

Taillage des engrenages par génération, outil crémaillère et outil pignon

Les dentures des roues dentées sont de profil complexe (voir ressource « *Engrenages, conditions d'engrènement et procédés d'obtention* »). Les dentures sont façonnées par différents procédés suivant un taillage par génération, ou un taillage sans génération : usinage à la fraise, reproduction directe, déformation ... (voir ressource « *Taillage des engrenages sans génération* »).

Lors du taillage par génération, les dentures sont réalisées par enlèvement de matière. L'usinage consiste à simuler entre un outil (pignon, crémaillère, ou fraise) et la roue à tailler, un engrènement : le module de denture est imposé par l'outillage. Le mouvement d'engrènement contribue au mouvement d'avance dans l'opération d'usinage, et le mouvement de coupe dépend du procédé.

Cette ressource s'intéresse aux procédés de taillage par génération avec l'outil crémaillère et l'outil pignon, les mouvements d'avance et de coupe, ainsi que les formes des outils et les conditions de production sont présentés. La ressource « *Taillage des engrenages par génération, outil fraise-mère* » développe l'utilisation de l'outil fraise-mère.

1 – Taillage par outil crémaillère

Les machines utilisées sont des mortaiseuses dont l'outil est une crémaillère ; chaque dent de l'outil crémaillère est un outil de rabotage. La roue à tailler est montée sur un axe de façon que le cercle primitif soit tangent à la droite primitive de la crémaillère. La roue et la crémaillère se déplacent comme si elles engrenaient : l'outil taille une denture engrenant avec un module précis qui se conjugue avec toutes les roues de même module. La roue à tailler peut être montée sur un axe horizontal (figure 1) ou vertical.



Figure 1 : Exemple de taille par outil crémaillère, source Chauvin-Mécagaphic [1]

1.1 - Usinage avec l'outil crémaillère

L'obtention du profil en développante de cercle se fait en générant un mouvement équivalent à du roulement sans glissement entre la crémaillère et la roue à tailler (voir ressource « *Engrenages, conditions d'engrènement et procédés d'obtention* »). Pour cela, il est possible par exemple de donner un mouvement de rotation à la pièce usinée, et de translation à l'outil crémaillère (figure 2).

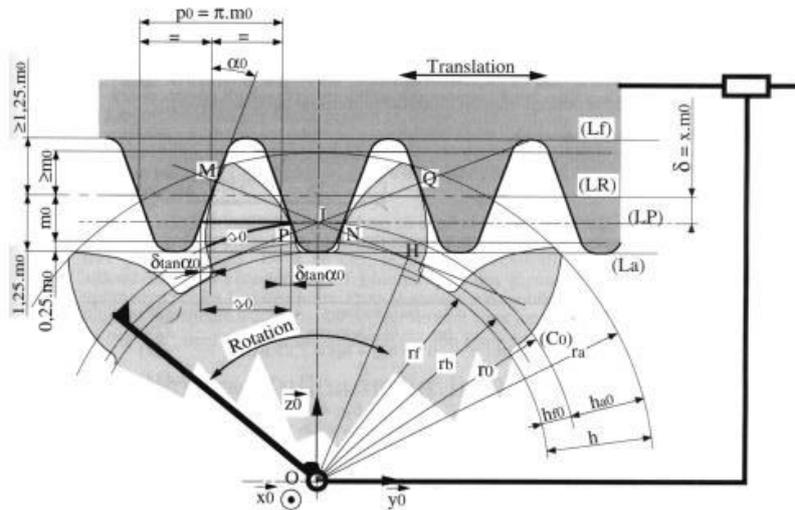


Figure 2 : Mouvements d'engrènement lors du taillage par outil crémaillère, image J. Dufailly [2]

Il est usuel que les deux mouvements de translation et rotation soient effectués par la roue à usiner. Au cours de ce mouvement, l'enveloppe des flancs de crémaillère est une développante de cercle. La crémaillère utilisée est une crémaillère normalisée. Sa forme est définie en particulier par sa ligne de référence (LR). Pour tailler un engrenage sans déport de denture (voir ressource « Engrenages, conditions d'engrènement et procédés d'obtention »), cette ligne est placée tangente au cercle primitif du pignon à tailler (cercle défini par $r_0 = 1/2 \cdot m_o \cdot Z$).

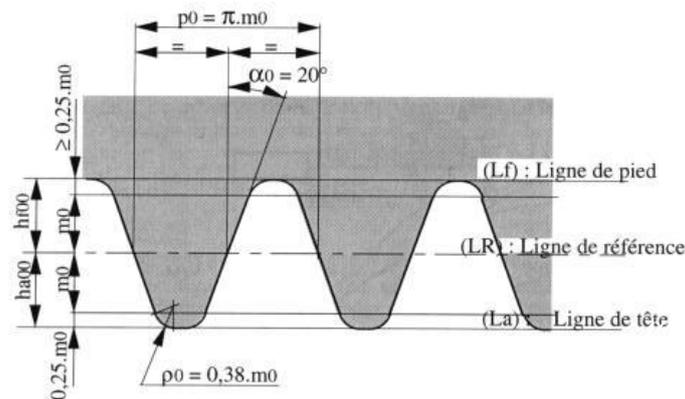


Figure 3 : Géométrie de l'outil crémaillère, image J. Dufailly [2]

Lors de l'usinage avec un outil crémaillère la vitesse de coupe est très faible (de l'ordre de 15 à 20 m/min) et la lubrification doit être abondante. Le mouvement d'aller-retour de l'outil crémaillère synchronisé avec la rotation relative par rapport à la roue à tailler génère le profil en développante de cercle (figure 4).

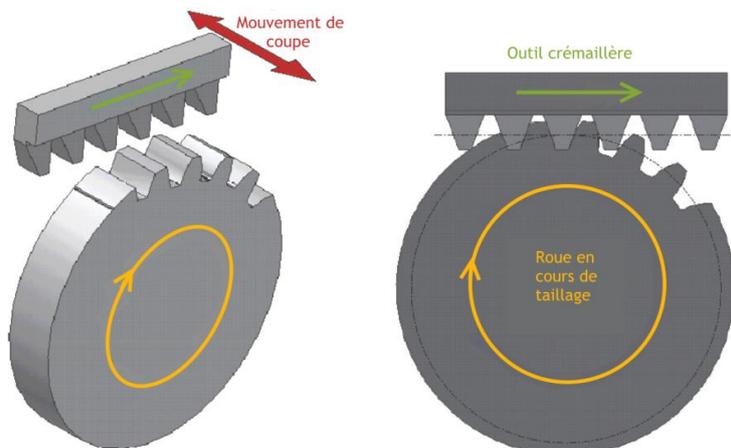


Figure 4 : Mouvements lors de l'usinage d'une roue avec un outil-crémaillère

1.2 - Description de l'outil crémaillère

Un outil-crémaillère possède des dents dépouillées pour obtenir des arêtes de coupe et une dépouille. Les dents de l'outil crémaillère (figures 5) n'ont pas un profil en développante de cercle (voir ressource « *Engrenages, conditions d'engrènement et procédés d'obtention* ») il s'agit de droites. Cet outil de géométrie relativement simple est facilement affûtable. On retrouve sur les arêtes coupantes un angle de dépouille (figure 5). Les longueurs des outils crémaillères sont variables et dépendent des applications.

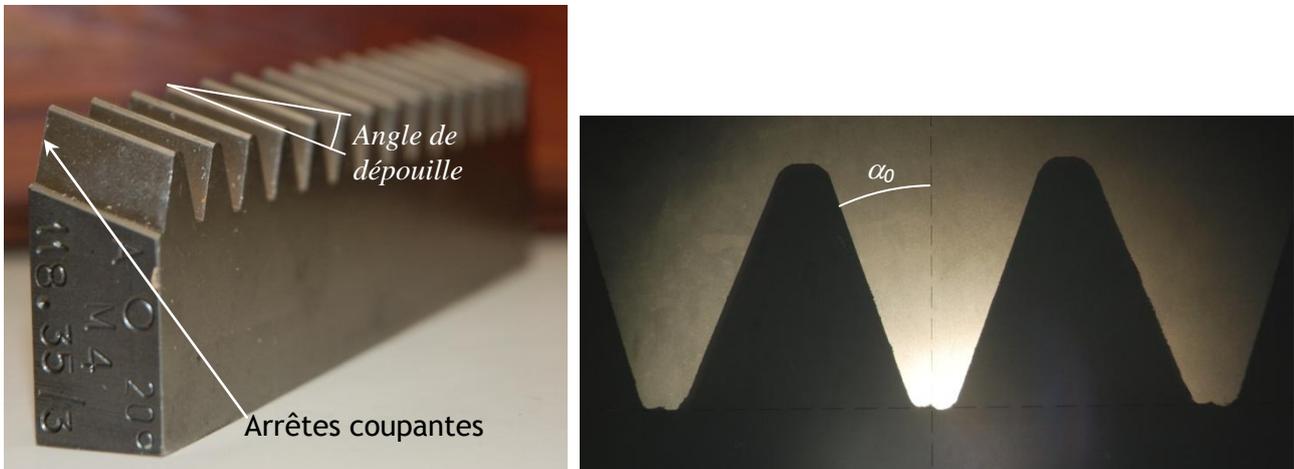


Figure 5 : Outil-crémaillère module $m = 4$ et d'angle de pression $\alpha_0 20^\circ$ et son profil, images HHM

Chaque outil est caractérisé par son module et son angle de pression ; toutes les roues taillées auront ces caractéristiques.

1.3 - Taillage de dentures hélicoïdales

L'usinage des dentures hélicoïdales se fait en inclinant l'outil crémaillère et en imposant un mouvement de rotation à la roue à tailler. L'inclinaison de l'outil à droite génère des dentures inclinées à gauche (figure 6).



Figure 6 : L'outil sur la machine est incliné à droite, la roue usinée est à dentures à gauche

1.4 - Avantages et inconvénients

Ce procédé est lent et n'est applicable que pour de petites séries. Il nécessite des opérateurs qualifiés sur des machines spécifiques cependant assez rapides à mettre en œuvre. Le taillage par outil crémaillère permet la réalisation de dentures hélicoïdales (figure 6) ainsi que la réalisation de module important et de pièces de grandes dimensions (figure 7). Les outils sont de géométrie simple il est donc facile d'obtenir des profils non normalisés pour des applications particulières.



Figure 7 : Diamètre voisinant 13 m, largeur de denture de 89 cm, image Ferry Capitain [3]

2 – Taillage par outil pignon (ou procédé FELLOWS)

Les machines utilisées sont des mortaiseuses dont l'outil est un pignon. Le taillage est effectué par l'engrènement de l'outil pignon avec la roue à tailler. La roue à tailler est montée sur un axe et tourne dans un rapport de vitesse fonction du nombre de dents à tailler. L'outil pignon, dont les dents sont dotées d'arêtes coupantes, est animé d'un mouvement rectiligne alternatif combiné avec sa rotation (figure 9). Il s'agit d'une génération continue de 1 à Z dents.



Figure 8 : Exemple de taille avec outil pignon, source [4]

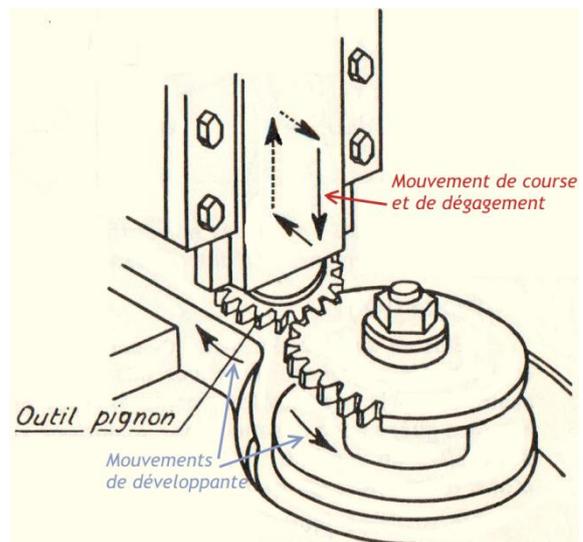


Figure 9 : Mouvements lors de l'usinage d'une roue avec un outil pignon, image [5]

2.1 - Description de l'outil pignon

Un outil pignon n'est pas une simple roue dentée, il est doté de dents coupantes avec dépouille (figure 10). Le déport de denture de l'outil est une caractéristique dépendant de son affûtage.

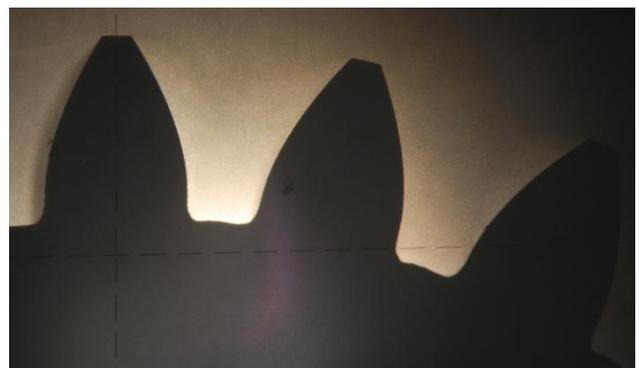


Figure 10 : Dépouille des dents de l'outil pignon et son profil en développante de cercle, images HHM

Les outils pignons ne permettent d'obtenir qu'un module par outil (figure 11).

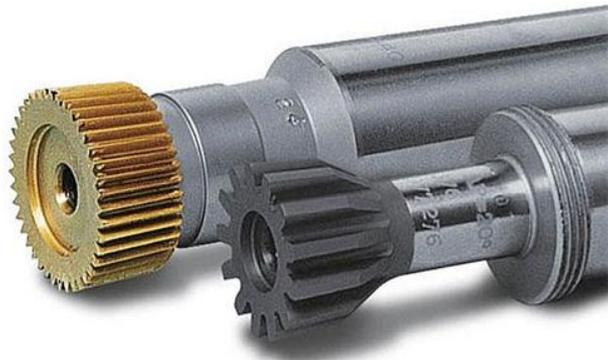


Figure 11 : Exemple d'outils pignon de différents modules, image Star SU' [6]

2.2 - Conditions d'usinage

Un outil pignon ne peut pas être doté d'un mouvement rapide, la vitesse de coupe est donc faible (20 m/min). Il y a des risques d'adhésion de l'outil sur la matière, la lubrification doit être abondante pour éviter de coller l'outil pignon à la pièce (figure 12).



Figure 12 : Usinage de denture intérieure par outil pignon

Pour usiner des pignons à denture hélicoïdale, l'outil pignon est animé d'un mouvement de rotation autour de son axe lors de sa descente. Il doit accomplir le mouvement inverse lors de la remontée pour ne pas abîmer le profil généré.

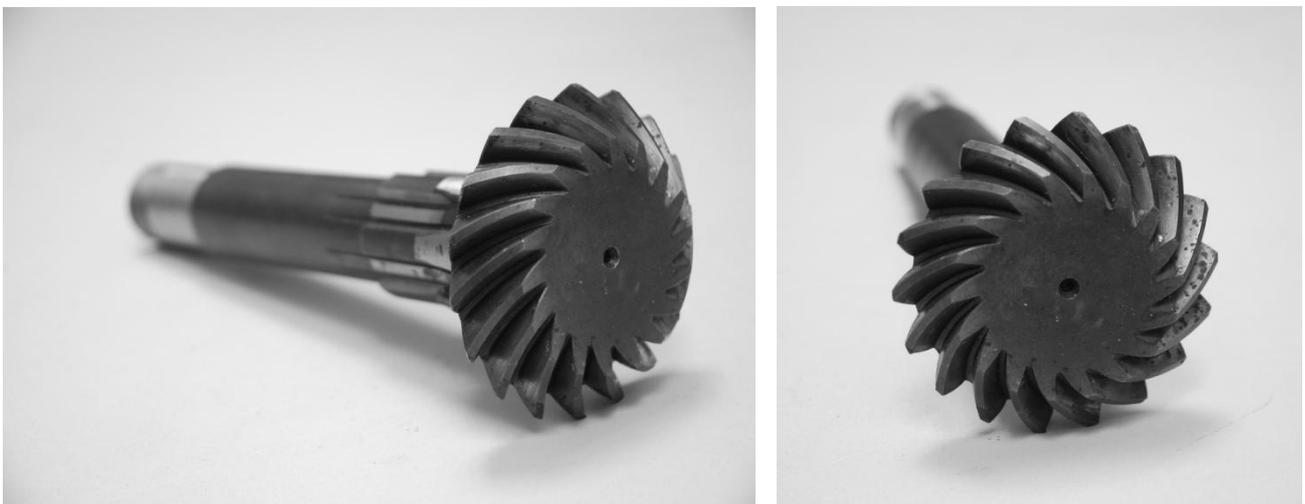


Figure 13 : Outil pignon à denture hélicoïdale, images HHM

2.3 - Avantages et inconvénients

Ce procédé est lent et n'est applicable que pour de petites séries. Il nécessite des opérateurs qualifiés sur des machines spécifiques cependant assez rapides à mettre en œuvre.

L'outil pignon est peu encombrant et ne requiert qu'un faible dégagement pour passer. On ne peut pas usiner des dents de grand module avec des outils pignons car ceci nécessite de très nombreuses passes d'usinage et prend donc beaucoup de temps.

L'usinage de dentures hélicoïdales est réalisable (figure 13). C'est l'un des rares procédés à pouvoir usiner des dentures intérieures (figures 12 et 14).



(a)



(b)

Figure 14 : Usinages de dentures intérieures par outil pignon, images (a) Liebherr [7] et (b) cvmpp [8]

3 – Conclusion

Le taillage des engrenages par génération avec l'outil crémaillère comme avec l'outil pignon n'est utilisé que pour de petites séries, le procédé est lent. La ressource « *Taillage des engrenages par génération, outil fraise-mère* » présente un procédé de taillage par génération adapté aux grandes séries. La ressource « *Taillage des engrenages sans génération* » expose quelques procédés de production sans génération ; enfin la ressource « *Contrôle des engrenages* » permet d'aborder les points de mesure à contrôler.

Références :

- [1]: <http://www.mecagraphic.com/fr/> vidéo <https://www.youtube.com/watch?v=Rm4EU1HknTY>
 - [2]: Etude géométrique des engrenages cylindriques de transmission de puissance, J. Dufailly, Ellipses
 - [3]: <http://www.ferrycapitain.fr/>
 - [4]: vidéo <https://www.youtube.com/watch?v=NDvi2Xz00QI>
 - [5]: Construction mécanique, tome 3, G. Lenormand, R. Mignée, J. Tinel, Foucher
 - [6]: <http://www.star-su.com/>
 - [7]: <https://www.liebherr.com/fr>
 - [8]: <http://www.cvmpp.com/>
- Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>