



Vous pensez **efficacité**, pensez **HSS**

FRAISAGE

OUTILS DE FRAISAGE

- 2 Zoom sur une fraise
- 3 Quel acier rapide pour une efficacité maximum ?
- 4 Les revêtements PVD pour les meilleures performances
- 5 Lexique
- 6 Choisir la bonne conception d'outil
- 7 Sélectionner un profil d'arête
- 8 Les profils d'arête spéciaux
- 9 Choisir le bon nombre de dents
- 10 Les différents angles d'hélice
- 11 Les conceptions courantes de fraises en bout
- 12 Dimensions et tolérances

13 Attachements des fraises en bout

14 Attachements des fraises à trou

LE PROCÉDE DE FRAISAGE

15 Les bases du fraisage

16 Les opérations de fraisage en bout

17 Les autres modes de fraisage

18 Fraisage en opposition et en avalant

19 Vitesses de coupe typiques

20 Comment atteindre des rendements élevés

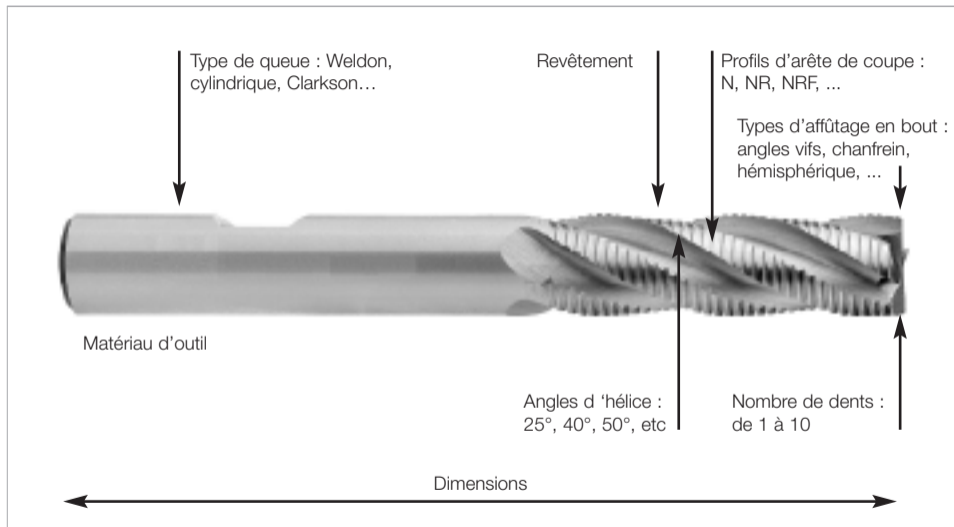
21 Arrosage et évacuation des copeaux

22 Résolution des problèmes courants

23 Comment surveiller l'usure

24 Comment interpréter les copeaux

25 Formules utiles en fraisage



Obtenez
les meilleures
performances
avec les aciers
rapides frittés

Acier rapide (HSS)

- Peu utilisé pour les fraises

Acier rapide supérieur (HSS-E) 5 % cobalt

- Choix de base

Acier rapide supérieur (HSS-E) 8 % cobalt

- La nuance la plus utilisée
- Pour de plus grandes vitesses de coupe
- Pour une plus grande productivité

Acier rapide fritté (HSS-PM) (métallurgie des poudres)

- Haute performance en ébauche
- Grande durée de vie d'outil
- Le meilleur choix pour les alliages de nickel ou de titane
- Adapté à l'usinage à sec

Acier rapide fritté (HSS-E-PM) (métallurgie des poudres)

- Haute performance en finition, mais aussi en ébauche
- Grandes vitesses de coupe
- Grande durée de vie d'outil
- Adapté pour l'usinage à sec



LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Pour un maximum d'efficacité du revêtement, préférez les substrats en acier rapide fritté

TiN Or

- Revêtement pour usage général
- Réduit le frottement
- Bonne résistance à l'abrasion

TiCN Gris-violet

- Revêtement polyvalent, spécialement pour les fraises d'ébauche
- Grande résistance à l'abrasion
- Disponible en mono et en multicouche
- Recommandé pour les aciers de construction ($R_m < 1000$ Mpa)

TiAlN ou **TiAlCN** Noir-violet

- Revêtement haute performance pour une large gamme de paramètres de coupe
- Des durées de vie 2 à 6 fois plus longue qu'avec les revêtements traditionnels
- Réduit l'échauffement de l'outil
- Les versions multicouches ou nanocouches offrent des performances encore meilleures.
- Adapté à l'usinage à sec

MoS₂ ou **WC-C** Gris-noir

- Réduit le frottement
- Résistance limitée à la chaleur
- Recommandé pour les alliages d'aluminium, le cuivre et les matériaux non-métalliques



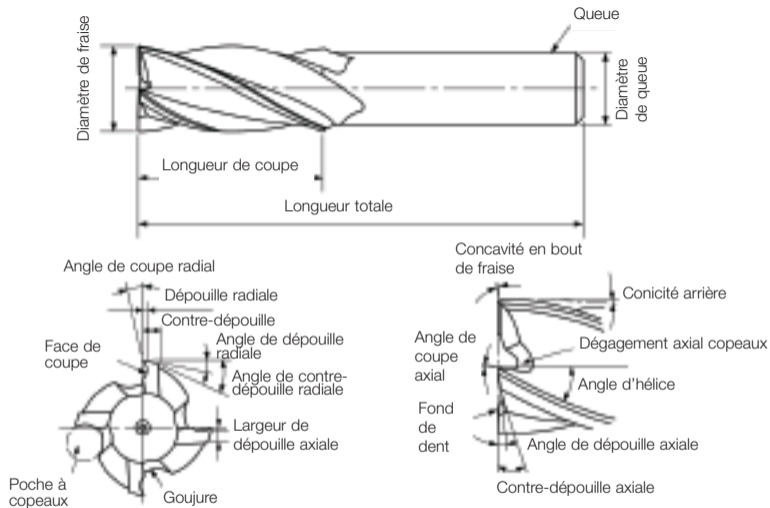
**UNE FRAISE
DANS LE MONDE**

Anglais :
a milling cutter

Allemand :
ein Fräser

Italien :
una fresa

Espagnol :
una fresa



LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Les plaquettes en acier rapide sont recommandées quand les plaquettes en carbure ne conviennent pas



Fraise en bout monobloc

Pour les petits diamètres d'outil (1 à 32 mm ou jusqu'à 63 mm)

- + pour les géométries complexes (surfaces 3D) : poches, rayons, plongées axiales
- + pour les centres d'usinages récents
- + pour les opérations d'ébauche et de finition



Fraise à plaquettes indexables en acier rapide

Pour les grands diamètres d'outil (10 à 160 mm)

- + arête plus vive et angle de coupe plus positif que pour les plaquettes carbure
- + adaptée lorsque les plaquettes en carbure ne conviennent pas, spécialement dans les inox et les réfractaires.
- + pas de réaffûtage nécessaire (plaquettes jetables)



Fraise à trou lisse

Montée sur un arbre

Pour les grands diamètres d'outil (32 à 100 mm)

- + très bonne productivité dans les opérations d'ébauche
- corps fragile (dû au grand diamètre du trou)
- seulement pour les opérations sans coupe au centre



Fraise type 3 tailles

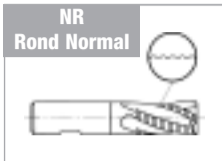
Montée sur un arbre

- + possibilité d'empiler plusieurs fraises pour usiner avec précision des rainures larges
- + bonne transmission du couple
- tolérance précise du trou de bridage nécessaire pour éviter les défauts de voile

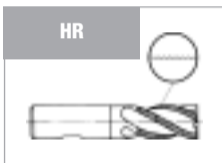
LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Les brise-copeaux sont essentiels pour augmenter la profondeur de passe et diminuer la puissance et les efforts de coupe

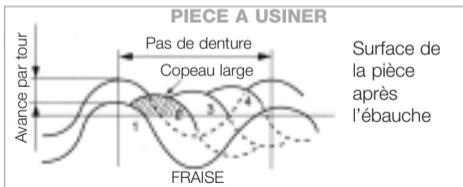
PROFILS POUR EBAUCHE



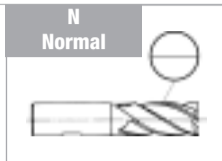
- Brise-copeaux ronds
- Pas normal
- Pour l'ébauche et le rainurage
- Mauvais état de surface $Ra > 6,3$
- Pour les aciers et les fontes



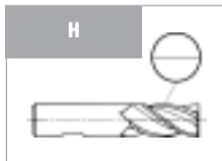
- Brise-copeaux ronds
- Pas fin
- Pour semi-finition



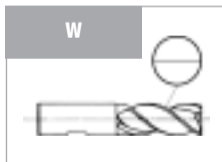
PROFILS POUR FINITION



- Pour tous les matériaux
- Profil universel
- Le plus utilisé



- Pour les matériaux durs
- Copeaux courts
- Excellente qualité de surface



- Pour les non-ferreux
- Excellente qualité de surface

LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

*Grâce aux propriétés
des aciers rapides,
les fabricants d'outil
peuvent concevoir
des arêtes de
coupe spéciales
pour résoudre
des problèmes
d'usinage
spécifiques*

PROFILS DE SEMI-FINITION

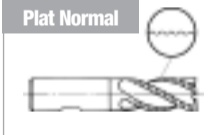
WR



- Pour les non-ferreux
- Pour la semi-finition

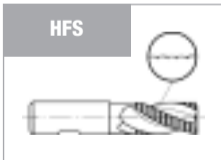
NF

Plat Normal



- Pas normal
- Pour la semi-finition
- Brise-copeaux plats

HFS



- Brise-copeaux plats
- Pas normal
- Pour la semi-finition

LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Préférez les fraises à deux dents pour les matériaux tendres et à quatre dents pour les matériaux difficiles à usiner



2 dents

- Grande poche à copeaux mais petit diamètre d'âme
- Bons résultats en ébauche et en rainurage
- Également utilisé pour plonger et percer dans les alliages d'aluminium et dans les matériaux avec des copeaux longs



3 dents

- Fraises les plus couramment utilisées
- Excellent choix pour le rainurage et les descentes en rampe dans les matériaux ferreux et les alliages résistants à la chaleur



4 dents

- Géométrie courante, utilisée pour le fraisage mixte et le contournage
- Grande rigidité d'outil due au diamètre d'âme important
- Moins bonne évacuation des copeaux en rainurage qu'avec une fraise à trois dents



5 dents ou plus

- Principalement pour la finition en contournage - bon état de surface
- Permet de grandes avances
- Coupe douce car il y a toujours une dent en prise avec la matière
- Existente aussi pour l'ébauche pour des diamètres d'outil > 20 mm



LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Sélectionnez l'angle d'hélice en fonction de la matière à usiner et du type d'opération (ébauche / finition)

MOINS DE 25°

Pour l'ébauche et la finition dans les grands diamètres

- + utilisé dans les aciers et les fontes et pour tous les matériaux lorsque de grands diamètres d'outils doivent être utilisés
- + faibles efforts de coupe axiaux (intéressant pour les grands diamètres d'outils)
- pas adapté pour les rainurages profonds à cause de l'évacuation radiale des copeaux
- chocs dus au contact non continu entre l'outil et la pièce à usiner

25 À 35°

Choix de base pour l'ébauche et la finition dans tous les matériaux

- + utilisation générale, avec une bonne répartition des efforts de coupe
- pas toujours très productif

40 À 50°

Pour l'ébauche et la finition des alliages non-ferreux

- + grande profondeur de passe dans les alliages ferreux si combiné avec un petit nombre de dents
- + contact permanent entre les dents et la pièce
- becs fragiles
- efforts de coupe axiaux importants dans les opérations d'ébauche avec les grands diamètres d'outil

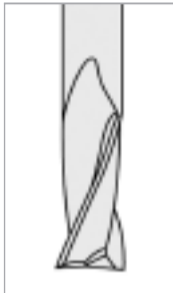
AU DESSUS DE 50°

Pour la finition des matériaux trempés

- + très bonne qualité de surface et grande productivité si combiné avec un grand nombre de dents
- becs fragiles si pas de chanfreins ou de rayons sur les becs

LE SAVIEZ-VOUS ?

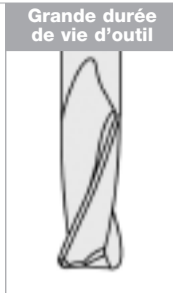
La ténacité des aciers rapides prolonge la durée de vie des becs de fraises



BeCS à angle vif

Mécanique générale

- Vrais angles droits
- BeCS fragiles

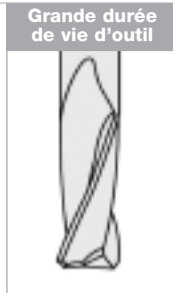


Grande durée de vie d'outil

BeCS chanfreinés

Mécanique générale

- Angles résistants
- Bonne coupe dans les opérations d'ébauche
- Adapté pour les outils revêtus

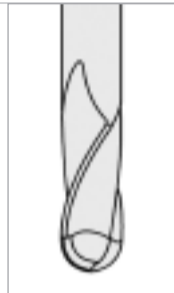


Grande durée de vie d'outil

BeCS rayonnés

Aéronautique

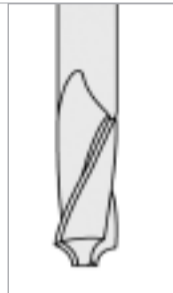
- Utilisation typique : ébauche des pièces 3D
- Grande résistance des angles
- Adapté pour les outils revêtus



Hémisphérique

Moules et matrices

- Finition des pièces 3D
- Vitesse de coupe nulle au centre : mauvais état de surface dans les matériaux tendres



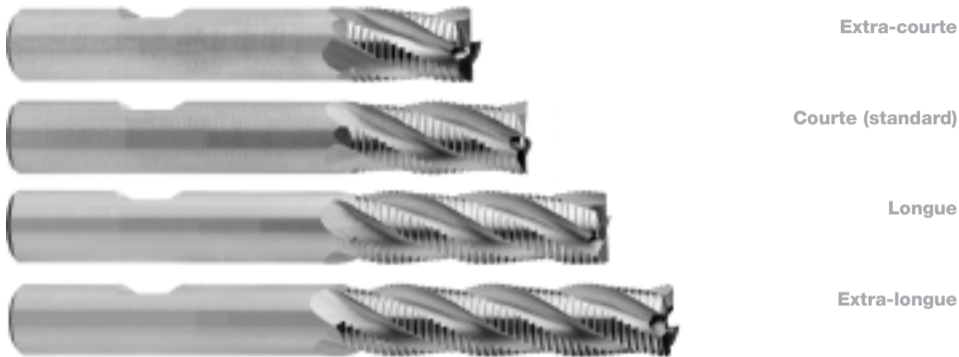
Fraise concave

Mécanique générale

- Utilisée pour arrondir les angles
- BeCS fragiles

LE SAVIEZ-VOUS ?

Les tolérances des fraises en bout en acier rapide sont les mêmes que celles des fraises en carbure



Les quatre longueurs typiques (ISO 1641/1)

La longueur de coupe définit la profondeur qui peut être usinée en une passe.

Pour de meilleures performances, spécialement en ébauche, utiliser les fraises les plus courtes possible et usiner avec un porte-outil le plus court possible.

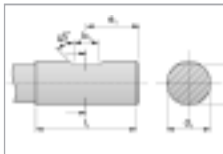
Diamètre

Les tolérances de diamètre sur les queues (h6) sont très serrées (besoin de précision dans les opérations de fraisage).

Les tolérances sur le diamètre de la partie coupante dépendent du type d'opération (ébauche, finition, rainurage), et des normes internationales ou du fabricant d'outil.

LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Pour des durées de vie d'outil plus élevées et une meilleure précision, les fraises en acier rapide peuvent être frettées



Queue Weldon

Choix de base

- + avec un ou de deux méplats de serrage
- + serrage simple, sans besoin de réglage de la longueur de coupe
- + bonne capacité de transmission du couple en ébauche
- porte-outil de grand diamètre
- problèmes d'équilibrage à grande vitesse dû à la vis



Queue cylindrique

Bon choix pour les très petits diamètres d'outil

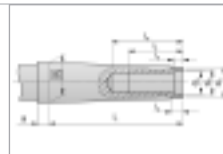
- + longueur d'outil ajustable
- + adaptable pour le serrage de précision ou le montage fretté
- + pas de problème d'équilibrage à grande vitesse (pas de plat, pas de vis)
- transmission du couple limitée
- pas adapté à l'ébauche si les diamètres > 12 mm



Queue Clarkson

En perte de vitesse

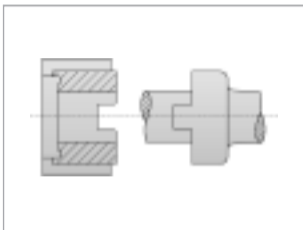
- mauvaise rigidité en torsion
- pas d'ajustement possible de la longueur de sortie de l'outil



Cône morse

Choix de base

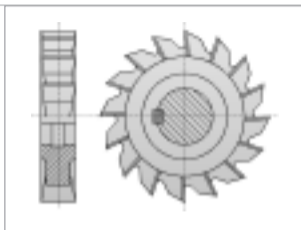
- + bonne coaxialité (assemblage conique)
- + ces porte-outils de taille raisonnable permettent une utilisation dans les zones difficiles d'accès
- transmission du couple limitée
- longueur d'outil trop longue pour de l'ébauche



Avec clavette

Pour fraise à trou à clavette

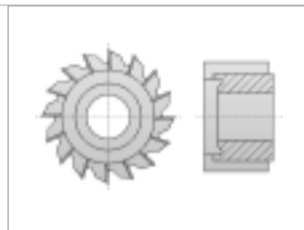
- + bonne transmission du couple.
- Permet l'empilage de plusieurs outils



À tenons

Pour les fraises à surfacer

- + bonne transmission du couple
- + équilibré et précis pour la grande vitesse.

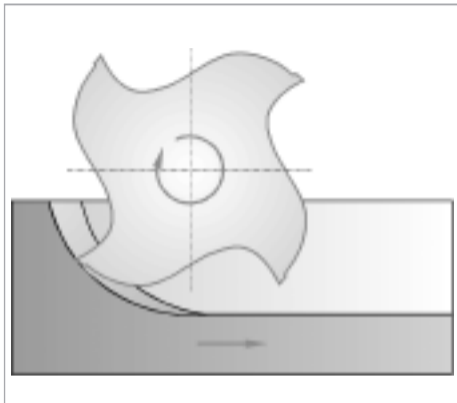


Cylindrique

Le choix économique

- + adapté aux outils peu épais
- + bridage soigneux indispensable afin d'éviter à l'outil de tourner sur le porte-outil

Le fraisage est caractérisé par une coupe discontinue et une épaisseur de copeau variable

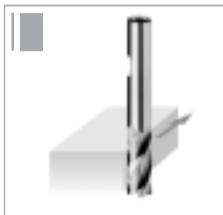


Le fraisage est une opération d'usinage à coupe discontinue.

Les arêtes de coupe ont un mouvement circulaire, produisant un copeau d'épaisseur variable.

A chaque tour, la dent entre et sort de la matière.

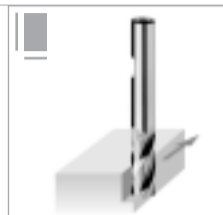
Combiné à l'épaisseur variable du copeau, ce mouvement alterné provoque des chocs ainsi qu'une variation constante des efforts de coupe.



Fraisage en roulant
ou contournage



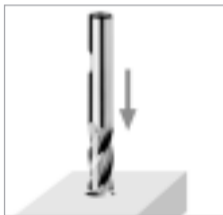
Fraisage en bout



Fraisage mixte



Rainurage



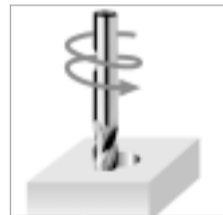
Fraisage en plongée



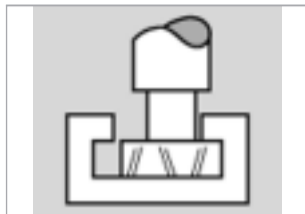
Fraisage en rampe



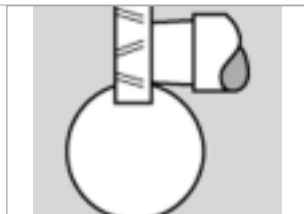
Fraisage en poche



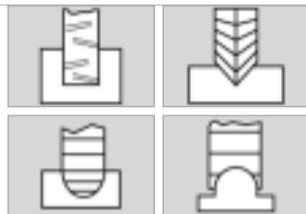
Interpolation hélicoïdale



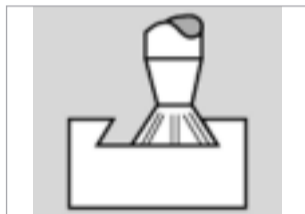
Fraise à té



Fraise Woodruff, à rainure de clavette



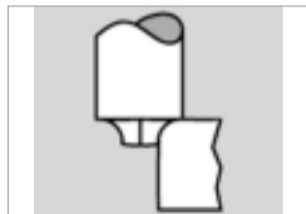
Fraise 3 tailles



Fraise queue d'aronde



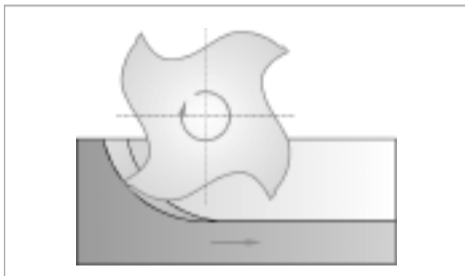
Fraise à chanfreiner



Fraise à rayonner

LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

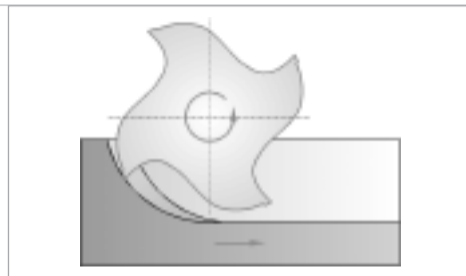
*Grâce à leurs arêtes de coupe très vives, les fraises en acier rapide peuvent usiner efficacement en avalant et en opposition
Pas de temps morts !*



Fraisage en opposition

La largeur du copeau commence à zéro et augmente jusqu'à la sortie de la dent

- + utilisé seulement lorsque la machine-outil a un manque de rigidité ou présente des jeux (fraiseuses ancienne génération, de mauvaise qualité, usée...)
- tendance à arracher la pièce
- les arêtes glissent au lieu de couper, provoquant d'importants frottements entre la face de dépouille de l'outil et la matière



Fraisage en avalant

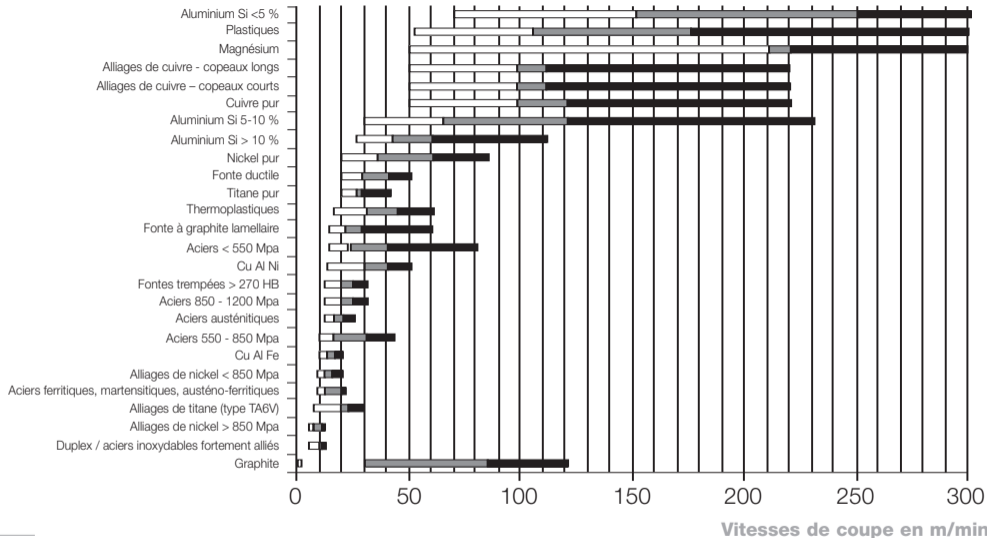
Les dents attaquent la matière en coupant la partie la plus épaisse du copeau en premier.

- + coupe efficace
- + durée de vie de l'outil longue et fiable
- + meilleur état de surface, spécialement dans les aciers inoxydables, les aluminiums ou les alliages de titane
- risque de casse de dents, dû aux rattrapages de jeux possibles dans les déplacements, ou lorsque la machine manque de rigidité

□ Fraises cylindriques en acier rapide non revêtu

■ Fraises cylindriques en acier rapide revêtu

■ Fraises cylindriques en acier rapide fritté revêtu



LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Augmentez toujours l'avance avant la vitesse de coupe

- Le taux d'enlèvement de matière dépend de deux paramètres, l'avance (f_z) et la vitesse (N) : $Q = a_p \times a_e \times N \times z_u \times f_z / 1000$
- Pour une grande productivité en fraisage, augmenter l'avance avant d'augmenter la vitesse, spécialement dans les opérations d'ébauche.
- Une avance minimum est nécessaire. Si l'avance est trop faible, la fraise ne coupe plus, mais arrache la matière.

Aciers de construction
($R_m 700 \text{ N/mm}^2$)

HISTOIRES DE SUCCÈS

Grands enlèvements de matière en...

Opération
Conditions de coupe
Taux d'enlèvement de matière

- Ebauche avec un outil revêtu à 4 dents $\varnothing 16 \text{ mm}$, $a_p 24 \text{ mm}$, $a_e 8 \text{ mm}$
- N 1350 tr/min, $v_c 68 \text{ m/min}$, $f_z 0,1 \text{ mm}$ (100 % de plus qu'avec les outils carbure)
- Q 103,7 cm^3/min

Aluminium
($<6\% \text{ Si}$)

Opération
Conditions de coupe
Taux d'enlèvement de matière

- Rainurage avec un outil revêtu à 3 dents $\varnothing 6 \text{ mm}$, $a_p 6 \text{ mm}$, $a_e 6 \text{ mm}$
- N 15650 tr/min, $v_c 295 \text{ m/min}$, $f_z 0,3 \text{ mm}$
- Q 50,8 cm^3/min (30 % de plus qu'avec un outil carbure)

Inconel 718

Opération
Conditions de coupe
Avantages

- Ebauche avec un outil à 6 dents en acier rapide fritté à 8 % Co + Outil TiCN $\varnothing 32 \text{ mm}$, $a_p 30 \text{ mm}$, $a_e 8 \text{ mm}$
- $v_c 5 \text{ m/min}$, $f_z 0,16 \text{ mm}$ (2 fois mieux qu'avec un carbure)
- Q 11,5 cm^3/min (identique au carbure) et durée de vie améliorée : 2,1 m contre 0,45 m pour le carbure

LE SAVIEZ-VOUS ?

Un arrosage déficient entraîne des chocs thermiques ?

Seuls les aciers rapides peuvent résister !

Les fluides de coupe en fraisage

- Fluides de coupe habituels : huile soluble, ou entière. Les huiles solubles avec additifs augmentent significativement la durée de vie des fraises en acier rapide
- Les fluides de coupe sont essentiels lorsque des outils non revêtus sont utilisés, spécialement en rainurage, quand le temps de contact entre l'outil et la matière est important

L'arrosage devra être soigneusement orienté :

- Lorsque l'outil entre dans la matière, pour un refroidissement efficace durant l'usinage
- Lorsque l'outil sort de la matière, pour une bonne évacuation des copeaux et des calories

Tool steel

(R_m 1040 N/mm²)

HISTOIRE D'UN SUCCES

Opération

Conditions de coupe

Avantages

- Ebauche avec un outil en acier fritté à 8 % de Co + Ti₂CN a_e 12 mm, a_e 8 mm dans un acier à outil 40CrMnMo7

- v_c 45 m/min, f_z 0,03 mm

Par rapport à l'usinage avec arrosage :

- Réduction de l'énergie spécifique de coupe (56,8 contre 46,6 W/cm³/min)
- Durée de vie légèrement modifiée (7 m contre 8,1 m)
- Potentiel pour augmenter l'avance et la productivité



NON



OUI

Fraisage à sec

- Les fraises en acier rapide peuvent aussi être utilisées avec une quantité minimum de lubrifiant, voire à sec
- Les revêtements TiAlN, qui sont une réelle barrière thermique, peuvent aussi permettre une grande productivité pour l'usinage à sec avec des fraises en acier rapide

Usinage à sec avec une fraise en acier rapide !

Problème	Solutions
Défaut de perpendicularité sur la pièce	Réduire la vitesse. Réduire la profondeur et la largeur passe. Réduire la longueur globale. Utiliser une fraise avec plus de dents plus rigide.
Mauvaise précision dimensionnelle	Réduire la profondeur et la largeur de coupe. Améliorer la rigidité du porte-outil et du bridage de la pièce. Utiliser une fraise avec plus de dents.
Vibrations	Réduire l'avance ou la vitesse. Améliorer la rigidité du porte-outil et du bridage de la pièce. Diminuer l'angle de dépouille. Diminuer la profondeur de passe. Utiliser une fraise plus courte.
Bourrage de copeaux	Réduire l'avance ou la vitesse. Utiliser une fraise avec moins de dents. Augmenter le débit de l'arrosage.
Bavures	Affûter plus fréquemment. Modifier les conditions de coupe ou l'angle de coupe.
Mauvais état de surface	Réduire l'avance et augmenter la vitesse de coupe. Affûter plus fréquemment. Réduire le taux d'enlèvement de copeaux.
Casse de la fraise	Réduire la vitesse de coupe et l'avance à la dent. Utiliser une fraise plus courte. Affûter plus fréquemment.
Durée de vie d'outil trop courte	Affûter plus fréquemment. Utiliser une fraise en acier rapide fritté. Modifier les conditions de coupe et l'angle de coupe.

*En fraisage,
une surveillance
de l'usure des becs
prolonge la vie
de l'outil.*

Usure en dépouille	Usure en cratère	Ecaillage	Déformation	Arête rapportée
<ul style="list-style-type: none">• Usure normale• Si trop importante, réduire d'abord la vitesse de coupe (v_c) puis la largeur de passe (a_p)• Augmenter le débit de l'arrosage• Utiliser un acier rapide fritté et un revêtement	<ul style="list-style-type: none">• Doit être limitée• Diminuer la vitesse de coupe (v_c)• Utiliser un outil revêtu et un acier rapide à 8 % de Co• Vérifier l'arrosage	<ul style="list-style-type: none">• Doit être évité• Diminuer d'abord l'avance (f_z) puis la profondeur de passe (a_p)• Utiliser un matériau plus dur (acier rapide fritté)	<ul style="list-style-type: none">• Doit être évitée• Réduire d'abord la vitesse de coupe (v_c), puis l'avance (f_z) et enfin a_p• Utiliser un outil revêtu et acier rapide (fritté ou non) à 8 % de Co• Augmenter le débit de l'arrosage	<ul style="list-style-type: none">• Doit être limitée• Augmenter la vitesse de coupe (v_c) et/ou l'avance (f_z)• Augmenter l'angle effectif de coupe• Augmenter le débit de l'arrosage• Utiliser un revêtement qui réduit le frottement

LE SAVIEZ-VOUS ?

L'observation attentive des copeaux apporte de nombreuses informations !

Forme du copeau

Un copeau de fraisage à une forme en hélice.

L'extrémité se trouvant à l'intérieur de la spirale se forme lorsque l'arête de coupe entre dans la matière.

En fraisage en avalant, cette extrémité est la plus épaisse.

Contrôle du copeau

Contrôler le fraisage en mesurant et en observant le copeau :

- La hauteur dépend de la profondeur de passe : les copeaux les plus hauts s'obtiennent en contournage.
- La longueur dépend de la largeur de passe et du diamètre de l'outil ; plus le diamètre d'outil est grand, plus le copeau est long.
- L'épaisseur est proportionnelle à l'avance par dent et à la largeur de passe.
- Les copeaux de fraisage doivent être réguliers.

- Les copeaux de fraisage doivent avoir une couleur homogène.
- Lorsque l'arrosage est utilisé, il ne doit pas y avoir de trace d'échauffement sur le copeau.

Comment éviter les problèmes ?

Il est important que les copeaux ne restent pas dans la zone de coupe.

Si les copeaux sont irréguliers, s'il y a des copeaux en aiguilles, ou s'ils sont de plusieurs couleurs, c'est que les conditions de coupe ne sont pas bien choisies, que l'arrosage n'est pas efficace, qu'il y a des vibrations ou que les arêtes de coupe sont usées.

Symbole	Unité	Nom
D	mm	Diamètre d'outil
T	mm	Temps d'usinage
Z		Nombre de dents
a_p	mm	Profondeur de passe
a_e	mm	Largeur de passe

Symbole	Unité	Nom	Formule
v_c	m/min	Vitesse de coupe	$v_c = \frac{\pi DN}{1000}$
N	tr/min	Tours par minute	$N = \frac{1000v_c}{\pi D}$
v_f	mm/min	Avance par minute	$v_f = NZ f_z$
f_z	mm/dent	Avance par dent	$f_z = \frac{v_f}{NZ}$
Q	cm ³ /min	Débit de matière	$Q = \frac{a_p a_e NZ f_z}{1000}$
h_m	mm	Epaisseur moyenne des copeaux	$\frac{\sqrt{a_e} f_z}{D}$
h_{max}	mm	Epaisseur maxi des copeaux	