Défaillance des engrenages

La comprendre pour mieux l'éviter

Cetim

Endommagements combinés

« Une pièce est défaillante à partir du moment où elle ne remplit plus sa fonction », définit Patrice Huver, responsable du département Analyse et Expertise des Défaillances (ADE) du Cetim. Quelles sont les différentes défaillances observées sur les engrenages ? Quelles sont leurs causes ? A quoi les reconnaît-on ? Quelles conséquences sont à prévoir ? La conférence itinérante « Les transmissions par engrenages : défaillances et lubrification » organisée par le Cetim a passé en revue tous les cas de figures. Leur connaissance approfondie pourrait aboutir, pour la profession, à une « bonne pratique de l'engrenage », tant lors de son élaboration que dans son utilisation.

Destinée à un bataillon d'experts en tous genres, la conférence itinérante « Les transmissions par engrenages : défaillances et lubrification », prononcée par Christophe Le Flèche, Expert en ADE du Pôle Machines et Commandes du Cetim, avait tout du cours magistral : la majorité de son public est appelée à enquêter et décider du ou des responsables d'une défaillance technique quand elle s'avère désastreuse !

Cette conférence fait également figure de mine de renseignements pour qui veut éviter la casse de son matériel. Soigner l'usinage, éviter les surcharges, vérifier régulièrement la bonne lubrification des engrenages, filtrer le lubrifiant : on pourrait croire que ce sont des réflexes de base ! Et pourtant, l'auditoire nombreux montre que les experts ne chôment pas !

Cetim

Ensemble spiro-conique sain

« L'évolution des flancs va dépendre de la conception de l'engrenage, des matériaux, de la méthode de taillage, de la lubrification, des conditions de montage et de fonctionnement »

« L'évolution de l'aspect des flancs va dépendre de la conception de l'engrenage, des matériaux utilisés, de la méthode de taillage employée, de la lubrification, des conditions de montage et des conditions de fonctionnement », énonce Christophe Le Flèche. « De bonnes conditions de fonctionnement se traduisent par une usure faible ou normale des flancs actifs des dents. Des conditions dégradées ou anormales conduisent à une dégradation des dentures. »

DISTRIBUTION DES CONTRAINTES

Dans un engrenage, les mouvements relatifs des surfaces des dents en contact sont de deux types : roulement et glissement. La distribution des contraintes entre deux flancs en action s'avérera primordiale à l'usage, d'où une réflexion nécessaire lors du choix du profil de la dent d'engrenage. En plus du cisaillement principal produit par le contact d'engrè-

DES DÉFAILLANCES BIEN DÉFINIES

● **Usure :** phénomène local caractérisé par un enlèvement de matière dû au glissement relatif de deux surfaces l'une sur l'autre.

● **Usure par adhésion :** apparaît lorsque la pression de contact entre les deux surfaces « frottant » l'une sur l'autre est suffisante pour provoquer des déformations plastiques, des microsoudures ou des adhésions locales.

● **Grippage :** résulte de la rupture du film lubrifiant sous l'action d'une surchauffe ou d'une pression excessive en fonctionnement, provoquant un contact métal/métal entre les surfaces, soudure puis arrachement.

● **Usure à trois corps :** causée par la présence d'un troisième corps (en général abrasif) « véhiculé » entre les deux surfaces en contact par le lubrifiant.

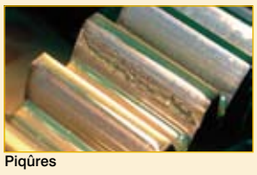
Usure par interférence en pied

● **Usure par interférence :** Produite en début ou en fin d'engrènement par les interférences de fonctionnement entre les dents conjuguées (mauvaise conception géométrique, flexion exagérée des dents en service).

● **Corrosion :** attaque chimique ou électrochimique du matériau.

● **Etincelage :** piqûres provoquées par le passage de courants « vagabonds » qui amorcent des arcs électriques entre les surfaces métalliques.

● **Fatigue de contact :** détérioration des surfaces de contact due aux contraintes répétées à la surface ou en sous-couche dont les valeurs dépassent les limites d'endurance à la pression des matériaux.


Piqûres

● **Piqûres :** endommagements de surface dus à la fatigue de contact, se présentant sous la forme de cavités de différentes tailles qui se développent à partir de la surface des dents d'engrenages traités à cœur.

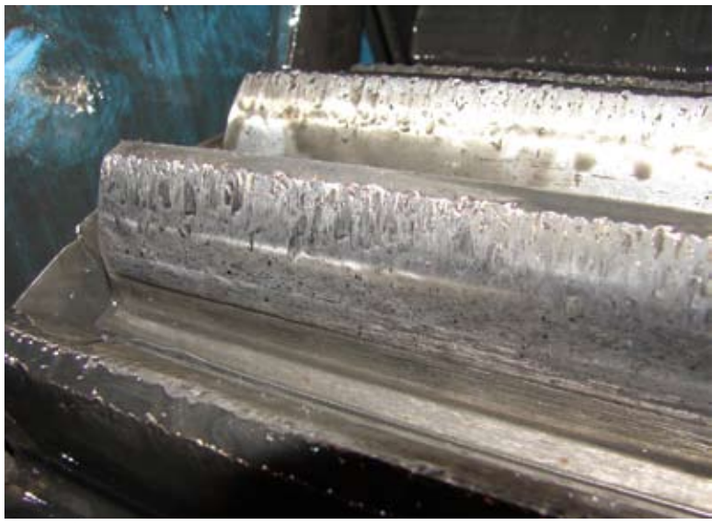
Ecaillage

● **Ecaillage :** endommagements profonds initiés en sous-couche des dents d'engrenages traités superficiellement, à la profondeur de la contrainte de cisaillement maximum.

● **Empreintes :** petites cavités ou dépressions à bords arrondis causées par le passage dans l'engrènement d'un corps étranger.

● **Broutage :** petites rides ondulées disposées sur les flancs perpendiculairement à la direction du glissement.

● **Déformation plastique par roulement :** déformation permanente de la surface due au dépassement de la limite élastique du matériau dans la zone de contact, sous l'effet de la pression et du glissement.


Cetim

Grippage à froid

nement (roulement sous charge et glissement conjugués) en sous-couche à la profondeur de la contrainte maximale, la rugosité des surfaces initie également de nombreux maximums secondaires de contraintes de cisaillement réparties sous la surface.
Les phénomènes de détérioration superficielle dépendent en outre des conditions de fonctionnement, de la température du contact, de la lubrification, de la dureté et de l'état des surfaces, de la compatibilité et de la nature des métaux en présence. « Ce sont donc des phénomènes très complexes, qui aboutissent aux dégradations sous leurs différentes formes : usure abrasive ou adhésive, brûlures, fatigue de contact, ... », explique Christophe Le Flèche.

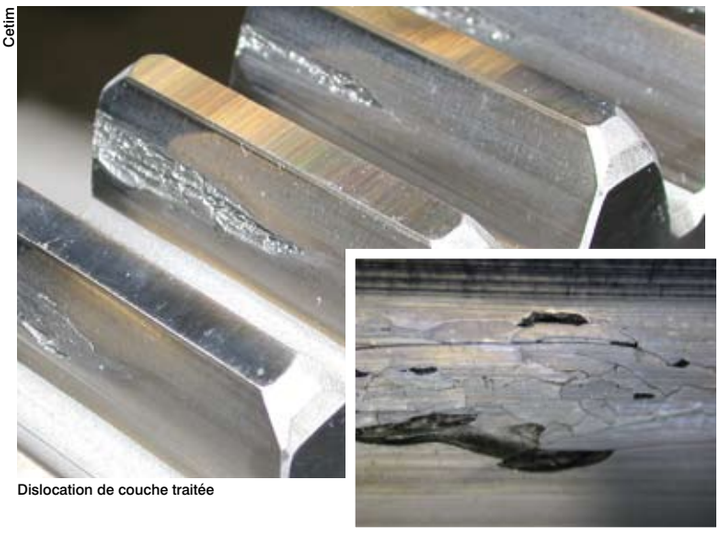
ALTÉRATIONS

Par ailleurs, des fissures vont se développer à partir d'altérations locales de surface ou d'augmentations locales des contraintes au voisinage de discontinuités de structures. Les fissures initiales ou d'origine thermique surviennent en général au moment de l'élaboration des roues d'engrenage : forge, trempe, rectification sont autant d'étapes critiques pour la durée de vie de l'engrenage. Les fissures par fatigue apparaissent quant à elles après un certain temps de fonctionnement. « Il n'y a aucun remède à une fissuration de denture », précise Christophe Le Flèche.
Toutes ces dégradations conduisent de toute façon à l'avarie, à plus ou moins long terme selon le degré de progression des phénomènes constatés et les impératifs de durée de vie du système. « On décide de remplacer l'engrenage ou de l'examiner périodiquement, prises de clichés ou d'empreintes à l'appui ».
Pour une utilisation sans soucis des systèmes à engrenages, la première précaution à prendre est de ne pas négliger la période de

Cetim

Grippage à chaud

Cetim



Dislocation de couche traitée

rodage. Il permet d'user tranquillement les surfaces de l'engrenage neuf pour en améliorer la portance et le fonctionnement.

PROFIL IDÉAL

Le rodage « lisse » idéalement le profil des dents de l'engrenage pour le travail qui lui sera demandé pour le restant de ses jours. « En général, après un certain temps de fonctionnement, les portées s'améliorent avec l'usure, plus intense dans les zones où la portée est prépondérante », rappelle Christophe Le Flèche.

Il s'agit également pour l'utilisateur « d'écouter » le système : les dysfonctionnements se signalent souvent par des vibrations intempestives, des à-coups, des bruits divers et variés qui ne ressemblent en aucun cas au ronronnement régulier de la mécanique en bonne santé ! Cela permettra en particulier de détecter les phénomènes d'usure marqués (abrasive, adhésive ou par interférence), ainsi que l'apparition de piqûres ou d'écaillages sur les flancs.

Par ailleurs, il faut absolument éviter les surcharges, même ponctuelles ! C'est tout bête, mais bon nombre de dégradations sont évitées rien qu'en respectant les capacités mécaniques de l'engrenage ! Grippage, brûlures, piqûres, écaillage, déformation des profils, fissurations et ruptures sont les enfants terribles de l'engrenage surchargé. Ils terminent toujours leur sale besogne par la mise hors service du système.

Enfin, il est indispensable de bien lubrifier l'engrenage, par le choix d'un mode, d'un système de graissage (étanché, filtré, régulé) et d'un lubrifiant adaptés (base, additifs et viscosité). Dans un engrenage, beaucoup de dégradations sont d'ailleurs ralenties ou contrecarrées par la seule augmentation de cette dernière ! Usure sous toutes ses formes, piqûres et micro-piqûres, déformation plastique des flancs par roulement, sont autant de phénomènes auxquels il est bon de « passer la pommade » !

FISSURE QUI FILE

A l'utilisateur, donc, de prendre soin de ses petites roues dentées, mais aussi de choisir des composants de la qualité idoine. Matériau de composition, traitement, profil des dents, soin apporté à l'usinage, tous ces paramètres entrent aussi en ligne de compte de la défaillance. Ecarts géométriques des dents, défauts d'alignement, rectification mal dosée, c'est l'interférence qui mène la danse, la fatigue qui s'accélère, la fissure qui file dans la masse... aboutissant à la casse.

L'ADE TRANSFORME LA DÉFAILLANCE EN ATOUT

La défaillance matérielle ou de production est le cauchemar de l'industriel. Le département Analyse et Expertise des Défaillances (ADE) du Cetim propose de savoir pourquoi elle s'est produite et comment faire face à cet événement déplaisant.

Cette équipe de 50 personnes cherche ainsi à tirer parti de l'enseignement apporté par l'analyse de la défaillance déplorée - et, bien sûr, sa résolution - pour améliorer le système pris en défaut. 30 ans d'expérience répertoriés dans une banque de donnée comptant pas moins de 30 000 analyses de défaillance assurent un gain de temps non négligeable pour la livraison du résultat et ce dans des domaines très divers : avaries mécaniques et métalliques, corrosion, défaillances plastiques et composites, peintures, carburants, lubrifiants, transmissions mécaniques, assemblages et soudage, étanchéité. Pour que devant une défaillance, chaque industrie puisse sortir la carte « action de correction ».

Cetim

Usure abrasive

La qualité du forgeage de la denture, le suivi du protocole de trempe ou tout autre traitement thermique du matériau sont importants. Si l'on ne prend pas garde, entre autres, à la présence, au moment du forgeage, d'inclusions ou d'impuretés non métalliques, la fissure est assurée ! Or, « la fissuration est dramatique pour la denture, elle conduira systématiquement à la rupture de la dent ! », scande Christophe Le Flèche.

La géométrie de l'engrènement et des profils sont à optimiser en fonction des charges, tout en exigeant précision et qualité d'état de surface des dentures au taillage. Reste encore en dernier recourt la possibilité, pourtant, de retoucher les dents, si l'état de la denture, la profondeur du traitement et les conditions de fonctionnement le permettent.

D'ailleurs, si la surface de l'engrenage est traitée, l'épaisseur de la couche durcie et ses propriétés physiques par rapport au cœur de l'engrenage ne sont pas non plus à négliger : si les contraintes intrinsèques de la pièce favorisent le défaut, on ne s'en sort plus !

Mais quoi qu'il arrive - même avec tous les efforts du monde, la complexité du problème est destinée à réserver toujours des surprises - pour décider de réparer ou de remplacer un engrenage, il y a deux questions à se poser. « Quelles sont la ou les causes ? » ; « L'engrenage est-il toujours apte à sa fonction ? ». Pour aider à y répondre, il y a l'équipe du département ADE, au Cetim. ■ E.B.