CHAPITRE VI: OPTIMISATION DES CONDITIONS DE COUPE

I. Introduction

L'optimisation des conditions de coupe consiste à déterminer la vitesse de coupe et l'avance permettant d'assurer une production maximale des pièces conjointe à un prix de revient minimal. Cette optimisation est appliquée dans le cas des fabrications en grande série.

II. Conditions de coupe associées à une production maximale

La production est maximale est assurée lorsque le temps de production d'une pièce est minimale. Ce temps, noté T_p, s'écrit,

$$T_p = t_c + t_a + \frac{t_{ch}}{\left(\frac{T}{t_c}\right)}$$

avec,

t_c : temps de coupe (déterminé suivant l'usinage)

t_a : temps auxiliaire (montage et démontage pièce, prise de passe)

t_{ch} : temps de changement outil. Ce temps doit être réparti sur le nombre des pièces usinées avec le même outil. Si on note T la durée de vie de cet outil, le nombre de pièce usinée par ce même outil sera $\frac{T}{t_c}$.

Dans ce qui suit, on va utiliser le modèle empirique de Gilbert (Taylor généralisé) permettant d'exprimer la durée de vie de l'outil en fonction de l'avance f, la profondeur de passe p et la vitesse de coupe V_c. Le modèle de Gilbert s'écrit,

$$T = C \cdot f^x \cdot p^y \cdot V_c^n$$

avec C, x, y et n sont des constantes.

$$t_c = \frac{l'}{V_f} = \frac{l'}{n \cdot f} = \frac{\pi \cdot D \cdot l'}{1000 \cdot V_c \cdot f}$$

l' : longueur sur laquelle l'outil enlève la matière.

D : Diamètre de la pièce usinée pour le cas de tournage, diamètre de la fraise pour le cas du fraisage et diamètre du foret pour le cas de perçage.

Le temps de production T_p d'une pièce s'écrit,

$$T_p = \frac{\pi \cdot D \cdot l'}{1000 \cdot V_c \cdot f} + t_a + \frac{\pi \cdot D \cdot l'}{1000 \cdot f^{x+1} \cdot p^y \cdot V_c^{n+1}} \cdot t_{ch}$$

Pour une avance f constante, le temps de production d'une pièce est minimal pour une vitesse de coupe optimale V_{co} vérifiant l'équation $\frac{\partial T_p}{\partial V_c} = 0$,

$$V_{co} = \sqrt[n]{\frac{-(n+1) \cdot t_{ch}}{C \cdot f^x \cdot p^y}}$$

La durée de vie optimale de l'outil T_{oV} (correspondante à la vitesse de coupe optimale V_{co}) s'écrit,

$$T_{oV} = -(n+1) \cdot t_{ch} \quad (n < -1)$$

Pour une vitesse de coupe constante, le temps de production est minimal pour une avance optimale f_o vérifiant l'équation $\frac{\partial T_p}{\partial f} = 0$,

$$f_o = \sqrt[x]{\frac{-(x+1) \cdot t_{ch}}{C \cdot p^y \cdot V_c^n}}$$

La durée de vie optimale de l'outil T_{of} (correspondante à l'avance optimale f_o) s'écrit,

$$T_{of} = -(x+1) \cdot t_{ch} \quad (x < -1)$$

Il est impossible de travailler à la fois avec une vitesse de coupe V_{co} et une avance f_o. En effet, ceci est due au fait qu'il faut avoir $T_{oV} = T_{of}$ ce qui est impossible vue qu'on a toujours $x \neq n$.

III. Conditions de coupe associées à un prix de revient minimal

Le prix de revient d'une pièce n'est que le coût total de fabrication relatif à une seule pièce. T, noté. Ce coût, noté P_t , s'écrit,

$$P_t = \frac{\pi \cdot D \cdot l'}{1000 \cdot V_c \cdot f} \cdot P_0 + t_a \cdot P_0 + \frac{\pi \cdot D \cdot l'}{1000 \cdot f^{x+1} \cdot p^y \cdot V_c^{n+1}} P_1 + P_a$$

D et l' sont définis ci-dessous.

P_0 : coût machine par minute.

P_1 : prix de revient d'une arête de coupe.

P_a : coût auxiliaire de lancement de la série ramené à une pièce.

Pour une avance f constante, le prix de revient est minimal pour une vitesse de coupe économique V_{ce} vérifiant l'équation $\frac{\partial P_t}{\partial V_c} = 0$,

$$V_{ce} = \sqrt[n]{\frac{-(n+1) \cdot P_1}{C \cdot f^x \cdot p^y \cdot P_0}}$$

La durée de vie économique de l'outil T_{eV} (correspondante à la vitesse de coupe économique V_{ce}) s'écrit,

$$T_{eV} = -(n+1) \cdot \frac{P_1}{P_0} \quad (n < -1)$$

Pour une vitesse de coupe constante, le prix de revient est minimal pour une avance économique f_e vérifiant l'équation $\frac{\partial P_t}{\partial f} = 0$,

$$f_e = \sqrt[x]{\frac{-(x+1) \cdot P_1}{C \cdot p^y \cdot V_c^n \cdot P_0}}$$

La durée de vie économique de l'outil T_{ef} (correspondante à l'avance optimale f_e) s'écrit,

$$T_{ef} = -(x+1) \cdot \frac{P_1}{P_0} \quad (x < -1)$$

IV. Avance limite

En fonction de la rugosité recherchée et du rayon de bec de l'outil, il existe une avance limite à ne pas dépasser.

V. Vitesse de coupe limite

Pour une puissance de coupe et une avance données, Il existe une vitesse de coupe limite V_l à ne pas dépasser. Cette vitesse est tirée de la formule,

$$V_l = \frac{60 \cdot P_c}{K_s \cdot p \cdot f}$$

VI. Démarche pratique d'optimisation

Dans la pratique on procède comme suit :

- On détermine les temps de coupe, auxiliaire et de changement d'outil.
- On détermine la profondeur de passe maximale.
- On détermine l'avance maximale admissible (en tenant compte de la rugosité recherchée et de du rayon de bec de l'outil).
- On détermine la vitesse de coupe maximale admissible.
- On détermine les vitesses de coupe optimale et économiques.

Deux cas peuvent se présenter :

- $V_{ce} > V_l$, dans ce cas on choisit $V_c = V_l$
- $V_{ce} < V_l$, dans ce cas on dresse les courbes $P_t = f(V_c)$ et $T_t = f(V_c)$ pour $V_{ce} < V_c < V_{co}$.