

## 5. Calcul des temps de coupe

### 5. 1. Prix de revient et de vente

D'autres ouvrages sont plus spécialisés pour traiter ce chapitre; mais, pour aborder le **calcul du temps de coupe** qui suit, il est indispensable de jeter un regard sur cette théorie pour faire comprendre qu'un prix n'est pas fixé sans une étude complexe nécessitant une grande expérience et des connaissances étendues. Le calcul du temps de coupe n'est qu'un élément parmi beaucoup d'autres.

Dans le **prix de revient PR** doivent être considérées toutes les dépenses qu'exige la fabrication d'un objet. Ces dépenses sont multiples et de différents ordres:

- le coût des matières premières
- le prix de fabrication (main-d'œuvre ayant participé à la fabrication du produit)
- les frais généraux

Les frais généraux sont nombreux et différents suivant la grandeur et le type d'entreprise; certains sont fixes, d'autres variables. Souvent, ils sont subdivisés en catégories pour permettre de déterminer, ajoutés aux autres frais (matière première, fabrication, etc.), le prix de revient industriel et le prix de revient global d'un produit.

Frais généraux habituels: le loyer; les intérêts des capitaux engagés; les impôts divers; les amortissements des bâtiments, des machines, des installations; l'outillage; les assurances; les salaires du personnel ne participant pas à la fabrication; les traitements des cadres; les charges sociales; les frais de transport; les frais d'administration; les frais d'entretien; l'eau; l'électricité; les fournitures diverses, etc.

Le **prix de vente PV** est le montant que paie l'acheteur; il comprend: le prix de revient plus un certain pourcentage du prix de revient. Ce pourcentage ajouté au **PR** est appelé **risques et bénéfices** et varie de 10 à 25% suivant qu'il s'agit d'un produit important et de grande fabrication ou de petite fabrication, donc:

$$PV = PR + 10 \text{ à } 25\% \text{ de } PR$$

### 5. 3. Tournage

#### Calcul du temps de coupe

Nous étudierons les 3 opérations principales pouvant être exécutées:

#### le tournage cylindrique et l'alésage

#### le dressage des faces

#### le filotage

En premier lieu, il faut déterminer combien de tours sont nécessaires pour effectuer l'opération d'usinage et, pour cela, il faut diviser la longueur de l'opération d'usinage totale  $L$  par l'épaisseur du copeau enlevé à chaque tour  $s$ ; donc:

Nb. de tours pour réaliser la pièce =  $\frac{L}{s}$   
et, en tenant compte du nombre de passes  $i$ , nous avons:

$$\frac{L}{s} \cdot i$$

Le nombre de tours total pour effectuer la pièce étant connu, il est aisé de calculer le temps nécessaire par cette opération, le nombre de tours de la broche étant donné à la minute.

$$T_c = \frac{\text{Nb. de tr pour réaliser la pce}}{\text{Nb. de tr que fait la pce en 1 min.}}$$

$$T_c = \frac{\frac{L}{s} \cdot i}{n} = \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

- $L$  = longueur de l'opération d'usinage plus approche et dégagement de l'outil
- $i$  = nombre de passes pour l'usinage total
- $s$  = avance ou épaisseur du copeau enlevé par tour
- $v$  = vitesse de coupe en [m/min]
- $d$  = diamètre de tournage en [mm]
- $n$  = nombre de tours de la pièce en [tr/min]

### 5. 2. Temps de fabrication

Ce temps comprend:

#### 5. 2. 1. Le temps de préparation $T_p$

Lecture des dessins, mise en place de l'outillage, préparation de la machine, etc.; il ne se compte qu'une seule fois pour les petites séries.

#### 5. 2. 2. Le temps de manutention $T_m$

Mise en place de la pièce, le serrage, le réglage, les mesures, le contrôle. A considérer pour chaque pièce.

#### 5. 2. 3. Le temps de coupe $T_c$

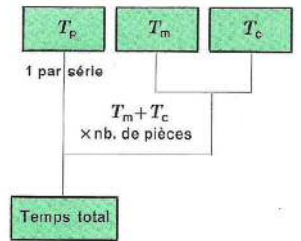
Le temps nécessaire à l'usinage de la pièce; il dépend de la vitesse de coupe, de l'avance et du nombre de passes. Ces valeurs varient suivant les matières et les machines utilisées et du degré de finition désiré.

#### Remarque

Bien entendu, il faut aussi déterminer si la pièce nécessite pour sa fabrication une ou plusieurs opérations d'usinage. Un plan d'opérations seul permet une calcul du temps de fabrication correct. Les solutions sont nombreuses et dépendent également du genre de machines utilisées et de l'organisation de l'atelier.

Les temps précalculés sont pratiquement toujours contrôlés par chronométrage.

Dans cet ouvrage, seul le calcul du temps de coupe sera étudié.



#### Exemple N° 1

- $L = 100 \text{ mm}$
- $s = 1 \text{ mm/tr}$
- $i = 2 \text{ passes}$
- $n = 100 \text{ tr/min}$

#### Solution

$$T_c = \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = \frac{100 \times 2}{1 \times 100} = 2 \text{ min}$$

En usinage, on indique la vitesse de coupe et non pas le nombre de tours de la pièce. Mais, connaissant le diamètre de la pièce et la vitesse de coupe, il est facile de déterminer le nombre de tours en appliquant les lois du mouvement circulaire uniforme:

$$v = \pi \cdot d \cdot n \text{ d'où } n = \frac{v}{\pi d}$$

Mais, comme il s'agit d'un cas particulier de la vitesse circonférentielle  $v$ , les unités utilisées étant toujours les mêmes, soit:

- $d$  en [mm]
- $v$  en [m/min]
- $n$  en [tr/min]

on peut admettre pour accorder les unités de longueur:

$$\text{Vitesse de coupe } v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$\text{d'où } n = \frac{v \cdot 1000}{\pi d}$$

Donc, en remplaçant  $n$  par  $\frac{v \cdot 1000}{\pi d}$

nous avons pour le calcul du temps de coupe  $T_c$ :

$$T_c = \frac{L \cdot i}{s \cdot \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d}} = \frac{L \cdot i \cdot \pi \cdot d}{s \cdot v \cdot 1000}$$

Donc il est possible d'appliquer

$$T_c = \frac{L \cdot i}{s \cdot n} \quad n \text{ étant connu}$$

en introduisant le calcul de  $n$

$$T_c = \frac{L \cdot i \cdot \pi \cdot d}{s \cdot v \cdot 1000}$$

Pour simplifier, nous n'utiliserons par la suite que

$$T_c = \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

5. 3. 1. Tournage cylindrique

Les formules développées sont directement applicables sans difficulté.

Exemple N° 2

Calculer le temps de coupe pour ébaucher une pièce en une passe. Diamètre de tournage, 140 mm. Longueur totale de l'opération d'utilisation, y compris l'approche et le dégagement de l'outil, 330 mm. Vitesse de coupe, 70 m/min. Avance, 0,3 mm/tr.

Solution

a) Avec la première formule

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{70 \times 1000}{\frac{22}{7} \times 140} = \frac{70 \times 1000 \times 7}{22 \times 140} = 159 \text{ tr/min}$$

n étant connu:

$$T_c = \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = \frac{330 \times 1}{0,3 \times 159} = 6,9 \text{ min} = 6 \text{ min } 54 \text{ s}$$

b) Avec la deuxième formule

$$T_c = \frac{L \cdot i \cdot \pi \cdot d}{s \cdot v \cdot 1000} = \frac{330 \times 1 \times \frac{22}{7} \times 140}{0,3 \times 70 \times 1000} = \frac{330 \times 1 \times 22 \times 140}{0,3 \times 70 \times 7 \times 1000} = 6,9 \text{ min} = 6 \text{ min } 54 \text{ s}$$

Exemple N° 3

Déterminer le temps de coupe pour tourner un arbre de 90 mm de diamètre sur une longueur de 180 mm. La barre brute a un diamètre de 100 mm. L'approche et le dégagement de l'outil sont au total de 10 mm. Le tournage doit s'effectuer en deux passes avec une avance de 0,5 mm/tr et une vitesse de coupe de 20 m/min.

Solution

a)  $L = 180 + 10 = 190 \text{ mm}$   
 $n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{20 \times 1000}{3,14 \times 100} = 64 \text{ tr/min}$   
 $T_c = \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = \frac{190 \times 2}{0,5 \times 64} = 12 \text{ min}$

b)  $T_c = \frac{L \cdot i \cdot \pi \cdot d}{s \cdot v \cdot 1000} = \frac{190 \times 2 \times \pi \times 100}{0,5 \times 20 \times 1000} = 12 \text{ min}$

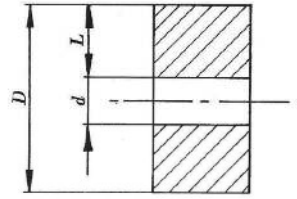


Fig. 1

5. 3. 2. Dressage des faces, tronçonnage

Les formules générales sont applicables, mais il faut déterminer différemment la longueur de tournage L:

$$L = \frac{D-d}{2} + \text{surépaisseur de matière, approche et dégagement de l'outil.}$$

D'autre part, la vitesse de coupe doit être choisie en fonction du diamètre moyen  $d_m$ :

$$d_m = \frac{D+d}{2}$$

Si la différence entre D et d est trop grande, on adoptera la vitesse de coupe prise sur le diamètre extérieur pour éviter toute surprise.

Exemple N° 4

Calculer le temps nécessaire à l'outil pour dresser les faces d'une couronne ayant 50 dents au module 6. Alésage 180 mm, et pour chaque face on dresse en 2 passes d'ébauche et 1 passe de finition.

Ebauche:  $v = 150 \text{ m/min}$   
 $s = 0,3 \text{ mm/tr}$

Finition:  $v = 200 \text{ m/min}$   
 $s = 0,1 \text{ mm/tr}$

Solution

$d_a$  = diamètre extérieur

$$d_a = d + 2m \text{ ou } m(z+2)$$

$$d_a = m(z+2) = 6(50+2) = 312 \text{ mm}$$

$$L = \frac{D-d}{2} = \text{approche et dégagement de l'outil de } 4 \text{ mm}$$

$$L = \frac{312-180}{2} + 4 = 70 \text{ mm}$$

$$d_m = \frac{D+d}{2} = \frac{312+180}{2} = 246 \text{ mm}$$

$T_c$  ébauche

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{150 \times 1000 \times 7}{22 \times 246} = 194 \text{ tr/min}$$

$$T_c = \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

et, comme il y a deux faces à dresser:

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = 2 \times \frac{70 \times 2}{0,3 \times 194} = 4,8 \text{ min}$$

$T_c$  finition

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{200 \times 1000 \times 7}{22 \times 246} = 258 \text{ tr/min}$$

$$T_c = \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

et, comme il y a deux faces à dresser:

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = 2 \times \frac{70 \times 1}{0,1 \times 258} = 5,4 \text{ min}$$

$$T_c \text{ total} = 4,8 + 5,4 = 10,2 \text{ min}$$

Exemple N° 5

Combien de temps faut-il pour dresser la face d'un flasque en deux passes si:

$$D = 220 \text{ mm}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$s = 0,6 \text{ mm/tr}$$

$$v = 18 \text{ m/min}$$

Solution

$$L = \frac{D-d}{2} + \text{approche et dégagement de l'outil}$$

$$L = \frac{220-150}{2} + 5 = 40 \text{ mm}$$

$$d_m = \frac{D+d}{2} = \frac{220+150}{2} = 185 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{18 \times 1000}{3,14 \times 185} = 31 \text{ tr/min}$$

$$T_c = \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = \frac{40 \times 2}{0,6 \times 31} = 4,3 \text{ min}$$

5. 3. 3. Filetage

Il faut tenir compte du retour de l'outil et augmenter le temps de coupe  $T_c$  de 100%. Si le tour est équipé d'un retour rapide, le supplément ne sera que de 75%; nous avons alors:

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot i}{s \cdot n} \text{ ou encore}$$

$$T_c = 1,75 \cdot \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

L'avance s est égale au pas du filet et a même valeur pour l'ébauche et la finition.

Le nombre de passes est de 6 à 14 pour l'ébauche et de 3 à 7 pour la finition, ceci dépendant de la grandeur du filet.

Les vitesses de coupe sont très variables suivant qu'il s'agit d'un filetage long et bien dégagé ou d'un filetage court, borgne ou mal dégagé. Dans le premier cas, la vitesse sera bien supérieure au deuxième cas, où celle-ci sera faible. Le tableau N° 1 donne ces vitesses.

On admet aussi une avance S exprimée en mm/min qui s'obtient en multipliant le pas p par le nombre de tours à la minute n

$$S = p \cdot n$$

Pour un filetage long et bien dé-S jusqu'à 500 mm/min gagé

Pour un filetage court, borgne ou S jusqu'à 60 mm/min mal dégagé

Si on doit exécuter un filetage court, borgne ou mal dégagé, il faut préalablement déterminer le nombre de tours admissible en se basant sur une avance de 60 mm/min, puis contrôler si la vitesse de coupe convient.

$$n = \frac{60}{p}$$

Exemple N° 6

Un bouchon en acier doit être fileté intérieurement sur une profondeur de 25 mm à M30x2.

Calculer le temps de coupe si on compte 10 passes d'ébauche et 5 passes de finition avec une approche de l'outil de 10 mm.

Solution

$$n \text{ admissible} = \frac{60}{p} = \frac{60}{2} = 30 \text{ tr/min}$$

$$L = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

$$i = 10 + 5 = 15 \text{ passes}$$

Temps total de coupe

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = 2 \cdot \frac{35 \times 15}{2 \times 30} = 17,5 \text{ min}$$



5. 4. 1. Perçage ordinaire

Le temps de coupe doit:

a) comprendre un temps supplémentaire de 10% pour tenir compte des nombreux dégagements de l'outil;

b) se calculer avec une longueur  $L$  obtenue par l'addition de la profondeur du trou, la hauteur de la pointe de la mèche qui est de  $0,3 d$  et la distance d'approche de l'outil, soit  $0,2 d$ ; donc  $L = \text{profondeur du trou} + 0,5 d$ ;

c) considérer que  $i$  ne représente plus le nombre de passes, mais le nombre de trous de même diamètre et de même profondeur.

On peut écrire, compte tenu des remarques ci-dessus:

$$T_c = 1,1 \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

Exemple N° 8

Calculer le temps de coupe pour percer 8 trous de 40 mm de diamètre et 35 mm de profondeur dans une plaque de fonte Ft 20. Vitesse de coupe 15 m/min.

$s = 0,10$  mm/tr pour le perçage de 14 mm et  $0,20$  mm/tr pour le perçage de 40 mm

Solution

Perçage  $\varnothing 14$  mm

$$s = 0,1 \text{ mm/tr}$$

$$L = \text{profondeur du trou} + 0,5 d$$

$$L = 35 + 0,5 \times 14 = 42 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{15 \times 1000 \times 7}{22 \times 14} = 340 \text{ tr/min}$$

$$T_c = 1,1 \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = 1,1 \frac{42 \times 8}{0,1 \times 340} = 10,9 \text{ min}$$

Perçage  $\varnothing 40$  mm

$$s = 0,2 \text{ mm/tr}$$

$$L = \text{profondeur du trou} + 0,5 d$$

$$L = 35 + 0,5 \times 40 = 55 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{15 \times 1000 \times 7}{22 \times 40} = 120 \text{ tr/min}$$

$$T_c = 1,1 \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = 1,1 \frac{55 \times 8}{0,2 \times 120} = 20,1 \text{ min}$$

$$T_c \text{ total} = 10,9 + 20,1 = 31 \text{ min}$$

Exemple N° 9

Calculer le temps de coupe pour percer 6 trous  $\varnothing 10$  mm de 20 mm de profondeur dans de l'aluminium.

$$v = 60 \text{ m/min}$$

$$s = 0,1 \text{ mm/tr}$$

Solution

$$L = \text{profondeur du trou} + 0,5 d$$

$$L = 20 + 0,5 \times 10 = 25 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{60 \times 1000 \times 7}{22 \times 10} = 1910 \text{ tr/min}$$

$$T_c = 1,1 \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = 1,1 \frac{25 \times 6}{0,1 \times 1910} = 0,86 \text{ min}$$

5. 4. 3. Taraudage

Pour le temps de coupe au taraudage, il faut tenir compte du retour de l'outil; c'est pourquoi on écrit la formule générale précédée du coefficient 2.

$$T_c = 2 \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

D'autre part, la longueur  $L$  ne sera pas calculée de la même manière s'il s'agit d'un trou traversant ou d'un trou borgne.

Pour les trous traversants

$$L = \text{longueur du taraudage} + \text{diamètre du taraud}$$

Pour les trous borgnes

$$L = \text{longueur du taraudage}$$

$i = 1$  lorsque le taraudage se fait à la machine et qu'un seul taraud est utilisé

$s =$  l'avance est égale au pas du taraudage

$$T_c = 2 \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

Exemple N° 11

Déterminer le temps de coupe pour effectuer, à la machine, 3 taraudages M 16 de 15 mm de profondeur dans une plaque en acier 70-2. Trous borgnes.

Solution

$$L = \text{longueur du taraudage} = 15 \text{ mm}$$

$$i = 1 \text{ (taraud machine)}$$

$$s = 2 \text{ mm}$$

$$v = 6 \text{ m/min}$$

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{6 \times 1000}{22 \times 16} = 120 \text{ tr/min}$$

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = 2 \cdot \frac{15 \times 1}{2 \times 120} = 0,125 \text{ min}$$

$$T_c \text{ total pour 3 taraudages} = 0,125 \text{ min} \times 3 = 0,375 \text{ min}$$

5. 4. 2. Alésage

Le temps de coupe se calcule exactement de la même manière que pour le perçage ordinaire, mais avec une autre estimation pour  $L$ ; donc:

— temps supplémentaire de 10% à ajouter pour le retour de l'outil

—  $L =$  profondeur du trou plus la valeur du diamètre  $d$  de l'outil pour l'approche et le dégagement

—  $i =$  nombre de trous

—  $s$  voir tableau N° 4

$$T_c = 1,1 \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

Exemple N° 10

Calculer le temps de coupe pour aléser à la machine 5 trous de 60 mm de diamètre dans une plaque en acier Ac 50-2 de 30 mm d'épaisseur.

Solution

$$L = 30 + 60 = 90 \text{ mm}$$

$$s = 0,8 \text{ mm/tr}$$

$$v = 4 \text{ m/min}$$

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{4 \times 1000 \times 7}{22 \times 60} = 21 \text{ tr/min}$$

$$T_c = 1,1 \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = 1,1 \frac{90 \times 5}{0,8 \times 21} = 29,4 \text{ min}$$

5. 5. Fraisage

Seules les trois opérations principales exécutées sur une fraiseuse sont étudiées dans ce chapitre:

a) le fraisage en général (fraise en bout, tête de fraisage)

b) le fraisage tangentiel (rainures, pignons)

c) le fraisage des filets

Par exemple, pour le fraisage des rainures de clavette (fraises en bout), on considère en général pour un acier de 600 N/mm<sup>2</sup>

$$v = 20 \text{ m/min}$$

$$s = \text{avance par dent } 0,01 \text{ à } 0,05 \text{ mm}$$

$$S = \text{avance de la table de } 50 \text{ à } 70 \text{ mm/min}$$

Le tableau N° 5 donne les vitesses de coupe et les avances moyennes pour les têtes de fraisage, les fraises cloches et les fraises rouleaux.

Pour le fraisage des rainures en T, la vitesse de coupe  $v$  et l'avance de la table  $S$  sont choisies en fonction de la matière et de la grandeur de la fraise; en général, on adopte pour un acier de 600 N/mm<sup>2</sup>

$$v = 16 \text{ m/min}$$

$$S = 20 \text{ à } 30 \text{ mm/min}$$

Fraisage - Vitesses de coupe et avance avec outils en acier rapide					
Matière	Résistance à la traction N/mm <sup>2</sup>	Vitesse $v$ en m/min		Avance $S$ en mm/min	
		Ebauche	Finition	Ebauche	Finition
Acier jusqu'à	600	18	22	100	60
Acier de	600 à 800	16	20	75	50
Acier de	800 à 1100	14	17	50	40
Ft 20	200	20	24	120	60
Cu Zn / Cu Sn	400	35-40	40-50	160-170	110-120
Al-Mg-Si	100	100-150	200-250	150	90

Tableau N° 5

5. 5. 1. Fraisage en général

On détermine  $L$  pour ce type de fraisage (avec tête de fraisage, fraise cloche, fraise en bout, etc.), de la manière suivante:

- $x$  entrée de l'outil  $\approx 5$  mm
- $y$  dégagement de l'outil  $\approx 5$  mm donc

$$L = \frac{d}{2} + x + L_g \text{ pièce} + y$$

$i$  = nombre de passes

$S$  = l'avance de la table en [mm/min]

En général, l'avance  $S$  de la table est donnée en [mm/min]; mais on peut considérer aussi l'avance par dent  $s$ , le nombre de dents  $z$  et le diamètre de la fraise  $d$  pour le calcul du nombre de tours en connaissant la vitesse de coupe  $v$  (voir tableau N° 5). Après le calcul de  $n$  (nombre de tours), on peut déterminer l'avance  $S$  facilement:

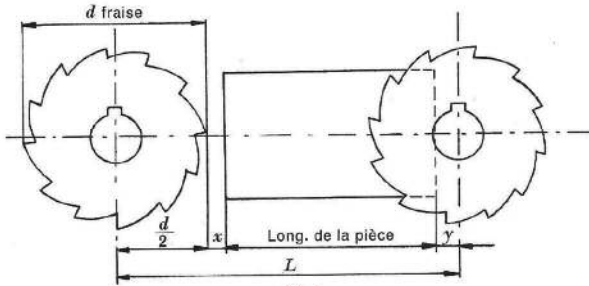


Fig. 2

$$S = s \cdot z \cdot \pi$$

et pour le temps de coupe

$$T_c = \frac{L \cdot i}{S}$$

Exemple N° 12

Calculer le temps de coupe pour fraiser 2 faces (ébauche) d'une pièce de 150 mm de longueur à l'aide d'une fraise cloche de 80 mm de diamètre.

$$i = 2 \quad S = 75 \text{ mm/min}$$

Solution

$$L = \frac{d}{2} + x + L_g \text{ pièce} + y$$

$$L = \frac{80}{2} + 5 + 150 + 5 = 200 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{L \cdot i}{S} = \frac{200 \times 2}{75} = 5,3 \text{ min}$$

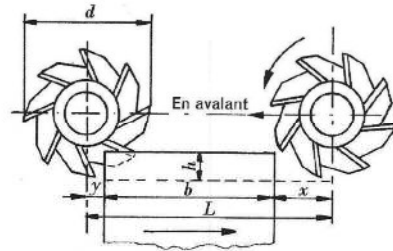


Fig. 3

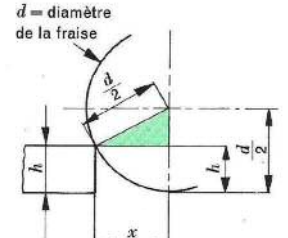


Fig. 4a

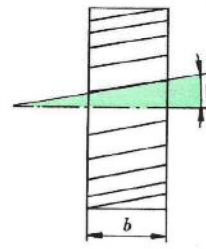


Fig. 4

Origine de la formule:

$$x = \sqrt{h \cdot d - h^2}$$

$$x^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2} - h\right)^2$$

$$x = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2} - h\right)^2}$$

$$x = \sqrt{\frac{d^2}{4} - \left(\frac{d^2}{4} - 2 \cdot \frac{d}{2} \cdot h + h^2\right)}$$

$$x = \sqrt{d \cdot h - h^2} = \sqrt{h \cdot d - h^2}$$

5. 5. 2. Fraisage tangentiel

Pour déterminer  $L$ , il faut considérer la longueur selon figure 3. En général, on taille en deux ou trois passes (1 ou 2 d'ébauche et 1 de finition) les dentures des roues de modules 1 à 5 mm. Si la denture est inclinée, il faut en tenir compte; voir figure 4.

$b$  = longueur de la pièce

$L = b + \text{entrée} + \text{dégagement}$  (fraisage droit)

$L = \frac{b}{\cos \beta} + \text{entrée} + \text{dégagement}$  (fraisage incliné)

Pour l'entrée de l'outil, nous admettons  $x$ , et pour le dégagement de l'outil nous admettons  $y$ .

$$x = \sqrt{h \cdot d - h^2}$$

$$y = 5 \text{ mm}$$

$$L = \frac{b}{\cos \beta} + \sqrt{h \cdot d - h^2} + 5 \text{ mm}$$

$h$  = profondeur de fraisage

$i$  = nombre de passes

$z$  = nombre de dents

$S$  = avance de la table

$$T_c = z \cdot \frac{L \cdot i}{S}$$

Exemple N° 13

Calculer le temps de coupe pour tailler en une passe d'ébauche et une passe de finition, à l'aide d'une fraise de 60 mm de diamètre, une roue dentée de 60 dents au module 1 ayant une denture inclinée à 30° et une largeur de 15 mm (acier 600 N/mm<sup>2</sup>).

$$i = 2 \text{ (1 ébauche + 1 finition)}$$

$$z = 60 \text{ dents}$$

$$S = 75 \text{ mm/min ébauche}$$

$$50 \text{ mm/min finition}$$

Solution

Profondeur de la denture

$$h = 2,25 \text{ m} = 2,25 \times 1 = 2,25 \text{ mm}$$

$$L = \frac{b}{\cos \beta} + \sqrt{h \cdot d - h^2} + y$$

$$L = \frac{15}{\cos 30^\circ} + \sqrt{2,25 \times 60 - 2,25^2} + 5$$

$$L = \frac{15}{0,866} + \sqrt{135 - 2,25^2} + 5$$

$$L = 17,3 + 11,4 + 5 = 33,7$$

admis à 34 mm

$T_c$  ébauche

$$T_c = z \cdot \frac{L \cdot i}{S} = 60 \cdot \frac{34 \times 1}{75} = 27,2 \text{ min}$$

$T_c$  finition

$$T_c = z \cdot \frac{L \cdot i}{S} = 60 \cdot \frac{34 \times 1}{50} = 40,8 \text{ min}$$

$$T_c \text{ total} = 27,2 + 40,8 = 68 \text{ min}$$

5. 5. 3. Fraisage de filets

Pour  $L$ , on prend la longueur totale de fraisage qui est égale à la longueur développée du filet plus l'entrée et le dégagement de la fraise. Pour calculer la longueur développée du filet sur un pas  $p$ , on appliquera le théorème de Pythagore.

$i$  = nombre de passes

$z$  = nombre de filets

$d$  = diamètre du filetage

$b$  = longueur du filetage

$l$  = longueur développée d'un pas

$l'$  = longueur développée du filetage

$$l = \sqrt{(\pi \cdot d)^2 + p^2}$$

ou, si l'angle est connu,

$$l = \frac{p}{\sin \gamma}$$

La longueur développée du filetage est

$$l' = l \cdot \frac{\text{longueur du filetage } b}{p}$$

$L = l' + \text{approche et dégagement de la fraise}$

$$T_c = z \cdot \frac{L \cdot i}{S}$$

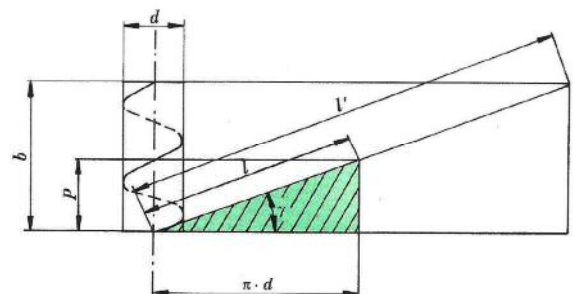


Fig. 5

**Exemple N° 14**

Calculer le  $T_c$  pour fraiser en 4 passes une vis à 2 filets de 120 mm de longueur et 80 mm de diamètre. Le pas axial  $p_x$  a 30 mm et l'avance de la table  $S$  est de 60 mm/min. Approche et dégagement de l'outil, 84 mm.

**Solution**

Pas de l'hélice  $p_z = 2 \times 30 = 60$  mm

Longueur développée d'un pas

$$l = \sqrt{(\pi \cdot d)^2 + p_z^2} = \sqrt{(3,14 \times 80)^2 + 60^2}$$

$$l = \sqrt{63101 + 3600} \approx 258 \text{ mm}$$

Longueur développée du filetage

$$l' = l \cdot \frac{b}{p_z} = 258 \times \frac{120}{60} = 516 \text{ mm}$$

Longueur du fraisage  $L$

$$L = l' + \text{approche et dégagement}$$

$$L = 516 + 84 = 600 \text{ mm}$$

$$T_c = z \cdot \frac{L \cdot i}{S} = 2 \cdot \frac{600 \times 4}{60} = 80 \text{ min}$$

$$T_c = 1 \text{ h } 20 \text{ min}$$



**5. 6. Rabotage**

Le temps de coupe sur les raboteuses et les étaux limeurs se calcule selon le même principe que pour les opérations d'usinage déjà étudiées. Toutefois, le mouvement de l'outil étant rectiligne sur des pièces fixes, la valeur de  $\pi$  n'entre pas en considération.

Nous avons:

$l$  = longueur de la pièce

$L$  = longueur de rabotage ( $l + 50$  à  $100$  mm)

$b$  = largeur de la pièce

$b'$  = largeur de la pièce + 5 à 10 mm

$s$  = avance par course aller et retour

$i$  = nombre de passes

$n$  = nombre de courses aller et retour par min

$v_1$  = vitesse de coupe aller

$v_2$  = vitesse de retour

$v_m$  = vitesse moyenne

Les vitesses de coupe généralement admises au rabotage sont égales ou inférieures aux vitesses d'ébauche données pour le tournage sur les tableaux N°s 1-2-3.

Pour des machines de capacité moyenne, la profondeur de passe varie de 1 à 8 mm.

L'avance pour l'ébauche est de 1 mm et de 0,2 à 0,5 mm pour la finition. Si l'on utilise des burins pelles avec une profondeur de passe faible, l'avance sera de 2 à 10 mm par course aller et retour.

Les vitesses aller et retour étant différentes, il est nécessaire d'établir la vitesse moyenne.

$$v_m = 2 \cdot \frac{v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2}$$

Pour le calcul du temps de coupe, nous avons:

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot b' \cdot i}{1000 \cdot v_m \cdot s}$$

Si nous considérons le nombre de courses aller et retour par minute, nous pouvons écrire:

$$T_c = \frac{b' \cdot i}{s \cdot n}$$

L en mm	n = nombre de courses aller et retour par min	
	Raboteuse	Etau limeur
200	30	50
400	20	30
600	17	20
800	15	—
1000	12	—

Tableau N° 6

**Exemple N° 15**

Calculer le temps de coupe pour usiner en 2 passes (1 ébauche et 1 finition) le dessus d'une table de traçage en fonte de 2400 mm sur 1200 mm. La vitesse d'ébauche choisie est de 40 m/min et la vitesse de retour de 70 m/min. L'avance est de 1 mm. Pour la finition avec un burin pelle, la vitesse de coupe est de 50 m/min et celle de retour 80 m/min avec une avance de 8 mm.

**Solution**

$$L = 2400 + 100 = 2500 \text{ mm}$$

$$b' = 1200 + 10 = 1210 \text{ mm}$$

Ebauche

$$v_m = 2 \cdot \frac{v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2} = 2 \cdot \frac{40 \times 70}{40 + 70} = 50,9 \text{ m/min}$$

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot b' \cdot i}{1000 \cdot v_m \cdot s} = 2 \cdot \frac{2500 \times 1210 \times 1}{1000 \times 50,9 \times 1} = 118,8 \text{ min}$$

Finition

$$v_m = 2 \cdot \frac{v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2} = 2 \cdot \frac{50 \times 80}{50 + 80} = 61,6 \text{ m/min}$$

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot b' \cdot i}{1000 \cdot v_m \cdot s} = 2 \cdot \frac{2500 \times 1210 \times 1}{1000 \times 61,6 \times 8} = 12,2 \text{ min}$$

Temps de coupe total  
118,8 + 12,2 = 131 min

**5. 7. Rectification**

**5. 7. 1. Rectification plane**

Cette opération est comparable au rabotage; nous utiliserons par conséquent la même formule.

La vitesse  $v$  sera la vitesse d'avance de la table qui varie entre 12 et 30 m/min. L'avance  $s$  de la table pour 1 course est de:

$1/3 - 1/5$  largeur de meule pour l'ébauche

$1/4 - 1/10$  largeur de meule pour la finition

$L$  = longueur de rectification, soit longueur de la pièce + 20 à 30 mm

$b'$  = largeur de la pièce + 5 à 10 mm

$s$  = avance en relation avec la largeur de la meule

$i$  = nombre de passes

$v$  = vitesse de déplacement ou d'avance de la table

Fonçage ou profondeur de passe en [mm]

	Acier	Fonte
Ebauche	0,05-0,15	0,05-0,2
Finition	0,01	0,01

Tableau N° 7



**Exemple N° 16**

Une matrice en acier trempé de 410 mm sur 290 mm doit être rectifiée sur deux faces. Pour chaque face, nous avons 3 passes d'ébauche et 1 passe de finition. Vitesse de la table, 15 m/min; largeur de la meule, 30 mm. Avance ébauche  $1/3$  de la largeur de la meule, pour la finition  $1/5$  pour avance transversale d'un seul côté.

**Solution**

$$L = 410 + 30 = 440 \text{ mm}$$

$$b' = 290 + 10 = 300 \text{ mm}$$

Ebauche

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot b' \cdot i}{1000 \cdot v \cdot s} = 2 \cdot \frac{440 \times 300 \times 3}{1000 \times 15 \times \frac{30}{3}} = 5,28 \text{ min}$$

Finition

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot b' \cdot i}{1000 \cdot v \cdot s} = 2 \cdot \frac{440 \times 300 \times 1}{1000 \times 15 \times \frac{30}{6}} = 3,52 \text{ min}$$

$T_c$  total (2 faces)

$$(5,28 + 3,52) \cdot 2 = 17,6 \text{ min}$$

**5. 7. 2. Rectification circulaire**

Nous avons deux opérations bien distinctes, la rectification circulaire extérieure ou intérieure.

Les vitesses sont données:

en [m/s] pour la meule

en [m/min] pour la pièce

Pour le calcul du temps de coupe, la vitesse de la pièce et l'avance de la table nous intéressent.

L'avance de la table par tour de pièce est donnée en relation avec la largeur de la meule:

$1/2 - 2/3$  de la largeur de la meule pour l'ébauche

$1/4 - 1/3$  de la largeur de la meule pour la finition

$1/5 - 1/10$  de la largeur de la meule pour une finition soignée

Le nombre de passes  $i$  est déterminé en divisant l'excédent à enlever sur le rayon de la pièce par la profondeur de passe + 2 à 4 passes supplémentaires pour la finition sans fonçage.

Vitesse de la pièce en [m/min]

Rectification circulaire	Acier trempé		Acier non trempé		Fonte	
	Ebauche	Finition	Ebauche	Finition	Ebauche	Finition
Extérieure	20-22	15-18	20-22	15-18	22-26	18-22
Intérieure	20-25	20-25	20-25	20-25	30-35	30-35

Tableau N° 8

Profondeur de passe (fonçage) en mm

Rectification circulaire extérieure	Aciers	Fonte
Ebauche	0,03-0,04	0,04-0,06
Finition	0,002-0,01	0,002-0,01

Tableau N° 9

Rectification circulaire intérieure	Aciers	Fonte
Ebauche	0,005-0,015	0,01-0,02
Finition	0,002-0,005	0,002-0,005

Tableau N° 10

d) Pour meulage d'un trou traversant  
 $L$  = longueur de meulage  $l$  de la pièce (fig. 9)

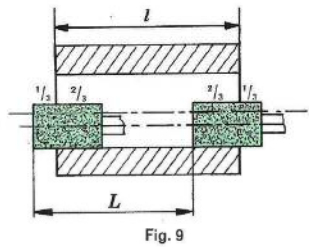


Fig. 9

e) Pour meulage d'un trou borgne  
 $L$  = longueur du trou moins  $2/3$  fois la longueur de la meule (fig. 10)

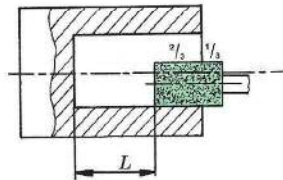


Fig. 10

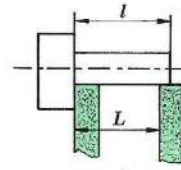


Fig. 6

Longueur de meulage  $L$

a) Pour les portées épaulées  
 $L$  = longueur de meulage  $l$  moins  $1/2$  largeur de meule (fig. 6)

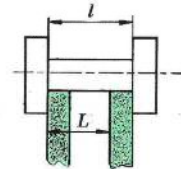


Fig. 7

b) Pour les portées encastrées  
 $L$  = longueur de meulage  $l$  moins une largeur de meule (fig. 7)

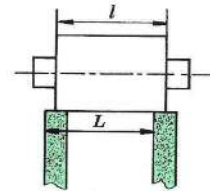


Fig. 8

c) Pour les portées libres aux deux extrémités  
 $L$  = longueur de meulage  $l$  (fig. 8)

Le temps de coupe peut se déterminer soit en considérant  $s$  ou  $S$ .

1<sup>er</sup> cas (avec l'avance  $s$ )

Pour le fonçage à une seule extrémité de la passe

$$T_c = 2 \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot i}{1000 \cdot v \cdot s}$$

- $L$  longueur de meulage en [mm]
- $i$  nombre de passes
- $s$  avance de la meule par tour de pièce en [mm]
- $S$  avance de la pièce en [mm/min]
- $v$  vitesse de coupe de la pièce en [m/min]
- $b$  largeur de la meule
- $d$  diamètre de la pièce en [mm]
- $n$  nombre de tours de la pièce en [tr/min]

Si  $n$  est calculé séparément

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d}$$

$$T_c = 2 \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

Pour le fonçage à chaque extrémité de la passe

$$T_c = \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot i}{1000 \cdot v \cdot s}$$

Si  $n$  est connu

$$T_c = \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

2<sup>e</sup> cas (avec l'avance  $S$ )

$S$  en [mm/min] est déterminé en multipliant l'avance par tour  $s$  par le nombre de tours  $n$  de la pièce.

$$\text{Pour l'ébauche } S = \frac{2 \cdot b \cdot n}{3}$$

$$\text{Pour la finition } S = \frac{b \cdot n}{2}$$

Pour le fonçage à une seule extrémité de la passe

$$T_c = 2 \cdot \frac{L \cdot i}{S}$$

Pour le fonçage à chaque extrémité de la passe

$$T_c = \frac{L \cdot i}{S}$$

**Exemple N° 17**

Rectifier 4 manetons de bielle sur un vilebrequin.

Diamètre	40 mm
Longueur de la portée	120 mm
Ebauche au diamètre	40,5 mm
Largeur de la meule	15 mm

Vitesse de rotation de la pièce

ébauche	20 m/min
finition	15 m/min

Fonçage	ébauche 0,03 mm
	finition 0,01 mm

Avance table	ébauche $\frac{2}{3}$ meule
	finition $\frac{1}{2}$ meule

Fonçage d'un seul côté

**Solution**

Profondeur à prendre

$$\frac{40,5 - 40}{2} = 0,25 \text{ mm soit}$$

0,20 mm pour l'ébauche  
0,05 mm pour la finition

Nombre de passes

$$\text{ébauche } i = \frac{0,20}{0,03} \approx 7$$

$$\text{ finition } i = \frac{0,05}{0,01} + 4 = 9$$

Longueur de rectification  $L$  = longueur de meulage  $l$  moins largeur de la meule

$$L = 120 - 15 = 105 \text{ mm}$$

Ebauche

$$T_c = 2 \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot i}{1000 \cdot v \cdot s}$$

$$= 2 \frac{\pi \times 40 \times 105 \times 7}{1000 \times 20 \times \frac{15 \times 2}{3}} = 0,9 \text{ min}$$

Finition

$$T_c = 2 \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot i}{1000 \cdot v \cdot s}$$

$$= 2 \frac{\pi \times 40 \times 105 \times 9}{1000 \times 15 \times \frac{15 \times 1}{2}} = 2,1 \text{ min}$$

$$T_c \text{ total} = 0,9 + 2,1 = 3 \text{ min}$$

$$\text{Pour 4 manetons } 3 \times 4 = 12 \text{ min}$$

5

**Exemple N° 18**

Calculer le temps de coupe pour rectifier une portée d'arbre de 80 mm de diamètre et de 450 mm de longueur.

Diamètre avant meulage	80,5 mm
Largeur de la meule	20 mm

Ebauche  $v = 15 \text{ m/min}$

Finition  $v = 8 \text{ m/min}$

Fonçage ébauche	0,02 mm
finition	0,005 mm

**Solution**

Profondeur à prendre

$$\frac{80,5 - 80}{2} = 0,25 \text{ mm soit}$$

0,20 mm pour l'ébauche  
0,05 mm pour la finition

Nombre de passes

$$\text{ébauche } i = \frac{0,20}{0,02} + 2 = 12$$

$$\text{ finition } i = \frac{0,05}{0,005} + 4 = 14$$

Longueur de rectification  $L$

$L$  = longueur de meulage  $l$   
soit 450 mm

$v$  ébauche 15 m/min soit

$$n = \frac{v}{\pi d} = \frac{15 \times 1000}{\frac{22}{7} \times 80} = 60 \text{ tr/min}$$

$v$  finition 8 m/min soit

$$n = \frac{v}{\pi d} = \frac{8 \times 1000}{\frac{22}{7} \times 80} = 32 \text{ tr/min}$$

Ebauche

$$S = \frac{2 \cdot b \cdot n}{3} = \frac{2 \times 20 \times 60}{3} = 800 \text{ mm/min}$$

Finition

$$S = \frac{b \cdot n}{2} = \frac{20 \times 32}{2} = 320 \text{ mm/min}$$

Ebauche

$$T_c = \frac{L \cdot i}{S} = \frac{450 \times 12}{800} \approx 6,8 \text{ min}$$

Finition

$$T_c = \frac{L \cdot i}{S} = \frac{450 \times 14}{320} \approx 19,7 \text{ min}$$

$$T_c \text{ total} = 6,8 + 19,7 = 26,5 \text{ min}$$