

Efforts et puissance de coupe

1. Introduction

En usinage par la coupe, la formation du copeau ne peut avoir lieu sans une force requise et par conséquent, une puissance de coupe P_c requise à la broche. Cette dernière est assurée par le moteur électrique de la machine-outil d'une puissance P_m légèrement supérieure compte tenu du rendement mécanique η induit par les pertes par frottement des mécanismes de transmission de mouvements.

La connaissance des efforts de coupe F_c et de la Puissance de coupe P_c s'avère très utile car elle permet :

- Le dimensionnement des montages d'usinage
 - Le contrôle du serrage de la pièce et de l'outil
 - Le choix de la machine-outil par rapport au critère de puissance P_m
 - Le contrôle et la régulation des paramètres de coupe pour une meilleure adaptation du régime de coupe.
- Dans le cas où la possibilité de choix de la puissance de la machine il faut calculer P_c et prendre celle dont $P_m \geq P_c/\eta$.
 - Dans le cas où la possibilité de choix de la MO n'est pas offerte, il y a lieu de modifier les paramètres de coupe afin d'aboutir à la relation $P_c \leq P_m \cdot \eta$

2. Les composantes de l'effort de coupe

Dans l'exemple d'une opération de chariotage sur tour, l'effort de coupe peut être décomposé suivant les trois directions principales

Ce qui donne :

- F_t : Effort tangentiel en direction du mouvement de coupe
- F_a : Effort axial en direction du mouvement d'avance
- F_r : Effort radial en direction du mouvement de pénétration

La répartition est variable selon le genre d'outil et sa configuration géométrique.

Approximativement, elle est estimée à :

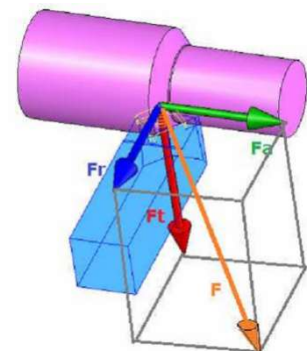
$$\bullet F_a = (0,3-0,6) * F_t$$

$$\bullet F_r = (0,1-0,4) * F_t$$

La résultante serait alors :

$$F = \sqrt{(0.45 \cdot F_t)^2 + (0.25 \cdot F_t)^2 + (F_t)^2}$$

$$F = 1.2 * F_t \approx F_t$$



Par rapport à la valeur, on assimile doc F à F_t

3. Paramètres d'influence

Les paramètres d'influence sur les efforts de coupe sont très nombreux mais les plus importants sont :

- le procédé de coupe (tournage, fraisage, perçage,...)
- la nature du métal à usiner (caractérisé par R_t ou K_s)
- l'avance f (mm/tr.dent) ou l'épaisseur du copeau hm
- la profondeur de passe a (mm)
- le type d'outil défini par l'angle d'attaque K_r
- l'angle de coupe γ

D'autres paramètres sont susceptibles d'influence plus ou moins nuancée (lubrification, état de l'outil.)

Malgré l'influence de la vitesse de coupe sur l'effort, elle n'est prise en compte que dans le calcul de la puissance du fait que l'on ne dispose pas d'un grand choix (page réduite). Néanmoins il faut éviter le domaine de l'apparition de l'arête rapportée.

4. Calcul des efforts et puissances de coupe

a. Première approche

Comme première approche pour la détermination des efforts de coupe, il a été retenu le modèle basé sur la section du copeau et la résistance à la rupture par traction du matériau de la pièce suivant :

$$F_c = K \cdot S_c \cdot R_t$$

Avec F_c : Effort de coupe (en N)

S_c : Section du copeau (en mm^2)

R_t : Résistance du métal à usiner (en N/mm^2)

K : Coefficient spécifique de coupe

$K = 2,5$ à 4 pour les Aciers

$K = 4$ à 5 pour les Fontes

Exemple : Le chariotage d'une pièce en acier C38 avec $a=4\text{mm}$;

$f=0,3\text{mm/tr}$ et $V_c=32\text{m/min}$ donne les résultats suivants :

$$F_c = 3,25 \cdot 650 \cdot 4 \cdot 0,3 = 1950 \cdot 4 \cdot 0,3 = 2730 \text{ N}$$

$$P_c = F_c \cdot V_c / 60 \cdot 1000 = 2730 \cdot 32 / 60000 = 1,46 \text{ kW}$$

Remarque : Le modèle n'est pas assez satisfaisant en raison de l'usage de la caractéristique de résistance à la traction.

b. Deuxième approche

Afin de minimiser l'erreur sur F_c due à l'usage de la caractéristique de résistance du matériau de la pièce, il a été retenu le modèle basé sur la section du copeau (ou section de coupe) et un coefficient spécifique de coupe :

$$F_c = K_s * S_c = K_s * a * f$$

avec :

- F_c : Effort de coupe (en daN)
- S_c : Section du copeau, $S_c = a * f$ (en mm^2)
- K_s : Coef spécifique de coupe (en daN/mm^2)

Le facteur K_s est déterminé expérimentalement par une série d'essais, il dépend essentiellement de la nature du matériau à usiner mais peut aussi être mis en relation de dépendance avec d'autres facteurs de coupe (tel que l'avance f , l'épaisseur du copeau hm et aussi l'angle de coupe γ). Il est indispensable de relever avec précision la valeur de K_s pour chaque type de matériau et aussi pour chaque procédé de coupe expérimenté.

- Cas du Tournage

Le tableau ci-dessous donne la valeur de K_s en daN/mm^2 en fonction de la nature du matériau à usiner et de la valeur de l'avance f .

La formule de calcul de F_c est comme suit :

$$F_c = K_s * f * a \quad (\text{daN})$$

On peut aussi calculer la puissance de coupe selon le modèle suivant :

$$P_c = \frac{K_s * 10 * f * a * V_c}{60 * 1000} \quad (\text{kW})$$

Pour l'exemple précédemment traité, on aura :

$$K_s = 200 \text{ daN}/\text{mm}^2$$

$$F_c = 2000 * 0,3 * 4 = 2400 \text{ N}$$

$$P_c = 2400 * 32 / 60000 = 1,2 \text{ kW}$$

		Ks (en daN/mm ²)		avance f (mm/tr)	
		0,1	0,2	0,4	0,8
Matière à usiner		0,1	0,2	0,4	0,8
Aciers Ordinaires	E26 - A33	360	260	190	140
	E36	400	290	210	150
	A60	420	300	220	160
	A70	440	315	230	165
Aciers fins pour TT	XC38 - XC42	320	230	170	125
	XC55 - XC65	360	260	190	140
	XC70	390	285	205	150
Aciers spéciaux	au Mn	470	340	245	180
	au Ni,Cr	500	360	260	185
	au Cr,Mo	530	380	275	200
	Inox	520	375	270	190
Fontes	Ft10-Ft 15	190	136	100	70
	Ft20-Ft25	290	210	150	110
	Fonte alliée	325	230	170	120
	Fonte malléable	240	175	125	90
Alliages de Cuivre	Laiton	160	115	85	60
	Bronze	340	245	180	130
Alliages d'Aluminium	avec Si < 13%	140	100	70	50
	de moulage (R < 19)	115	85	60	45
	... (19 < R < 27 hbar)	140	100	70	50
	... (27 < R < 37 hbar)	170	122	85	65

- **Cas du Perçage**

La décomposition de l'effort de coupe donne :

- Deux forces tangentielles F_c sur les deux lèvres et qui génèrent un moment M_t
- Deux forces radiales F_r opposées qui s'annulent en cas de symétrie parfaite.
- Deux forces axiales F_a qui s'ajoutent pour donner une poussée axiale $FA=2* F_a$

On estime :

$$FA=ks * f * d$$

FA (en N), f (en mm/tr) et d (en mm)

ks est donné par la table (en N/mm²)

La puissance de coupe est :

$$Pc=Ks * f * d * Vc / 1000 \text{ (en kW)}$$

Ks , donné par la table (en N/mm²).

On peut aussi déduire le couple C ,

le Moment Mc et la Force Fc .

Matière à usiner	Ks	ks
Acier R<60 hbar	11	1000
Acier R>60 hbar	11,5	1200
Inox	15	1300
Acier au Ni, Cr	14	900
Acier au Cr, Mo	13	1600
Fontes grises	8	700
Fontes GS	7,5	1100
Laiton U-Z10	3,5	800
Alliages d'Aluminium	5	850

- **Cas du Fraisage (d'après Cetim-Sandvik)**

Dans ce cas on peut estimer la puissance de coupe par le produit de la section latérale de coupe (a_e, a_p) avec la vitesse d'avance V_f et un coefficient spécifique de coupe déterminé expérimentalement.

$$Pc = Ks * l * a * Vf = Ks * l * a * f * z * N$$

Ce qui donne en Watt :

$$Pc = \frac{Ks * l * a * f * z * Vc * 1000}{\pi * D}$$

La relation de calcul est valable pour le fraisage de bout et le fraisage de profil en roulant, le coefficient Ks est légèrement différent entre l'un et l'autre.

Ceci pour un outil neuf, pour un outil usé, il faut estimer une part de 25% en plus.

Matière à usiner	fraisage	
	de bout	roulant
Acier $R < 60$ hbar	0,050	0,055
Acier $60 < R < 110$	0,060	0,070
Acier $R > 110$ hbar	0,080	0,110
Fonte Ft20	0,035	0,040
Fonte Ft35	0,055	0,065
Bronze U-E9P	0,035	0,040
Alliages légers	0,017	0,020

