Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 100 (1974)

Heft: 19: Société vaudoise des ingénieurs et des architectes: 1874-1974, SIA spécial no. 5

Artikel: Le critère masse-fréquence pour juger de la fragmentation des copeaux au tournage

Autor: Dufour, Jean-Pierre / Del Pedro, Michel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72128

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Le critère masse-fréquence pour juger de la fragmentation des copeaux au tournage

par JEAN-PIERRE DUFOUR et MICHEL DEL PEDRO, Lausanne

1. Généralités

La manière dont les copeaux se rompent au tournage — la fragmentation — est d'une importance primordiale pour la qualité de l'usinage et la continuité des opérations. La fragmentation est influencée par de nombreux paramètres parmi lesquels deux jouent un rôle essentiel : l'avance par tour s et la profondeur de coupe a (figure 3).

Les autres grandeurs étant supposées constantes (vitesse de rotation, nature du matériau, géométrie de coupe, etc.) on représente dans un diagramme la zone de « bonne fragmentation », c'est-à-dire la zone où les couples de valeurs s, a assurent une forme et une longueur convenables des copeaux, jugées généralement sur la base de critères qualitatifs. Ces critères présentent des difficultés d'appréciation ou conduisent à des résultats trop vagues.

Nous proposons dans cette communication un critère quantitatif de jugement de la fragmentation, que l'on peut appeler « critère masse-fréquence » ou « critère μ-λ ». Le coefficient μ représente la masse relative moyenne des copeaux par rapport à la masse enlevée par tour, alors que le coefficient λ est le rapport entre la fréquence de segmentation des copeaux et la fréquence propre de l'outil de coupe.

2. Le critère de Ericksen

La classification des copeaux, proposée par Ericksen, selon les 9 types de référence de la figure 1, est l'une des plus couramment utilisée [3, bibliographie]. Nous l'avons prise comme base de comparaison dans nos essais, partiellement reproduits ici.

Les copeaux des types *a)*, *b)* et *c)* ne conviennent pas en raison de leur forme ou de leur encombrement excessif ; ceux des types *h)* et *i)* conduisent à un mauvais état de surface. On s'efforce par conséquent d'obtenir des copeaux discontinus favorables, c'est-à-dire ceux des types *d)*, *e)*, *f)* et *g)*.

La figure 2 représente, à titre d'exemple, les résultats des essais entrepris avec des plaquettes Stellram ECMX 16.06.08 S 3×7 à brise-copeaux affûté, sur de l'acier CK 60, avec une vitesse de coupe de 100 m/minute environ. Les types de copeaux obtenus sont indiqués par leur symbole sur un diagramme avance par tour/profondeur de coupe. La zone de bonne fragmentation est délimitée par l'enveloppe des lettres *d)*, *e)*, *f)* et *g)* qui présente l'allure d'une « courbe en sac », comme c'est généralement le cas.

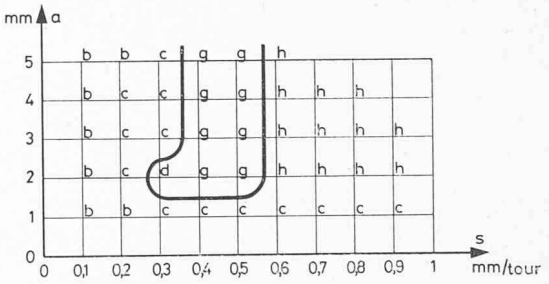
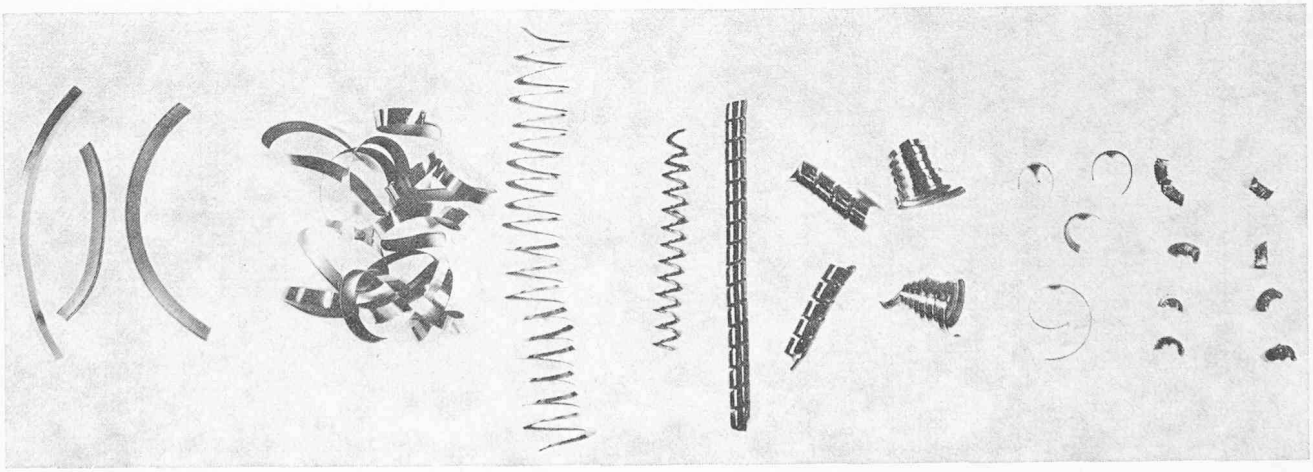


Fig. 2. — Zone de bonne fragmentation selon le critère de Ericksen.

s = avance par tour a = profondeur de coupe
Plaquettes Stellram ECMX 16.06.08
Acier CK 60 — Vitesse de coupe 100 m/min



a) b) c) d) e) f) g) h) i)

Fig. 1. — Classification des copeaux selon Ericksen.

a) Copeaux droits
b) Copeaux enchevêtrés
c) Copeaux en hélice continue
d) Copeaux longs en hélice (longueur inférieure à 10 cm)
e) Copeaux courts en hélice (longueur inférieure à 2 cm)
f) Copeaux enroulés sur eux-mêmes en spirale
g) Copeaux en spirale courte
h) Copeaux en « C »
i) Copeaux en éclats

Le critère de Ericksen permet d'obtenir rapidement la zone de bonne fragmentation mais présente le défaut d'être assez imprécis. En particulier, il est souvent difficile de distinguer les types de copeaux *g)* et *h)*.

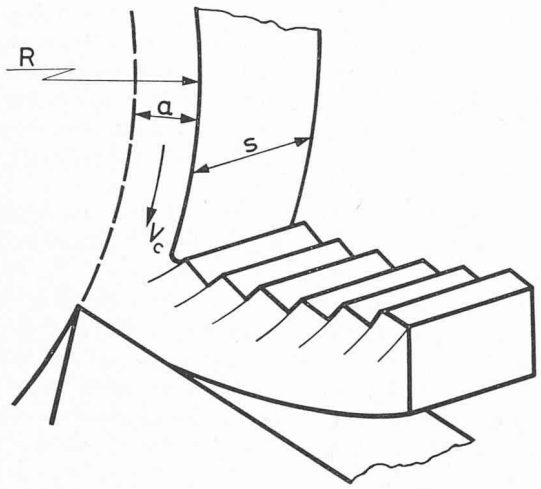


Fig. 3. — Masse enlevée par tour.

s = avance par tour
a = profondeur de coupe
R = rayon extérieur de la pièce
ρ = masse spécifique
Vc = vitesse de coupe

3. Le critère au volume apparent

Proposé par les auteurs cités en référence [4], ce critère consiste à mesurer le rapport w entre le volume apparent des copeaux, recueillis dans un récipient, et le volume réel de métal enlevé. Ce rapport donne une mesure du « foisonnement » des copeaux. On estime que la fragmentation est bonne si $w \leq 30$.

Le critère du volume apparent est d'une application apparemment très simple, mais présente les inconvénients suivants :

— Le résultat est influencé par la grandeur et la forme du récipient étalon ainsi que par le degré de tassement des copeaux, lui-même fonction de la manière dont les copeaux arrivent dans le récipient.

— Il est indispensable de fabriquer une quantité relativement grande de copeaux lors de chaque essai afin d'obtenir des résultats convenables.

— Cette méthode ne permet pas de définir la « limite à droite des courbes en sac », autrement dit ne donne pas d'indication sur les copeaux de trop petites dimensions qui correspondent à une mauvaise qualité d'usinage.

4. Le critère masse-fréquence

4.1 *Définition et mesure de la masse relative des copeaux*

Les essais entrepris ont permis de vérifier que la dimension moyenne des copeaux, au sens du critère de Ericksen, pouvait être caractérisée par le rapport

$$\mu = \frac{m}{m_1}$$

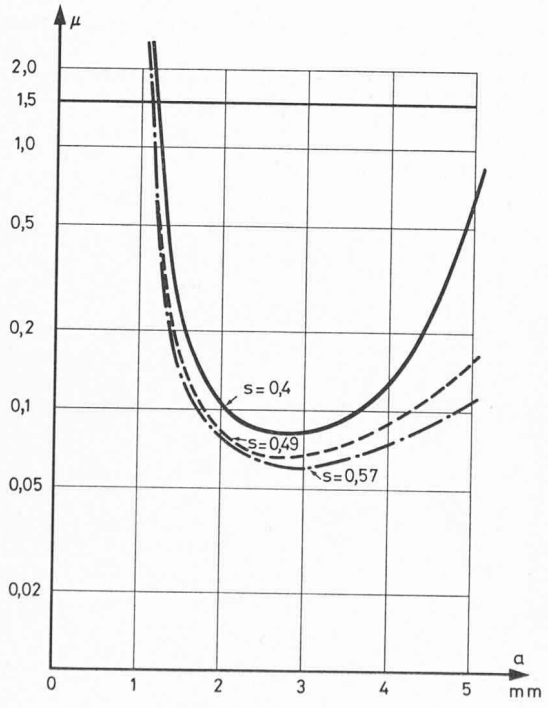


Fig. 4

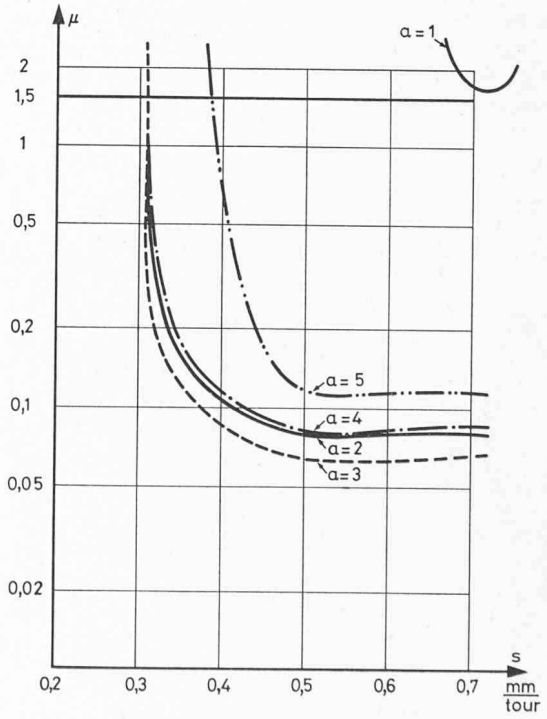


Fig. 5

Masse relative des copeaux μ en fonction de s et a.

s = avance par tour a = profondeur de coupe
Plaquettes Stellram ECMX 16.06.08
Acier CK 60 — Vitesse de coupe 100 m/min

m étant la masse moyenne des copeaux et m_1 la masse enlevée par tour.

La masse m est déterminée simplement par pesée d'un nombre suffisant de copeaux (une vingtaine) et la relation suivante, dont les grandeurs sont définies par la figure 3, permet de calculer m_1

$$m_1 = 2\pi\rho\,(\mathrm{R} - a/2)\,a\,s$$

Il faut déterminer la masse relative μ pour chaque couple de valeurs s, a. Les figures 4 et 5 représentent μ en fonction de a et de s pour les conditions d'essai citées précédemment.

La fragmentation des copeaux est acceptable en dessous d'une limite supérieure de μ, limite qui varie dans une certaine mesure en fonction des caractéristiques du tour utilisé, des dimensions des pièces à usiner et de la manière dont les copeaux sont recueillis et évacués. Dans l'exemple traité ici, cette limite est égale à 1,5. Les courbes des figures 4 et 5 permettent de déterminer les couples de valeurs s, a qui satisfont la condition $\mu = 1{,}5$ et de tracer ainsi la partie $A\,B\,C$ de la zone de bonne fragmentation représentée par la figure 8.

4.2 *Définition et mesure de la fréquence relative*

Les copeaux se forment par une série de glissements successifs, dus aux contraintes de cisaillement, donnant un aspect en « dents de scie » à leur partie concave (figure 3). Ce phénomène, appelé souvent segmentation des copeaux, provoque des vibrations forcées de l'outil. La fréquence f de ces vibrations peut être calculée par la relation

$$f = \frac{n\,\rho\,s\,a\,V_c}{m}$$

dans laquelle les symboles ont la signification suivante :

m = masse d'un copeau ;

n = nombre de « dents » sur le même copeau, soit le nombre de plans de glissement ;

ρ = masse spécifique du métal usiné ;

s = avance par tour ;

a = profondeur de coupe ;

V_c = vitesse de coupe.

Cette relation se démontre facilement en considérant le volume V_0 du copeau de masse m. Si l est sa longueur avant déformation, c'est-à-dire avant l'usinage, on a ;

$$V_0 = \frac{m}{\rho} = l\,s\,a \rightarrow l = \frac{m}{\rho\,s\,a}$$

L'intervalle de temps qui sépare deux glissements a pour valeur :

$$T = \frac{1}{n}\,\frac{l}{V_c} = \frac{m}{n\,\rho\,s\,a\,V_c}$$

C'est la période des vibrations dont la fréquence est ainsi :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{n\,\rho\,s\,a\,V_c}{m}$$

Avec les unités utilisées habituellement dans la pratique, il vient :

$$f = \frac{1}{60}\,\frac{n\,\rho\,s\,a\,V_c}{m}\,[Hz] \qquad \begin{array}{ll} [m] = \mathrm{g} & [s] = \mathrm{mm} \\ [\rho] = \mathrm{g/cm^3} & [V_c] = \mathrm{m/min} \\ [a] = \mathrm{mm} & \end{array}$$

Il est cependant préférable, comme nous l'avons fait dans nos essais, de mesurer directement la fréquence f des vibrations forcées de l'outil en cours d'usinage.

Ces vibrations augmentent considérablement quand f coïncide avec la fréquence propre f_p de l'outil. Il apparaît alors le phénomène de « broutage » et l'état de surface de

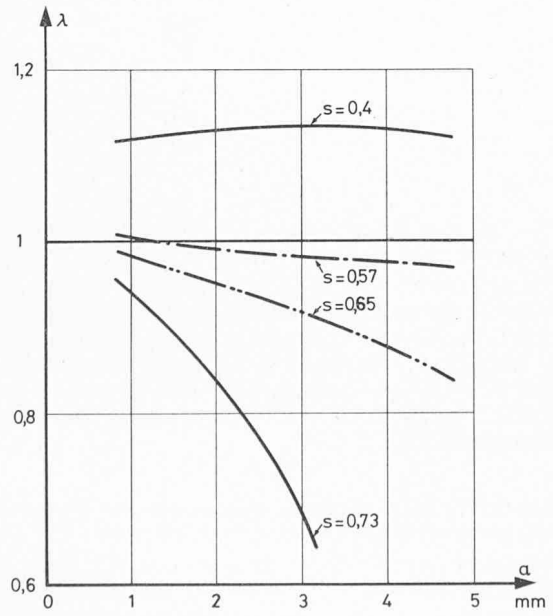


Fig. 6

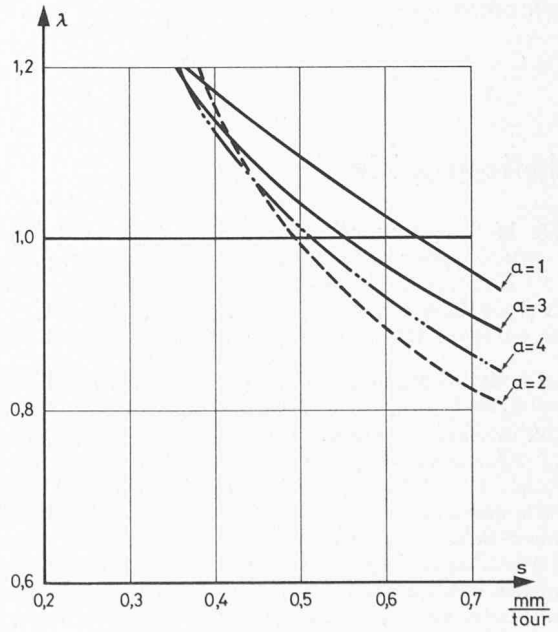


Fig. 7

Fréquence relative λ en fonction de s et a.

s = avance par tour a = profondeur de coupe
Plaquettes Stellram ECMX 16.06.08
Acier CK 60 — Vitesse de coupe 100 m/min

la pièce usinée devient inacceptable. Considérons donc le rapport :

$$\lambda = \frac{f}{f_p}$$

qu'on peut appeler fréquence relative de formation du copeau. La condition $\lambda < 1$ doit nécessairement être remplie pour obtenir un usinage convenable [1].

Nous avons calculé λ lors des essais en fonction de l'avance par tour et de la profondeur de coupe, et obtenu ainsi les courbes des figures 6 et 7.

Ces figures permettent de déterminer les couples de valeurs s, a correspondant à la limite $\lambda = 1$ (la figure 7 convient le mieux dans le cas particulier) et de tracer la courbe $D\ C$ de la figure 8.

Ainsi, les conditions $\mu = 1{,}5$ et $\lambda = 1$ définissent un domaine $A\ B\ C\ D$ à l'intérieur duquel doivent être choisies l'avance par tour et la profondeur de coupe afin d'assurer une bonne fragmentation des copeaux.

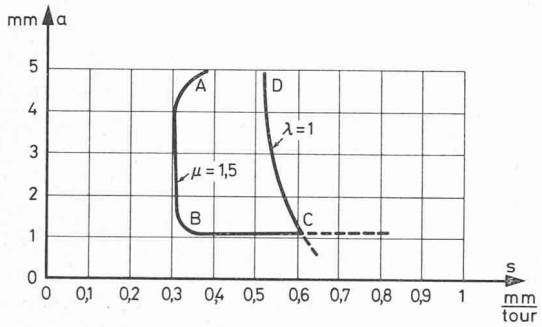


Fig. 8. — Zone de bonne fragmentation selon le critère λ — μ

s = avance par tour
a = profondeur de coupe
μ = masse relative des copeaux
λ = fréquence relative de formation des copeaux

La comparaison des figures 2 et 8 montre une similitude frappante entre les zones de bonne fragmentation obtenues par le critère de Ericksen et par le critère masse-fréquence que nous proposons. Ce dernier présente l'avantage, nous semble-t-il, d'être basé sur des mesures faciles à réaliser et de permettre une meilleure compréhension du phénomène. Il est évident que l'on peut utiliser la même méthode de travail en prenant en considération d'autres paramètres que s et a, par exemple la vitesse de coupe, la rigidité de l'outil ou la forme des plaquettes d'usinage.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

[1] BLANPAIN E. : *Théorie et pratique des outils de coupe.* Eyrolles, 1955.

[2] SPAANS C. : *The Fundamentals of three dimensional chip curl, chip breaking and chip control.* Dr. Thesis, NTHD 24, Techn. Hogeschool. Delft, Avril 1971.

[3] G.W.F. : *Einführung in die spanabhebende Bearbeitung.* Cours BBC. Baden, 1971.

[4] PROSKOURIAKOV, PETROV et FEDOROV : *Fragmentation des copeaux dans le travail de l'acier XC* 10. Stanki i Instrument nº 7 — 1962.

[5] WEILL R. : *Techniques d'usinage.* Dunod, 1971.

Adresse des auteurs :
Jean-Pierre Dufour
Ingénieur EPFL
Rue de Marcelly 43
74306 Scionzier
France

Michel Del Pedro
Professeur EPFL
Institut des métaux et des machines
Chemin de Bellerive 34
1007 Lausanne

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la maison Stellram, à Nyon, qui a fourni les outils d'usinage, ainsi que M. Seidel, ing. dr., et M. Lyon, ing. EPFL, pour leur aide dans ce travail.

[1] *Remarque:* La valeur limite $\lambda = 1$ est valable pour autant que l'avance maximale imposée par la géométrie de la plaquette ne soit pas atteinte.

Bibliographie

De la série bien connue et très appréciée des livres de poche pour l'enseignement universitaire, format 12,5 × 19 cm, toilés, édités par le Bibliographisches Institut-Wissenschaftsverlag (Mannheim, Wien, Zürich), nous sont parvenus les volumes suivants :

Tome 104. — Numerische Mathematik für Ingenieure, par *G. Jordan-Engeln / F. Reutter*, 1973, 352 pages, DM 9.90.

Cet ouvrage est tiré des cours professés par les auteurs à la Rheinisch-Westphälischen Technischen Hochschule Aachen. Il représente une introduction claire et précise dans le domaine souvent négligé des mathématiques numériques et de ses méthodes pratiques, et pourra rendre service en particulier au jeune ingénieur électricien, mécanicien et physicien entrant dans la pratique de sa profession. Sont traités entre autres, les équations algébriques et transcendantes, les systèmes d'équations linéaires et non-linéaires, les valeurs et vecteurs propres des matrices, de même que l'approximation des fonctions continues, l'interpolation par polynomes algébriques et les problèmes des valeurs initiales pour les équations différentielles ordinaires du premier ordre et d'ordre supérieur.

Tome 434. — Grundlagen der praktischen Matrizenrechnung, par *H. Eltermann*, 1969, 128 pages, DM 5.90.

Ce petit volume donne à l'étudiant ingénieur une introduction claire et précise au calcul matriciel pratique dont l'importance dans la technique moderne est trop souvent sous-estimée. Il correspond à un cours d'une année, à raison de deux heures hebdomadaires et se termine par le traitement du problème des valeurs propres des matrices symétriques réelles.

Tome 526. — Statistische Methoden der Regelungstechnik, par *H. Schlitt / F. Dittrich*, 1972, 169 pages, DM 14.80.

Dans le cadre des livres de poche du B.I., une série spéciale, éditée par G. Pressler, a été consacrée aux méthodes théoriques et expérimentales de la technique du réglage. Les tomes 526 et 549 font partie de cette série.

Le tome 526 permet une étude plus approfondie des deux volumes de H. Schlitt sur le même sujet : « Systemtheorie für regellose Vorgänge » (Springer 1960) et « Stochastische Vorgänge in linearen und nichtlinearen Regelkreisen » (Vieweg 1969).