire que les roues dentées ont été «rodées» correctement. Cependant, un autre observateur peut penser que les dents ont été endommagées par une usure par poli miroir. La surface d'une dent peut évoluer de nombreuses manières au fil du temps. La réponse à la question de savoir si les dentures sont considérées comme endommagées ou non dépend de l'ampleur du changement tolérable.

Une rupture, de tout ou partie, d'une dent ou de plusieurs dents, qui se détachent, peut se produire en raison d'un matériau défectueux suite à une seule application d'une contrainte élevée, ou à la suite d'un mécanisme de fatigue qui initie une fissure à la surface de la dent, ou à la suite d'un mécanisme de fatigue qui initie une fissure sous la surface de la dent. Ces cas sont traités séparément.

La charge est un facteur crucial pour les engrenages, de sorte que tous les facteurs d'influence augmentant la charge locale ou globale d'un engrenage sont importants. Quelques exemples sont les vibrations torsionnelles, les forces externes transmises par les arbres, l'accélération et la surcharge.

Les affirmations sur ce qui peut être fait pour atténuer les risques d'usure et d'endommagement des dentures qui sont données dans le présent document ne sont pas des recommandations ou des exigences, puisque l'application détermine ce qui est approprié. Si un train d'engrenages a un risque extrêmement faible d'être endommagé par une cause particulière, alors il n'est pas pertinent d'essayer de réduire le risque d'endommagement provenant de cette cause. Le présent document comprend plusieurs articles qui contiennent un résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire, dans certains cas, les risques d'usure ou d'endommagement. Selon la situation, il se peut qu'aucune ne soit appropriée et il est rare, voire impossible, de les suivre toutes. Les recommandations énumérées tout au long de ce document sont souvent basées sur l'expérience, et beaucoup ne sont pas couvertes par les normes ou les méthodes de calcul respectives.

4.2 Avertissements

Les méthodes données pour réduire le risque d'un mode d'endommagement ou de défaillance sont spécifiques à ce mode, et une mise en œuvre peut parfois aggraver ou créer d'autres endommagements ou modes de défaillance. Des changements peuvent entraîner des conséquences inattendues, à la fois sur les engrenages et sur les autres composants du réducteur/multiplicateur, par conséquent, il est prudent d'évaluer rigoureusement tout remède proposé avant mise en œuvre et de tester et évaluer ensuite, après mise en œuvre.

Le présent document est basé sur une expérience avec des roues dentées en acier; cependant, beaucoup d'endommagements et modes de défaillance étudiés s'appliquent à des roues dentées fabriquées dans d'autres matériaux.

Le présent document n'est pas destiné à être utilisé pour déterminer la responsabilité d'une défaillance. Dans de nombreux cas, la responsabilité est impossible à déterminer. Une défaillance de denture peut être provoquée par des événements complètement extérieurs aux boîtes à engrenages, par l'interaction de la boîte à engrenages avec l'équipement relié, par des systèmes de boîtes à engrenages ou des composants autres que les roues dentées, par les matériaux utilisés, par le procédé de fabrication (y compris traitement thermique) ou par la conception des roues dentées. Par exemple, une défaillance «par surcharge» peut être due à une conception insuffisante des roues dentées ou au fait qu'une puissance supérieure à la capacité de charge nominale des dentures ait été imposée sur celles-ci; et il peut ne pas être possible de déterminer de façon concluante la cause principale.

NOTE-: Dans le présent document, «roue dentée» désigne une roue ou un pignon, à moins que la roue ne soit précisément identifiée.

5 Endommagements tribologiques (non dus à la fatigue)

5.1 Généralités

Un endommagement tribologique non dû à la fatigue est souvent désigné «usure». Il peut être produit par des particules entraînées dans le lubrifiant, des particules incrustées dans les dents de la roue dentée conjuguée, une épaisseur de film d'huile insuffisante, ou une perte de lubrifiant. L'usure est l'enlèvement de matière de la surface d'une dent, et telle que décrite dans l'ISO 10825-1, peut aller d'un poli miroir léger à la destruction des dents.

Dans certaines applications, aucune usure n'est acceptable. Cependant, dans d'autres applications, une usure légère est considérée comme normale. L'usure modérée et parfois même sévère sont acceptables dans certaines applications.

5.2 Usure type poli miroir

5.2.1 Généralités

L'usure type poli miroir est une abrasion à échelle fine (voir Référence [22]) qui confère aux dents une finition brillante et d'aspect poli miroir. En fonction de sa sévérité, le poli miroir peut être classé comme léger, modéré ou sévère. Si elle est extrême, l'usure type poli miroir peut réduire les épaisseurs en sommet des dents jusqu'à avoir une arête tranchante comme un couteau.

Lorsqu'une surface dure est conjuguée à une surface moins dure, l'usure type poli miroir peut se produire préférentiellement sur la surface dure parce que les abrasifs s'incrusteront dans la surface moins dure et créent une abrasion à deux corps sur la surface dure. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e3040025-1489-4510-a367-0f9eefaa7d27/iso-10825-2:2022>

Une usure type poli miroir peut être favorisée par des additifs chimiquement agressifs lorsque le lubrifiant est contaminé par des abrasifs fins (voir Référence [22]). Bien que les dentures polies peuvent sembler bonnes, l'usure type poli miroir peut être indésirable si elle réduit la précision des roues dentées en usant les profils des dents jusqu'à leur faire perdre leur profil idéal. Des additifs anti-grippage qui contiennent du soufre ou du phosphore sont utilisés dans les lubrifiants pour empêcher le grippage, voir 4.5.1. Ils fonctionnent en formant des films de sulfure de fer et de phosphate de fer sur les zones de denture atteignant des températures élevées. Idéalement, les réactifs réagissent seulement à des températures auxquelles il existe un risque de soudure. Si la vitesse de réaction est trop élevée, et qu'un enlèvement continu des films de surface est provoqué par des abrasifs très fins dans le lubrifiant, l'usure type poli miroir peut devenir excessive (voir Référence [22]).

L'usure type poli miroir peut être évitée en utilisant des additifs moins actifs chimiquement (voir Référence [23]) et une huile propre. Les additifs anti-grippage qui sont appropriés pour les conditions de service peuvent réduire l'usure type poli miroir. Lorsqu'un matériau dispersé, tel que certains additifs anti-grippages, est utilisé, la surveillance peut être utilisée pour détecter si ce matériau bénéfique précipite ou est filtré. Les abrasifs contenus dans le lubrifiant peuvent être éliminés en utilisant une filtration fine ou des vidanges d'huile fréquentes.

5.2.2 Résumé des méthodes qui ont été observées pour réduire le risque d'usure type poli miroir

Les méthodes suivantes peuvent être envisagées pour réduire le risque d'usure type poli miroir-:

- utilisation d'un système d'additifs moins agressifs chimiquement;
- élimination des abrasifs du système;
- surfaces durcies superficiellement pour le pignon et la roue;
- épaisseur suffisante du film d'huile (par exemple, viscosité, vitesse).

5.3 Rayures

Les rayures peuvent être provoquées lors des procédures de manutention ou de montage incorrectes, ou par le passage d'un morceau de matière dure ou abrasive dans l'engrènement.

5.4 Usure abrasive

5.4.1 Généralités

L'usure abrasive, également appelée abrasion, est l'enlèvement ou le transfert de matière provoqué par la présence de particules dures (comme des débris métalliques, scories, rouille, sable, ou poudre abrasive) dans les réducteurs (ou multiplicateurs). Les particules peuvent être libérées (en suspension dans le lubrifiant) ou incrustées sur la surface des dents de l'engrenage.

L'usure abrasive provoque des rayures ou des griffures sur la surface de la dent, qui sont orientées dans le sens du glissement. Sous grossissement, les rayures prennent l'aspect de sillons parallèles qui sont lisses et propres.

L'abrasion à deux corps se produit lorsque des particules ou des aspérités incrustées sur une dent d'engrenage abrasent la surface de la dent conjuguée. L'abrasion due à des contaminants lâches est appelée abrasion à trois corps. En général, l'abrasion à deux corps est plus dommageable que l'abrasion à trois corps car l'abrasif est fixé dans un corps et s'abrase directement sur l'autre corps. L'abrasion à trois corps est généralement beaucoup moins sévère, car l'abrasif peut rouler, glisser et varier son angle d'approche.

NOTE: L'usure abrasive n'est pas limitée aux dentures; elle peut également dégrader sévèrement les roulements, les joints d'étanchéité et d'autres composants. L'abrasion des roulements peut favoriser la défaillance de la denture en provoquant un désalignement.

5.4.2 Sources de particules provoquant l'usure abrasive

La contamination pénètre les réducteurs (ou multiplicateurs) en étant présente au moment du montage, générée en interne, absorbée par les reniflards et les joints d'étanchéité, acheminée par le lubrifiant depuis un système de lubrification incorrectement nettoyé, ou ajoutée par inadvertance pendant la maintenance.

Le sable, les scories, la rouille, les copeaux d'usinage, la poussière de rectification, les projections de soudure ou d'autres débris peuvent se frayer un chemin jusqu'à des engrenages neufs.

Les particules générées en interne sont normalement des débris d'usure de roues dentées, de roulements ou d'autres composants dus à la fatigue hertzienne, à l'usure adhésive, et à l'usure abrasive. Les particules d'usure peuvent devenir plus abrasives parce qu'elles s'écrasent lorsqu'elles sont emprisonnées entre les dents. Les débris d'usure générés en interne peuvent être réduits au maximum en utilisant une denture précise et durcie superficiellement (avec une résistance élevée au macroécailage), des surfaces de dent lisses et des lubrifiants de viscosité appropriés.