

Les dentures des roues dentées sont de profil complexe (voir ressource « *Engrenages, conditions d'engrènement et procédés d'obtention* »). Nombre de procédés de réalisation de dentures existent : taillage par génération (voir les ressources « *Taillage des engrenages par génération, outil crémaillère et outil pignon* » et « *Taillage des engrenages par génération, outil fraise-mère* »), ou taillage sans génération : fraise de forme, fraise disque à grande productivité, brochage, forgeage, frittage...

Cette ressource présente sans volonté d'exhaustivité, quelques procédés de taillage sans génération ; la finition des dents est abordée.

1 – Taillage par fraise-module

Le principe de cet usinage repose sur l'utilisation d'une fraise-module, outil de forme, qui permet la reproduction de la forme des dents. La fraise-module est une fraise-disque à profil constant dans tous les plans d'affûtage passant par l'axe.

Il existe une standardisation de ces fraises-modules. L'outil est spécifique à chaque module (voir ressource « *Engrenages, conditions d'engrènement et procédés d'obtention* ») et le profil varie suivant le nombre de dents (une fraise-module couvre une plage d'un nombre de dents de l'engrenage à tailler).



Figure 1 : Exemple de taillage d'une roue par fraise-module, Image Sideméca [1]

Les machines à tailler sont de simples fraiseuses, dont la broche est verticale ou horizontale pour l'usinage de denture droite. Lors de l'usinage de dentures hélicoïdales, l'axe est incliné à gauche ou à droite suivant l'angle de l'hélice.

Dans le cas du taillage d'une denture droite, l'usinage se fait par division de la broche porte-pièce selon le nombre de dents souhaité. Le profil de la fraise-module est exactement celui de l'engrenage à tailler (figure 2).

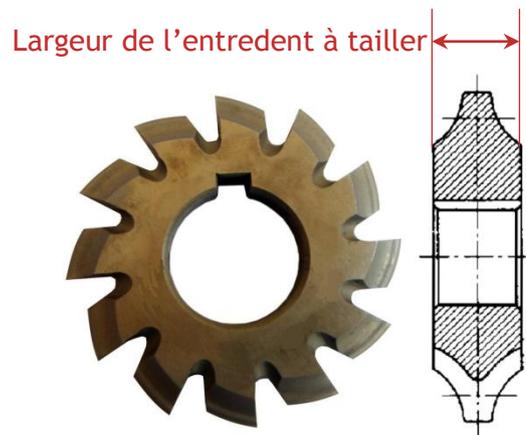


Figure 2 : Profil de l'outil fraise-module

Angle de détalonnage

Sur une fraise-module, le contact ne doit s'effectuer que sur les parties coupantes et non pas sur les faces de dépouille. On définit pour cela l'angle de détalonnage, caractéristique des dents de la fraise.

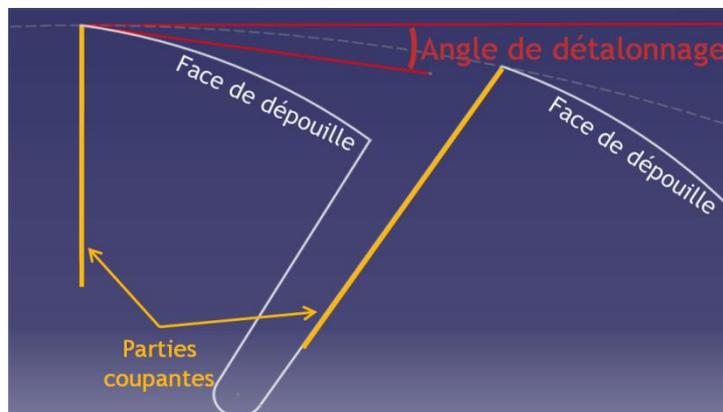


Figure 3 : Angle détalonnage et face de dépouille

2 – Taillage par fraise-disque à grande productivité

Les fraises-disques montées sur des fraiseuses, servent principalement à l'ébauche et permettent d'obtenir, par grands enlèvements de copeaux, des profils satisfaisants. Pour des applications nécessitant des vitesses de rotation lentes des engrenages, la qualité peut être suffisante.

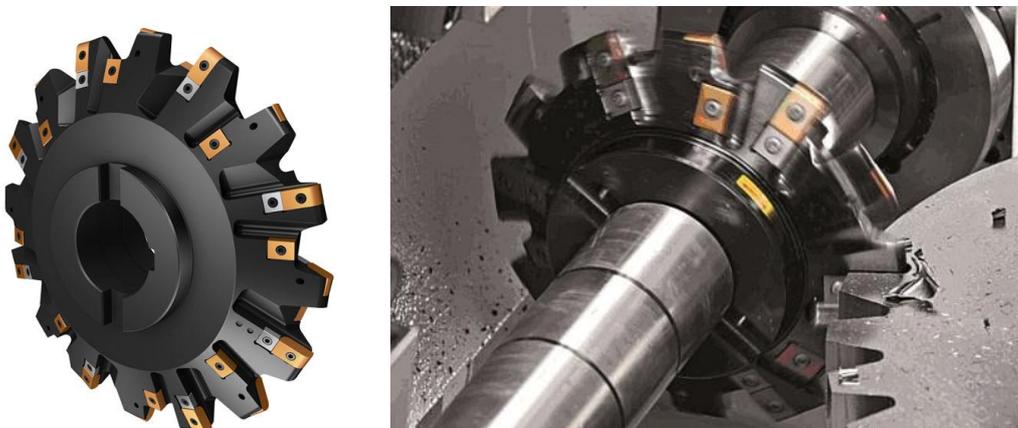


Figure 4 : Fraise-disque à grande productivité, Coromil 170 de SANVIK COROMANT [2]

3 – Taillage par brochage

Le brochage se réalise à l'aide d'un outil broche, pièce en acier muni de dents qui permet l'obtention de formes intérieures ; il est nécessaire que la géométrie de la pièce permette le passage de l'outil de part et d'autre de la pièce à brocher.

Pour tailler une forme, la broche se compose de plusieurs outils (dents) dont la dimension augmente depuis la première dent d'ébauche jusqu'à la dernière dent de finition.

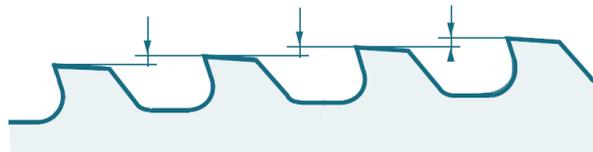


Figure 5 : Augmentation progressive des dents de broche

Ce procédé est réservé à l'obtention de dentures intérieures de petites dimensions.



Figure 6 : Usinage par brochage, image BART [3]

4 – Forgeage

Le forgeage est l'ensemble des techniques permettant d'obtenir une pièce mécanique en appliquant une force importante sur une barre de métal, à froid ou à chaud, afin de la contraindre à épouser la forme voulue (voir ressource « *Le procédé d'obtention de bruts par matriçage* »).



Figure 7 : Roues coniques et pignon droit obtenus par forgeage

5 – Frittage

Le frittage permet d'obtenir directement par compression la géométrie des dents ; les engrenages réalisées peuvent être d'une grande variété de dimensions et de formes (figure 8).

Des poudres métalliques sont fortement comprimées et mises en forme dans une matrice, sous l'action d'un ou de plusieurs poinçons. Les pressions atteignent communément plusieurs milliers de bars.



Figure 8 : Pièces dentées de formes diverses, images AMES [4]

Après démoulage, on obtient des préformes plus ou moins fragiles qui sont ensuite chauffées sous vide ou dans une atmosphère contrôlée, à une température inférieure à la température de fusion de l'élément principal. C'est la phase de frittage proprement dite. Sous l'effet de la chaleur, les matériaux diffusent les uns dans les autres et les grains de poudre se lient de façon relativement solide, suffisamment pour obtenir des composants mécaniques utilisables.



Figure 9 : Densification des flancs et du fond de dent par frittage

6 – Taillage par reproduction

C'est un procédé rare. Les dents sont fabriquées une à une en faisant suivre la développante de cercle à un outil coupant. On maintient immobile soit la roue à tailler soit l'outil, l'autre élément est doté d'un mouvement guidé par une came reproduisant la développante de cercle au niveau de la dent. La partie mobile (outil ou roue) est animée d'un mouvement de translation conjugué avec un mouvement de rotation.

6.1 - Outil fixe

Pour générer le profil, la roue à tailler se déplace en translation avec le chariot et une came contrôle son mouvement de rotation (figure 10). La rotation est liée à la translation du chariot.

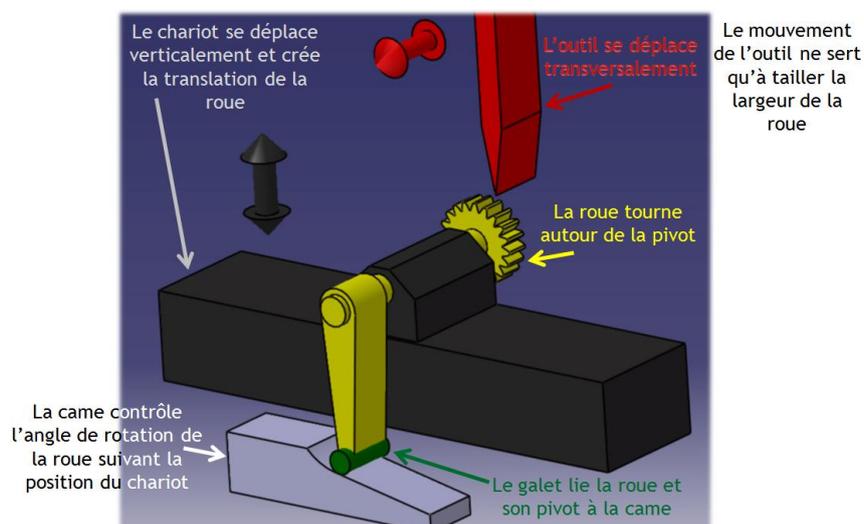


Figure 10 : Principe du taillage par reproduction avec outil fixe

On peut partir d'un brut constitué d'une roue « pré-taillée » qui a subi un défonçage à la fraise pour enlever rapidement la matière sans créer le profil.

6.2 - Pièce fixe

Lorsque la roue est de grande taille, et qu'il devient difficile de la mettre en mouvement, elle est alors maintenue immobile et l'outil se déplace pour créer le profil. Le principe est très proche du précédent à la différence que la came guide l'outil et non la roue. La roue ne tourne que lorsqu'un profil est fini afin de passer au suivant.

6.3 - Utilisation du procédé

Ce procédé est relativement lent car on ne génère qu'une dent à la fois et il faut de nombreux passages pour réaliser une développante de cercle ; industriellement le taillage par reproduction n'est utilisé que pour les roues de très grandes dimensions. Le taillage par outil fixe peut être adapté sans grande difficulté à des machines standard de type mortaiseuse par exemple. Il suffit de créer l'outillage adéquat et de posséder le mouvement alternatif et transversal de l'outil.

7 – Finition des dents

Lors d'un besoin de précision des engrenages, une opération de finition des dents peut compléter le travail des machines présentées. La finition permet aussi un meilleur état de surface des dents.

7.1 - Rectification

Les rectifieuses d'engrenages peuvent utiliser différentes méthodes : roue conique pour travailler l'espace entre les dents (figure 11), deux disques (figure 12) pour ajuster l'alignement contre la dent et donc la précision,

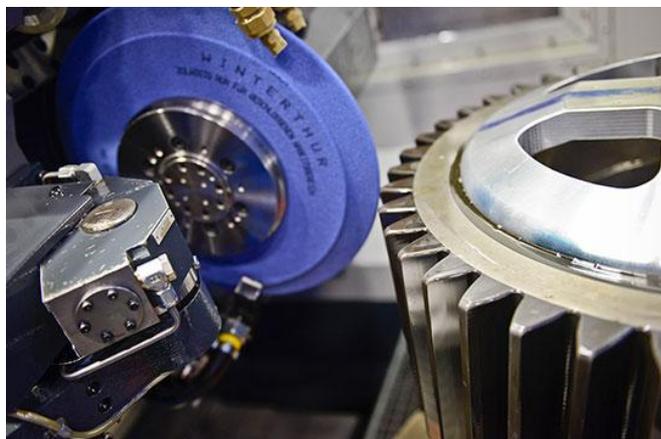


Figure 11 : Exemple de rectification d'engrenage par meule vitrifiée, images 3M France [5]

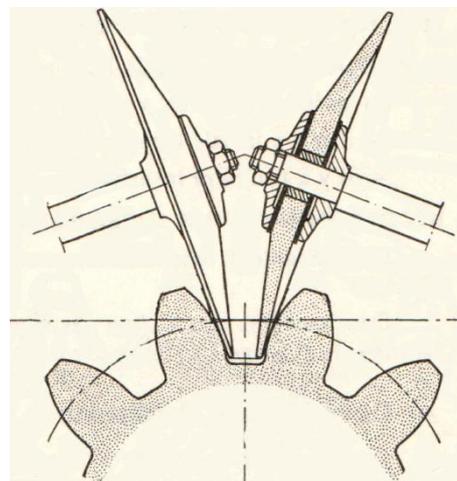


Figure 12 : Rectification par deux meules disques, image [6]

7.2 - Rasage ou shaving

Le rasage (ou shaving) d'engrenage est une opération de finition effectuée après une ébauche par fraise-mère ou par outil pignon (voir ressources « *Taillage des engrenages par génération, outil fraise-mère* » et « *Taillage des engrenages par génération, outil crémaillère et outil pignon* »). Il consiste à racler de fines particules de matière sur la surface de travail des dents de l'engrenage en produisant de très fins copeaux.

Ce procédé améliore aussi l'état de surface des dents et, par le passage croisé des dents, élimine le risque de concentrations de charge sur l'extrémité de la dent. En modifiant le profil de

denture, le rasage permet de réduire le bruit provoqué en fonctionnement par l'engrenage et d'améliorer sa capacité de chargement, ainsi que la sécurité de fonctionnement et la durée de vie.

L'outil

L'outil de rasage a la forme d'un engrenage hélicoïdal avec des stries sur les flancs de dent qui agissent comme des arêtes de coupe (figure 13) ; il est assimilable à un outil pignon (voir ressource « *Taillage des engrenages par génération, outil crémaillère et outil pignon* ») avec plusieurs petites dents sur le flanc des dentures. L'ensemble des parties coupantes d'un profil de denture est appelé peigne.

Le dégagement à la base des dents permet d'éviter les contacts entre les fonds de dents du pignon à tailler et de l'outil. Ce phénomène nommé interférence (voir ressource « *Engrenages, conditions d'engrènement et procédés d'obtention* ») est néfaste pour l'usinage comme pour le fonctionnement d'un engrenage.



Figure 13 : Exemples d'outil de rasage,

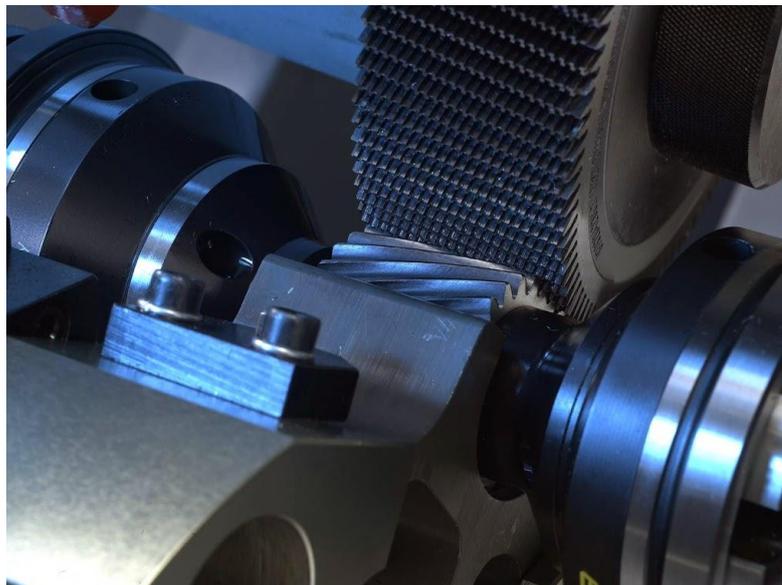


Figure 14 : Principe de fonctionnement du shaving, Images Samputensili [7]

Principe

L'outil est monté incliné par rapport à la roue à tailler, il entraîné en rotation. La roue à raser est libre en rotation et montée entre pointes (figure 14). L'outil en denture hélicoïdale permet parcourir toute la profondeur de la dent.

8 – Conclusion

Des procédés très différents (fraise-module, forgeage, frittage ...) permettent de façonner des dentures d'engrenages sans génération, c'est-à-dire sans utiliser un usinage reprenant les mouvements d'engrènement entre un outil (pignon, crémaillère, ou fraise) et la roue à tailler (voir les ressources « *Taillage des engrenages par génération, outil crémaillère et outil pignon* » et « *Taillage des engrenages par génération, outil fraise-mère* »). Une opération de finition des dents peut compléter le travail des procédés avec ou sans génération en fonction du besoin et de l'utilisation.

Utilisés dans de nombreux domaines, à des dimensions très différents, les engrenages présentent un bon rendement énergétique dans de bonnes conditions de production, montage et

fonctionnement. Comme toute pièce mécanique façonnée et quel que soit le procédé utilisé, les dentures sont contrôlées ; la ressource « *Contrôle des engrenages* » permet d'aborder les points de mesure à contrôler.

Références :

[1]: <http://www.sidermeca.com/>

[2]: http://www.sandvik.coromant.com/fr-fr/products/coromill_170/pages/default.aspx

[3]: <http://www.bartbrocce.it/>

[4]: <http://www.ames-sintering.com/fr/>

[5]: http://www.3mfrance.fr/3M/fr_FR/notre-societe-fr/3M/

[6]: Construction mécanique, tome 3, G. Lenormand, R. Mignée, J. Tinel, Foucher

[7]: <https://www.samputensili.com/> Vidéo <https://www.youtube.com/watch?v=eK2Syp2ZzAI>

[8]: Etude géométrique des engrenages cylindriques de transmission de puissance, J. Dufailly, Ellipses

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>