

**UNIVERSITE DE LIEGE
FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
LABORATOIRE DE METHODES DE FABRICATION**

DESCRIPTION DE LA LOI DE MOUVEMENT DE L'OUTIL

**P. BECKERS
J.F. DEBONGNIE
B. DELTOUR
L. MASSET**

Rapport LMF/R2 - 1995

Rapport 2

Description de la loi de mouvement de l'outil

1. Principes

1.1 Définitions

On entend par *pièce brute* la pièce avant l'opération d'usinage considérée. Elle ne correspond donc pas nécessairement à l'état brut de fonderie. De même, on entend par *pièce usinée* la pièce après l'opération d'usinage considérée. Elle ne correspond donc pas toujours à la pièce finie.

1.2 Choix du repère

En *fraisage*, la trajectoire est définie dans un repère tri-dimensionnel OXYZ commun au maillage éléments finis et au modèle CAO de la pièce. Les systèmes de coordonnées coïncident donc.

En *tournage*, la trajectoire de l'outil est toujours définie dans un repère bi-dimensionnel OX*Z où OZ est l'axe de rotation de la pièce et OX* un axe représentant la coordonnée radiale. C'est donc un système de coordonnées cylindriques. Par contre, le maillage éléments finis et le modèle CAO sont généralement définis dans un repère cartésien, même si la géométrie de la pièce est de révolution. Il faut alors prévoir une communication entre la commande d'usinage en tournage spécifiée en coordonnées cylindriques, et la géométrie de la pièce exprimée dans le repère cartésien.

La trajectoire de l'outil est définie par la trajectoire d'un point de référence qui est :

- le nez de l'outil en tournage,
- le centre de la fraise pour le fraisage.

1.3 Détermination de la profondeur de passe

Pour tous les types d'usinage, la profondeur de passe *locale* est déterminée à partir du modèle CAO de la pièce brute, de la trajectoire de l'outil et de ses caractéristiques géométriques. Il est donc essentiel de posséder un modèle CAO de la pièce *brute* pour chaque cas-test.

2. Tournage

2.1. Types de tournages

Seuls le dressage et le contournage sont étudiés dans le cadre de ce projet, le chariotage étant un cas particulier du contournage. Ces deux techniques peuvent être traitées de façon similaire excepté pour la description de l'angle de direction d'arête de l'outil. L'étude du tronçonnage et du saignage ne se justifie pas car ces opérations ne posent pas de problèmes essentiels de respect de tolérances de forme.

2.2. Description de l'outil

L'outil est décrit par ses trois angles principaux :

- l'angle de direction d'arête de coupe κ_r ,
- l'angle d'inclinaison d'arête de coupe λ_s ,
- l'angle de coupe γ_n .

En contournage, l'angle de coupe effectif κ_{re} diffère en général de l'angle pré-supposé d'inclinaison d'arête de coupe κ_r et doit donc être calculé en fonction de la trajectoire. L'influence du rayon de bec de l'outil r_e est négligée (le nez de l'outil est supposé affûté en pointe).

2.3. Trajectoire de l'outil

La trajectoire de l'outil est déterminée par la trajectoire de son nez. Elle s'effectue dans le plan X^*Z , l'axe X^* correspondant à la direction radiale et l'axe Z à l'axe de rotation de la pièce. La trajectoire se compose uniquement de segments de droites et/ou d'arcs de cercles. Un segment de droite est déterminé par les coordonnées de ses extrémités dans le plan X^*Z , un arc de cercle par les coordonnées de ses extrémités et de son centre.

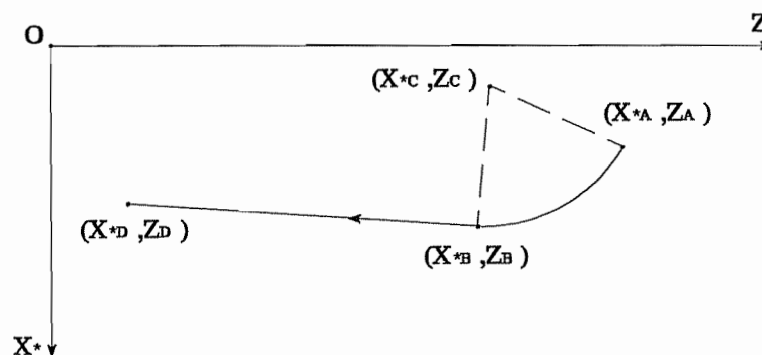


Figure 1 : Trajectoire de l'outil en contournage

2.4. Engagement et avance

Les données d'usinage sont :

- l'engagement ou la profondeur de passe a ,
- l'avance par tour f ,
- la fréquence de rotation de la broche N ,
- la vitesse d'avance $v_f = Nf$ (dépendant),
- la vitesse de coupe $v = 2 \pi N X^*$ (dépendant).

La profondeur de passe locale sera déterminée par la CAO en calculant la distance entre la surface usinée (engendrée par la rotation de la trajectoire autour de l'axe Z) et la surface extérieure de la pièce brute.

L'avance f peut être spécifiée soit de façon globale sur toute la surface d'usinage, soit sur chaque surface élémentaire correspondant à un segment de droite ou un arc de cercle dans le plan X^*Z .

De plus, l'avance peut être affectée soit directement avec une autre donnée d'usinage :

- $f = c^{te}$ et $N = c^{te}$,
- $f = c^{te}$ et $v = c^{te}$,

soit indirectement en fixant la fréquence de rotation de la broche et la vitesse d'avance :

- $N = c^{te}$ et $v_f = c^{te}$ d'où $f = \frac{v_f}{N} = c^{te}$.

3. Fraisage

3.1. Types de fraisage

Seul le fraisage de surfaçage est traité dans ce projet ce qui rend les données relatives au trajet de l'outil relativement simples. La surface d'usinage est un plan horizontal $Z = c^{te}$.

3.2. Description de l'outil

Les trois angles principaux de l'outil sont :

- l'angle de direction d'arête principale κ_r ,
- l'angle d'inclinaison d'arête principale λ_s ,
- l'angle de coupe γ_n .

Les angles caractéristiques de l'outil peuvent également être définis dans un autre repère. On considère alors :

- l'angle de direction d'arête principale κ_r ,
- l'angle de coupe latérale (side rack angle) γ_f ,
- l'angle de coupe vers l'arrière (buck rack angle) γ_p .

On peut employer indifféremment un des deux systèmes de caractérisation. Le passage de l'un à l'autre se fait au moyen des formules suivantes :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_s &= \sin \kappa_r \operatorname{tg} \gamma_p - \cos \kappa_r \operatorname{tg} \gamma_f \\ \operatorname{tg} \gamma_n &= \cos \lambda_s (\cos \kappa_r \operatorname{tg} \gamma_p + \sin \kappa_r \operatorname{tg} \gamma_f) \end{aligned}$$

De plus, la fraise est caractérisée par :

- le diamètre D ,
- le nombre de dents Z ,
- l'angle de dépinçage δ .

Dans certain cas, l'axe de la fraise est incliné d'un angle δ par rapport à la verticale afin d'empêcher les dents arrière de recouper la rugosité laissée par les dents de devant. Dans la pratique, δ reste très petit et est exprimé par la pente de l'axe de la fraise $q = \tan \delta \approx \delta$.

La surface produite en tenant compte d'un angle de dépinçage est légèrement concave. L'écart de forme e_f peut être calculé aisément par des formules analytiques simples (par exemple la formule de Kirchner-Schulz pour le fraisage centré).

$$e_f = \frac{\delta}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - L_c^2} \right)$$

$L_c \equiv$ largeur de coupe

Formule de Kirchner-Schulz

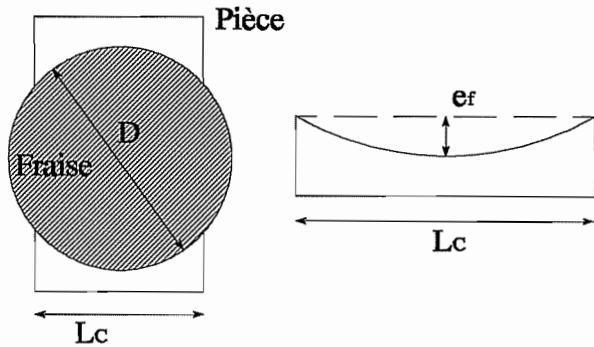


Figure 2 : Défaut dû au dépinçage

Il semble naturel de penser que l'inclinaison de l'axe de la fraise n'a pas d'influence palpable sur la répartition des efforts de coupe et les défauts engendrés. Il est donc proposé de calculer séparément le défaut dû au dépinçage puis de le superposer au défaut dû à l'usinage proprement dit.

Remarque : Les développements produits en annexe montrent que, dans un cas de fraisage courant, le défaut dû au dépinçage est du même ordre de grandeur que la rugosité obtenue. Bien que l'on puisse se demander si la détermination du défaut de dépinçage se justifie réellement, il paraît judicieux d'estimer son ordre de grandeur à partir des paramètres de description de la fraise et de la taille de la pièce.

3.3. Trajectoire de l'outil

Le point de référence de l'outil est le centre de la fraise, c'est-à-dire l'intersection de l'axe de la fraise avec le plan d'usinage. La trajectoire de l'outil est décrite par la trajectoire de son centre. Celle-ci s'effectue dans un plan de coordonnées $Z = c^{te}$ et est constituée, comme en tournage, d'une succession de segments de droites et d'arcs de cercles.

3.4. Engagement et avance

Les paramètres d'usinage sont :

- l'engagement axial a_a ,
- l'avance par tour f ,
- l'avance à la dent $f_Z = \frac{f}{Z}$ (dépendant),
- la fréquence de rotation de la broche N ,
- la vitesse d'avance $v_f = Nf$ (dépendant),
- la vitesse de coupe $v = N\pi D$ (dépendant).

Les données fournies sont la vitesse de coupe ($v = c^{te}$), l'avance à la dent ($f_Z = c^{te}$) et le nombre de dents Z . Ces trois paramètres sont spécifiés sur chacun des segments élémentaires composant la trajectoire.

L'engagement axial peut être spécifié de deux façons :

- l'engagement de la fraise a_a et la cote de départ Z_D ;
- la cote Z_C du plan de coupe.

Les deux manières de faire sont possibles mais la seconde a l'avantage de ne comporter qu'une seule donnée, ce qui réduit les risques d'erreurs. L'engagement réel est déterminé par la CAO en calculant la différence de hauteur entre le plan d'usinage $Z = Z_c$ et la surface extérieure de la pièce brute $Z = Z_{SB}(X,Y)$.

4. Brochage

Nous omettons dans le présent rapport toute considération sur le brochage, dont l'étude approfondie fait l'objet d'un rapport séparé (rapport n°2 bis).

5. Alésage

Les trois types d'alésage sont :

- l'alésage au grain,
- l'alésage à l'outil de tour,
- l'alésage à l'alésoir.

Pour chacune de ces opérations, les défauts d'usinage proviennent le plus souvent de la flexion de l'outil due à son porte-à-faux important par rapport au support. Nous avons imaginé un moment que la souplesse de l'outil pouvait se reporter sur les appuis de la pièce. Malheureusement, le fait que l'un des deux tourne oblige à avoir des appuis à souplesse variable au cours du temps, ce qui n'est pas réalisable. Sans exclure tous les cas d'alésage a priori, nous pensons que cette voie n'est pas porteuse de résultats généraux.

On peut tout de même noter qu'il est possible de traiter l'alésage de la façon suivante :

- l'alésage au tour ne diffère pas du tournage;
- l'alésage au grain peut être traité de la même façon que le tournage. Le fait que l'outil tourne plutôt que la pièce ne change rien d'un point de vue calcul puisque c'est le mouvement relatif qui compte;
- malgré de légères différences, l'alésage à l'alésoir s'apparente au fraisage et peut donc être traité de la même façon. Il entraîne en effet une distribution uniforme de forces azimutales au niveau du chanfrein de l'outil; les arêtes secondaires axiales sont censées ne reprendre aucun effort.

6. Conclusions

Les points importants de ce rapport sont :

- l'adoption d'un repère commun ne pose pas de problème pour le fraisage;
- pour le tournage, il est nécessaire de distinguer le repère servant à décrire la trajectoire, du repère de description de la pièce. Il est convenu que ces deux systèmes d'axes ont en commun l'axe de rotation de la pièce OZ et l'origine O;
- la profondeur de passe n'est pas donnée a priori et doit être déterminée par la CAO;
- en tournage et en fraisage, l'ensemble des données (description de l'outil, trajectoire et paramètres d'usinage) nous semble satisfaisant sous sa forme actuelle;
- bien qu'il soit très faible, le défaut dû à l'angle de dépinçage doit être estimé séparément du défaut d'usinage proprement dit;
- l'étude du brochage soulève encore de gros problèmes de fond. Il a donc été décidé de traiter le brochage dans un rapport séparé (rapport n°2 bis);
- le choix d'étudier ou non l'alésage est problématique.

Lorsqu'un accord sera trouvé sur le fond, il restera à convenir d'une syntaxe simple et efficace.

Table des matières

1. Principes	1
1.1 Définition	1
1.2 Choix du repère	1
1.3 Détermination de la profondeur de passe	1
2. Tournage	2
2.1. Types de tournages	2
2.2. Description de l'outil	2
2.3. Trajectoire de l'outil	2
2.4. Engagement et avance	3
3. Fraisage	4
3.1. Types de fraisage	4
3.2. Description de l'outil	4
3.3. Trajectoire de l'outil	5
3.4. Engagement et avance	6
4. Brochage	7
5. Alésage	8
6. Conclusions	9
Annexe : Effet du dépinçage des fraises	A1

Annexe

Effet du dépinçage des fraises