

NORME INTERNATIONALE

ISO
8688-2

Première édition
1989-05-01

Essai de durée de vie des outils de fraisage —

Partie 2 : Fraisage combiné

*Tool life testing in milling —
Part 2 : End milling*



Numéro de référence
ISO 8688-2 : 1989 (F)

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 8688-2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 29, *Petit outillage*.

L'attention des utilisateurs est attirée sur le fait que toutes les Normes internationales sont de temps en temps soumises à révision et que toute référence faite à une autre Norme internationale dans le présent document implique qu'il s'agit, sauf indication contraire, de la dernière édition.

© ISO 1989

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

Sommaire

	Page
0 Introduction	1
1 Objet et domaine d'application	1
2 Références	3
3 Pièce	3
3.1 Matériau de la pièce	3
3.2 Dimensions	4
4 Outil : Fraise	4
4.1 Dimensions et tolérances	4
4.2 Géométrie de l'outil	4
4.3 Conditions de l'outil	5
4.4 Matériau d'outil	5
4.5 Montage de l'outil	5
5 Liquide de coupe	7
6 Conditions de coupe	7
6.1 Conditions de coupe recommandées	7
6.2 Autres conditions de coupe	7
6.3 Vitesse de coupe	7
7 Détérioration de l'outil et critères de durée de vie	7
7.1 Introduction	7
7.2 Définitions	8
7.3 Phénomènes de détérioration d'outil	9
7.4 Phénomènes de détérioration d'outil utilisés comme critères de durée de vie	14
7.5 Détermination de la détérioration d'outil	14

8	Équipement	15
8.1	Machine-outil	15
8.2	Autres équipements	15
9	Mode opératoire	16
9.1	Objectif	16
9.2	Organisation	16
9.3	Préparation du matériau, des outils et de l'équipement	17
9.4	Technique des essais	17
9.5	Mesures et enregistrement de la détérioration d'outil	17
10	Évaluation des résultats	18
10.1	Considérations générales	18
10.2	Traitement des valeurs/observations	18
10.3	Nombre d'essais	18
10.4	Diagrammes	20
10.5	Interprétation statistique	20
Annexes		
A	Matériaux de la pièce de référence	22
B	Exemple de feuille de données	23
C	Calculs statistiques	24
Bibliographie		26

Essai de durée de vie des outils de fraisage —

Partie 2 : Fraisage combiné

0 Introduction

Les procédures et conditions d'essais de durée de vie des outils de tournage à partie active unique font l'objet de l'ISO 3685. Le succès de l'application de l'ISO 3685 a conduit à demander des documents similaires pour d'autres procédés de coupe d'utilisation courante.

La présente partie de l'ISO 8688 a été développée à l'initiative du CIRP et s'applique aux opérations de fraisage combiné avec outils en acier rapide qui représentent une importante activité de fabrication; une illustration est donnée aux figures 1, 2 et 3.

Les recommandations de la présente partie de l'ISO 8688 sont applicables à la fois dans les laboratoires et les unités de fabrication. Elles sont destinées à unifier les procédures afin d'augmenter la fiabilité et la comparabilité des résultats d'essai, lors de comparaison d'outils, matériaux à usiner, paramètres de coupe ou de liquides de coupe. Afin de se rapprocher le plus possible de ces objectifs, des matériaux de référence et des conditions recommandées sont prévus, qui devraient être utilisés chaque fois qu'ils conviennent.

De plus, les recommandations peuvent être utilisées comme aide lors de la recherche de données de coupe à recommander ou de détermination de facteurs limites et de caractéristiques d'usinage tels que forces de coupe, caractéristiques de la surface engendrée, forme du copeau, etc. Pour ces objectifs en particulier, certains paramètres, auxquels ont été attribuées des valeurs recommandées, peuvent devoir être utilisés comme variables.

Les conditions d'essai recommandées dans la présente partie de l'ISO 8688 conviennent pour des essais de fraisage combiné sur des pièces en acier et en fonte de micro-structure normale. Cependant, moyennant des modifications appropriées, la présente partie de l'ISO 8688 peut être appliquée par exemple à des essais de fraisage combiné sur d'autres matériaux de pièce ou avec des outils développés pour des applications spécifiques.

La précision spécifiée dans ces recommandations devrait être considérée comme exigence minimale. Toute différence par rapport aux recommandations devrait être mentionnée dans le procès-verbal de façon détaillée.

NOTE — La présente partie de l'ISO 8688 ne constitue pas un essai de réception et il ne convient pas de l'utiliser comme tel.

1 Objet et domaine d'application

La présente partie de l'ISO 8688 spécifie les exigences recommandées pour les essais de durée de vie des outils en acier rapide pour le fraisage combiné de pièces en acier et fonte. Elle peut être utilisée dans des laboratoires aussi bien qu'en production.

La présente partie de l'ISO 8688 donne des spécifications pour les trois types d'essai de fraisage combiné suivants :

- a) rainurage (voir figure 1);
- b) fraisage combiné, prédominance en roulant (voir figure 2);
- c) fraisage combiné, prédominance en bout (voir figure 3).

En fraisage combiné, deux catégories de conditions de coupe peuvent être considérées comme suit :

- a) conditions entraînant une détérioration de l'outil principalement due à l'usure;
- b) conditions pour lesquelles la détérioration de l'outil est principalement due à d'autres phénomènes tels que brisure d'arête ou déformation plastique.

La présente partie de l'ISO 8688 concerne seulement les recommandations pour des essais aboutissant principalement à une usure d'outil.

Les essais suivant le second groupe de conditions ci-dessus doivent faire l'objet d'une étude ultérieure.

Pour chacun de ces types d'essai, des recommandations sont faites sur : pièce, outil, liquide de coupe, conditions de coupe, équipement, détermination de la détérioration de l'outil et de sa durée de vie, procédure d'essais, enregistrement, évaluation et présentation des résultats.

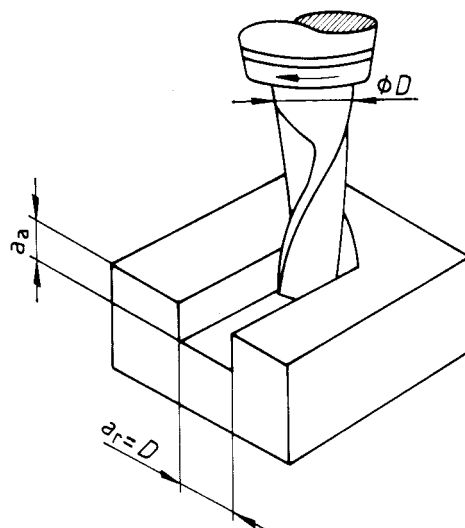
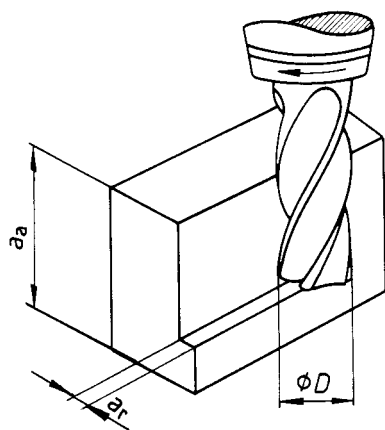
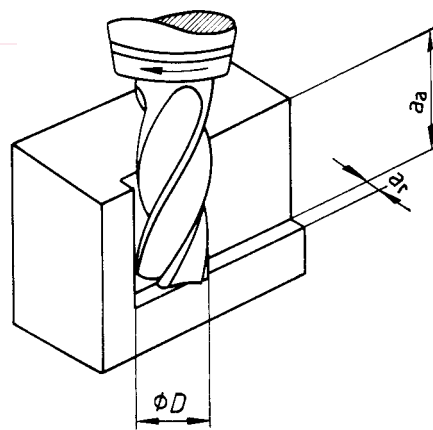


Figure 1 — Rainurage

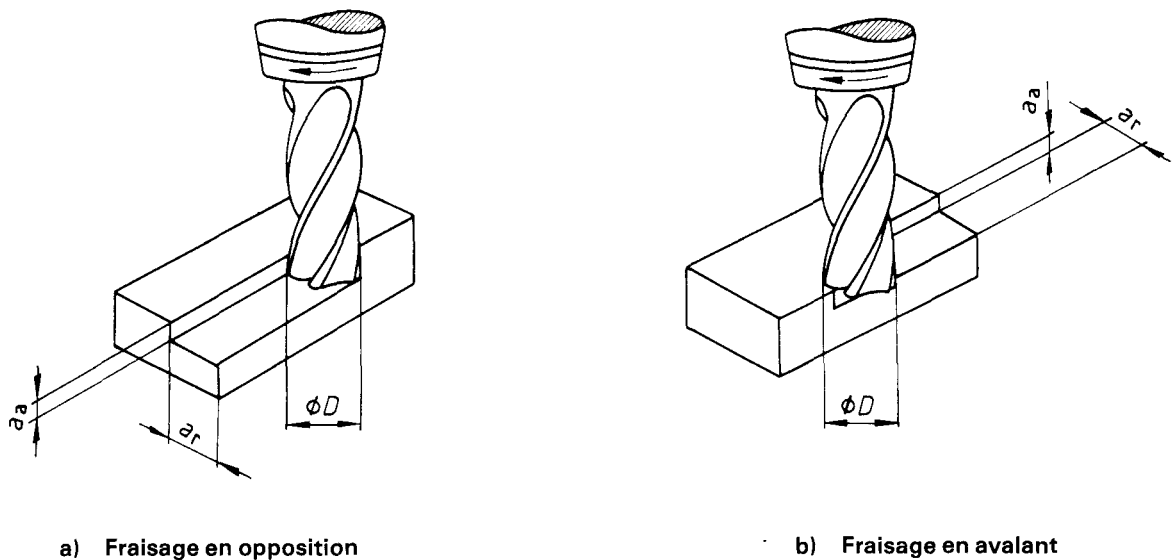


a) Fraisage en opposition



b) Fraisage en avalant

Figure 2 — Fraisage combiné ($a_a > a_r$)

Figure 3 — Fraisage combiné ($a_a < a_r$)

2 Références

ISO/R 185, *Classification de la fonte grise.*

ISO 468, *Rugosité de surface — Paramètres, leurs valeurs et les règles générales de la détermination des spécifications.*

ISO/R 683-3, *Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage — Partie 3 : Aciers corroyés non alliés trempés et revenus avec une teneur en soufre contrôlée.*

ISO 1641-1, *Fraises cylindriques 2 tailles et fraises à rainurer — Partie 1 : Fraises à queue cylindrique.*

ISO 1701, *Conditions d'essais des machines à fraiser à table de hauteur variable, à broche horizontale ou verticale — Contrôle de la précision.*

ISO 2854, *Interprétation statistique des données — Techniques d'estimation et tests portant sur des moyennes et des variances.*

ISO 3002-1, *Grandeurs de base pour la coupe et la rectification — Partie 1 : Géométrie de la partie active des outils coupants — Notions générales, système de référence, angles de l'outil et angles en travail, brise-copeaux.*

ISO 3685, *Essais de durée de vie des outils de tournage à partie active unique.*

ISO 4957, *Aciers à outils.*

ISO 5414-1, *Mandrins porte-outils, à vis de blocage, pour outils à queue cylindrique à méplat — Partie 1 : Dimensions du système d'entraînement des queues d'outils.*

ISO 5414-2, *Mandrins porte-outils, à vis de blocage, pour outils à queue cylindrique à méplat — Partie 2 : Dimensions d'encombrement des mandrins.*

3 Pièce

3.1 Matériau de la pièce

En principe, les organismes d'essai sont libres de choisir les matériaux de pièce en fonction de leurs intérêts propres. Cependant, afin d'augmenter la comparabilité des résultats entre organismes d'essai, l'utilisation de l'un des matériaux de référence, acier C45 suivant ISO/R 683-3 ou fonte nuance 25 suivant ISO/R 185, est recommandée. Des spécifications plus précises sur ces matériaux sont données dans l'annexe A.

Les matériaux peuvent être différents à l'intérieur des spécifications, ce qui affecte l'usabilité. Pour minimiser de tels problèmes, la livraison d'un matériau d'essai suivant des spécifications plus serrées doit être discutée avec le fournisseur.

Les informations concernant le matériau d'essai telles que nuance, composition chimique, propriétés physiques, micro-structure, détails complets sur le procédé de mise en œuvre du matériau d'essai (par exemple laminé à chaud, forgé, moulé ou étiré à froid) et tout traitement thermique devraient être mentionnés dans le procès-verbal d'essai (voir 9.3.1 et annexe A).

La dureté de la pièce préparée doit être déterminée à une extrémité de chaque échantillon d'essai sur la zone d'essai, dans la section (voir 9.3.1). Pour les sections recommandées, les empreintes de dureté doivent se situer le long de la ligne médiane de la zone, parallèle au plus grand côté. Le nombre minimal de points d'essai est cinq : un au centre, un à proximité de chaque extrémité, et un entre les deux (voir figure 4).

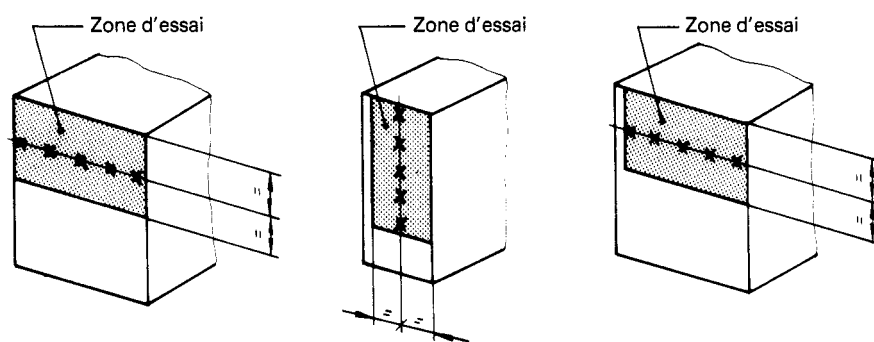


Figure 4 — Essai de dureté

Pour les pièces coupées à partir de billettes plus grandes ou pour lesquelles des variations de dureté significatives peuvent être envisagées, des mesures de dureté complémentaires devraient être effectuées pour garantir que les valeurs de dureté sont dans les limites prescrites. L'emplacement de tels points de mesure et la méthode de mesure devraient être mentionnés dans le procès-verbal d'essai.

Les écarts de dureté pour un lot de matériau devraient être aussi faibles que possible. Une valeur réaliste pour les matériaux de référence de l'annexe A et des matériaux similaires est $\pm 5\%$ de la valeur moyenne.

Afin de pouvoir comparer les résultats sur des périodes de temps raisonnablement longues, il est recommandé que les organismes d'essai se procurent des quantités suffisamment importantes de matériau de référence pour couvrir leurs besoins.

3.2 Dimensions

3.2.1 La pièce recommandée pour le fraisage combiné (voir 9.3.1) doit être une barre ou une billette de section rectangulaire ayant une largeur minimale de 2 fois le diamètre coupant (50 mm min. pour $D = 25$ mm) et une longueur minimale de 10 fois le diamètre coupant (250 mm min. pour $D = 25$ mm) mais si possible avec une longueur recommandée de 20 fois le diamètre coupant. La longueur réelle devrait être notée.

Les hauteurs maximale et minimale ainsi que la largeur peuvent être déterminées par le nombre d'essais à effectuer et la nécessité d'avoir des propriétés du matériau uniformes. Ces dimensions devraient être réduites pour assurer la stabilité voulue pendant l'usinage. Les dimensions réelles doivent être notées.

3.2.2 Pour les fontes, les dimensions du parallélépipède doivent être choisies de façon à obtenir les structures métallographiques requises.

4 Outil : Fraise

En principe, les organismes d'essai sont libres de choisir la fraise en fonction de leurs intérêts propres. Cependant, afin d'augmenter la comparabilité des résultats entre organismes

d'essai, l'utilisation d'une fraise à rainurer de $\phi 25$ mm est recommandée pour les essais de rainurage (voir figure 1) ou d'une fraise 2 tailles à 4 dents de $\phi 25$ mm pour les essais de fraisage combiné (voir figures 2 et 3).

Toute différence par rapport à la fraise recommandée devrait être notée.

4.1 Dimensions et tolérances

Les dimensions de la fraise recommandée doivent être conformes à l'ISO 1641-1. Les principales dimensions des fraises recommandées sont données aux figures 5 et 6.

Les écarts entre les outils individuels utilisés dans le même cycle d'essai devraient être réduits au minimum (voir 4.2 et 9.3).

4.2 Géométrie de l'outil

4.2.1 Il est recommandé que tous les essais dans lesquels la géométrie de l'outil n'est pas la variable d'essai soient effectués en retenant la géométrie d'outil donnée dans le tableau 1.

Les désignations des angles sont en accord avec l'ISO 3002-1 (voir figure 7).

L'écart entre les outils individuels utilisés dans le même cycle d'essai devrait être réduit au minimum. Cela signifie que des tolérances plus faibles que celles données dans le tableau 1 sont recommandées. Cela s'applique en particulier à la dépouille primaire α_{01} .

La livraison d'outils à tolérances géométriques plus serrées devrait être discutée avec le fournisseur.

4.2.2 Pour les essais pour lesquels la géométrie de l'outil est la variable d'essai, tous les outils doivent être fabriqués ensemble, dans le même lot et même coulée d'acier et subir le même traitement thermique.

Les écarts entre les outils individuels utilisés dans le même cycle d'essai devraient être réduits au minimum.

La livraison d'outils répondant à cette condition devrait être discutée avec le fournisseur.

4.3 Conditions de l'outil

Afin d'éviter les problèmes de réaffûtage, il est recommandé de n'utiliser que des outils neufs. Cependant, si les effets du réaffûtage sont recherchés, le diamètre de l'outil ne devrait pas être réduit en dessous de 90 % du diamètre d'origine, et pour de tels essais le diamètre réel devrait être noté dans le procès-verbal d'essai.

La rugosité de surface, R_a , de la face de coupe de l'outil ne doit pas excéder 1,25 μm . Pour la face de dépouille, cette limite est de 0,8 μm . La rugosité R_a est mesurée conformément à l'ISO 468.

4.4 Matériau d'outil

Pour tous les essais de coupe, dans lesquels le matériau d'outil n'est pas la variable d'essai, l'investigation doit être faite avec un matériau de référence approprié, à définir par l'organisme d'essai.

En principe, les organismes d'essai sont libres de choisir les matériaux d'outil en fonction de leurs intérêts propres. Cependant afin d'augmenter la comparabilité des résultats entre organismes d'essai, l'utilisation de l'un des matériaux de référence suivants est recommandée : acier rapide non revêtu, sans cobalt (S2 et S4) ou avec cobalt (S8 et S11), conformes à l'ISO 4957. Chaque fois que possible, la livraison d'outils provenant du même lot devrait être demandée.

La livraison d'un matériau d'outil de référence suivant des spécifications plus serrées pour les essais d'usinage devrait être

discutée avec le fournisseur afin de garantir la plus grande uniformité possible de l'outil (voir 4.2.2). Ces matériaux d'outils de référence ne devraient avoir ni revêtement ni traitement de surface.

Si le matériau d'outil est la variable d'essai, la classification de ce matériau et le plus de caractéristiques possible doivent être notées.

La présence de tout revêtement ou traitement de surface doit être notée en détail.

4.5 Montage de l'outil

La fraise 2 tailles ou la fraise à rainurer doit être montée dans un mandrin conforme à l'ISO 5414-1 et à l'ISO 5414-2. Elle doit être solidement fixée dans le mandrin et son battement doit être soigneusement contrôlé sur les arêtes (outil monté). En tout point de l'arête, le battement ne doit pas excéder les valeurs suivantes :

- battement radial : 50 μm
- battement axial : 30 μm

Ces valeurs peuvent être obtenues en utilisant des outils et mandrins standard montés sur des machines conventionnelles.

Pour les essais utilisant la valeur la plus basse de l'avance par dent (voir tableaux 2 et 3), des efforts devraient être faits pour choisir des outils et des mandrins qui réduisent les valeurs de battement. Les valeurs réelles doivent être mesurées et notées.

Dimensions en millimètres

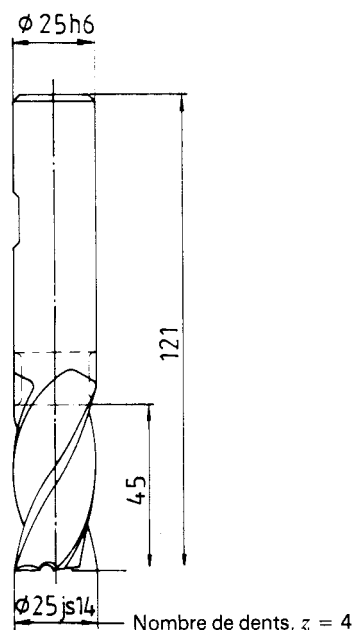


Figure 5 — Fraise 2 tailles
(voir ISO 1641-1)

Dimensions en millimètres

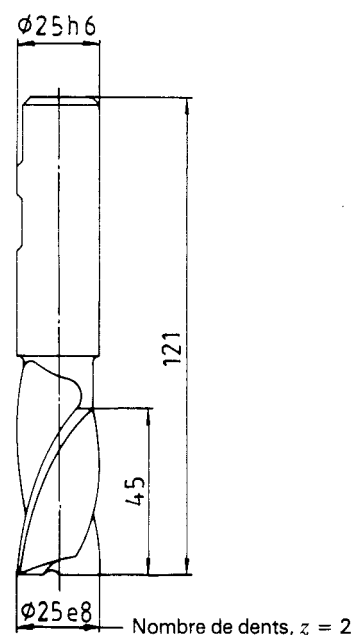


Figure 6 — Fraise à rainurer
(voir ISO 1641-1)

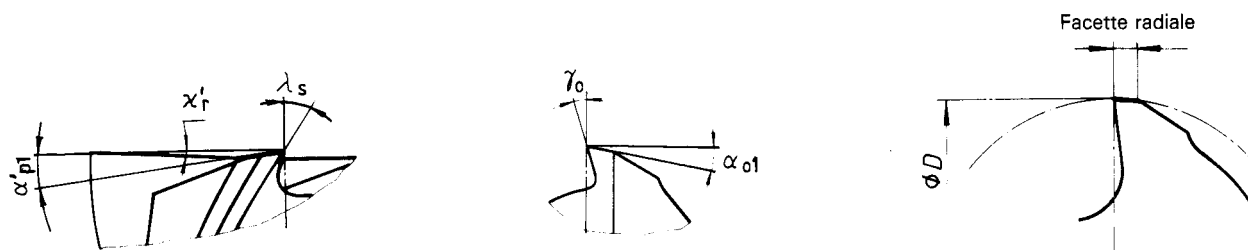


Figure 7 — Géométrie de l'outil

Tableau 1 — Géométrie d'outil et tolérances pour fraises 2 tailles et fraises à rainurer

Symbole	Terminologie conforme à l'ISO 3002-1	Terminologie d'usage courant	Géométrie et tolérances	
			Fraises 2 tailles	Fraises à rainurer
λ_s	Angle d'inclinaison d'arête de l'outil	Angle d'hélice	$30^\circ \pm 2^\circ$	$30^\circ \pm 2^\circ$
α'_r	Angle de direction d'arête secondaire de l'outil	Angle de direction d'arête secondaire	$1^\circ \pm 0,5^\circ$	$1^\circ \pm 0,5^\circ$
γ_o	Angle de coupe orthogonal de l'outil	Angle de coupe radial	$12^\circ \pm 3^\circ$	$12^\circ \pm 3^\circ$
α_{o1}	Dépouille orthogonale de l'outil, première face de dépouille	Dépouille primaire, arête périphérique	$8^\circ \pm 2^\circ$	$8^\circ \pm 2^\circ$
α'_{p1}	Dépouille vers l'arrière de l'arête secondaire de l'outil, première face de dépouille secondaire	Dépouille primaire, arête en bout	$7^\circ \pm 1^\circ$	$7^\circ \pm 1^\circ$
		Facette radiale, mm	—	0,2 max.
		Battement radial, μm	18	8
		Battement axial, μm	18	18
		Chanfrein de bec (45°) ou rayon, mm	$0,3 \pm 0,1$	$0,12 \pm 0,03$

5 Liquide de coupe

L'usinage de l'acier doit s'effectuer avec un liquide de coupe. Dans le cas de la fonte, l'utilisation de liquide de coupe n'est pas recommandée. Le liquide de coupe doit être clairement spécifié. Cette spécification devrait inclure par exemple, la marque commerciale ou la composition des éléments actifs, la concentration réelle, la dureté de l'eau (lorsqu'elle est utilisée comme diluant) ou la valeur du pH de la solution ou de l'émulsion.

Dans ces cas, le jet du liquide de coupe devrait être dirigé vers la partie active de l'outil. Le débit ne devrait pas être inférieur à 3 l/min ou 0,1 l/min par centimètre cube de métal enlevé en 1 min, en retenant la valeur la plus grande. Le diamètre de l'orifice, le débit et la température du réservoir devraient être notés.

6 Conditions de coupe

Les conditions de coupe recommandées (voir tableaux 2 et 3) sont choisies et combinées afin de correspondre aux principes de fraisage objet de la présente partie de l'ISO 8688 (voir figures 1, 2 et 3). Sont considérés aussi bien le fraisage en opposition (mouvement d'avance opposé au mouvement périphérique de l'outil) que le fraisage en avalant (mouvement d'avance dans la même direction que le mouvement périphérique de l'outil).

6.1 Conditions de coupe recommandées

Pour tous les essais dans lesquels l'avance par dent, f_z , la profondeur de coupe axiale, a_a , ou la profondeur de coupe radiale, a_r , ne constituent pas les variables principales de l'essai, les conditions de coupe doivent être choisies à partir des tableaux 2 et 3.

Tableau 2 — Conditions de coupe recommandées pour le rainurage

Condition de coupe		I	II
Profondeur de coupe axiale, a_a	mm	12,5	20
Profondeur de coupe radiale, a_r	mm	25 ¹⁾	25 ¹⁾
Avance, f_z	mm/dent	0,08	0,125

1) Diamètre de la fraise à rainurer.

Tableau 3 — Conditions de coupe recommandées pour le fraisage combiné

Condition de coupe		I	II	III	IV
		$a_a > a_r$ (voir figure 2)		$a_a < a_r$ (voir figure 3)	
Profondeur de coupe axiale, a_a	mm	20	20	12,5	12,5
Profondeur de coupe radiale, a_r	mm	2,5	2,5	20	20
Avance, f_z	mm/dent	0,08	0,125	0,08	0,125

La tolérance sur les profondeurs de coupe axiale et radiale doit être $\pm 5\%$.

6.2 Autres conditions de coupe

Lorsque l'avance, la profondeur de coupe axiale ou la profondeur de coupe radiale sont les variables d'essai, toutes les données doivent être clairement spécifiées. Il faut noter cependant que les conditions de coupe doivent être compatibles avec les possibilités de l'outil, de la machine, de la fixation, etc., afin d'obtenir des résultats d'essai fiables.

Lorsque les conditions de coupe indiquées dans les tableaux 2 ou 3 ne peuvent être obtenues, d'autres valeurs aussi proches que possible de celles indiquées peuvent être utilisées. Elles devraient être limitées aux valeurs minimales données dans le tableau 4.

La profondeur de coupe radiale maximale, a_r , pour le fraisage combiné devrait être limitée à $0,8D$ ¹⁾.

Tableau 4 — Limites minimales pour les conditions de coupe

Condition de coupe		Rainurage	Fraisage combiné
Avance minimale par dent, f_z	mm	0,05	0,05
Profondeur de coupe axiale, a_a	mm	2	2*
Profondeur de coupe radiale, a_r	mm	—	2**

* Pour $a_a < 0,25D$, a_r devrait être au moins égal à $0,25D$.

** Pour $a_r < 0,25D$, a_a devrait être au moins égal à $0,25D$.

6.3 Vitesse de coupe

La vitesse de coupe est la vitesse périphérique de l'outil déterminée pour le diamètre nominal (voir figures 5 et 6). La vitesse de coupe moyenne devrait être mesurée pour l'outil sous charge, à des conditions de coupe représentatives des conditions d'essai pour tenir compte des pertes dues à la coupe.

Il est conseillé d'établir la vitesse voulue à partir d'un essai préliminaire (voir 9.2). Une vitesse de coupe appropriée peut être trouvée dans les manuels de données d'usinage. Pour les matériaux de pièce de référence et l'outil de référence cette vitesse sera d'environ 30 m/min pour l'acier rapide S2 et S4 et 35 m/min pour l'acier rapide S8 et S11.

Un changement relativement faible de la vitesse de coupe peut affecter de façon significative la vie de l'outil, par exemple une variation de $\pm 5\%$ peut approximativement doubler ou diviser par deux la vie de l'outil.

7 Détérioration de l'outil et critères de durée de vie

7.1 Introduction

Dans les situations pratiques d'atelier, le moment où un outil cesse de produire des pièces de dimension ou de qualité de surface désirée détermine habituellement la fin de la durée de vie utile de l'outil. La période s'étendant jusqu'au moment où l'outil est incapable de couper davantage peut aussi être considérée comme durée utile de l'outil. Cependant, les raisons pour

1) D = Diamètre de la fraise (25 mm pour une fraise standard soit $a_r \text{ max.} = 20 \text{ mm}$)