**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande

**Band:** 84 (1958)

**Heft:** 8: Outillage

**Artikel:** Conception, fabrication et emploi de l'outil de coupe par enlèvement de copeaux en carbure de tungstène

**Autor:** Witthof, J.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-63489

**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:** 14.07.2025

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

### 2. Sciage du germanium et du silicium

Ici encore, l'épaisseur minimum des disques est requise, ces matériaux coûtant le prix de l'or.

Les lingots sont coupés en lamelles (slicing) qui sont elles-mêmes divisées en petits carrés (dicing). On utilise souvent pour ces opérations soit des batteries de disques sur un même arbre, soit des machines entièrement automatiques, réalisant les coupes successives.

Parfois, on découpe le lingot en lamelles plus épaisses qui sont elles-mêmes découpées en petits barreaux de section carrée, lesquels sont seulement débités en pastilles, ceci afin de réduire les pertes.

Des disques diamantés appropriés ont été mis au point pour chaque opération. On a pu constater que l'utilisation de disques à liant bronze n'altérait en rien les qualités électriques des pastilles de germanium, à condition de procéder à un léger nettoyage à l'acide.

### 3. Divers

L'industrie électronique fait de plus en plus appel à des matériaux synthétiques qui, à côté de l'intérêt qu'ils présentent, créent parfois des difficultés lorsqu'il faut les usiner : ferrites, céramiques spéciales, réfractaires très durs, etc.

Dans bien des cas, l'utilisation d'outils diamantés permet de résoudre les problèmes d'usinage de ces matériaux, pour autant que les caractéristiques des outils, granulation, concentration, liant ainsi que les conditions d'emploi soient judicieusement choisies.

621.9.02:661.665.2

# CONCEPTION, FABRICATION ET EMPLOI DE L'OUTIL DE COUPE PAR ENLÈVEMENT DE COPEAUX EN CARBURE DE TUNGSTÈNE

par Prof. Dr. ing. habil. Dr. J. WITTHOFF, Essen

## A. Introduction

L'objet des considérations qui vont suivre ne peut être de traiter de façon complète les nombreux problèmes soulevés par le thème choisi. Il semble plus opportun de se limiter au développement récent de la technique dans ce domaine. Pour les questions de détail, on pourra se référer à la bibliographie.

Les carbures métalliques frittés, connus aujourd'hui surtout sous le nom de carbures de tungstène ou métal dur, ont été introduits sur le marché pour la première fois en 1926 par la maison Krupp, à Essen, sous la désignation de « Widia », tirée du terme « wie Diamant ». Ils étaient surtout utilisés dans le domaine de l'usinage par enlèvement de copeaux et contribuèrent à augmenter notablement la tenue de coupe et les vitesses de coupe utilisables. Cela marqua pour le rythme de l'usinage un énorme progrès qui s'est répercuté aussi bien dans le domaine technique que dans celui de l'économie. C'est ainsi que les carbures de tungstène constituèrent l'un des *moyens de rationalisation* les plus importants que le développement récent de la technique ait enregistrés. Aujourd'hui encore, après plus de trois décades, les avantages qu'ils procurent ne sont pas tous exploités.

Les outils en carbure de tungstène jouent un rôle croissant et important également dans le *façonnage sans copeaux*. Les considérations qui vont suivre se limitent toutefois à l'usinage par enlèvement de copeaux. Le paragraphe suivant est consacré aux carbures de tungstène eux-mêmes. Puis, la conception, la fabrication et l'utilisation des outils de coupe par enlèvement des copeaux seront traitées séparément.

## B. Les carbures métalliques frittés

Les composants essentiels des carbures métalliques, communément appelés « métaux durs », sont des carbures durs, dont le carbure de tungstène *WC* est la base.

Le progrès décisif des dernières vingt années qui se produisit dans le domaine qui nous occupe consiste en ceci : les carbures métalliques coulés connus jusqu'alors, dont la fabrication était difficile et qui avaient une ténacité et une porosité peu satisfaisantes, ont été presque complètement remplacés par les métaux durs *frittés*. On utilise pour leur fabrication un métal auxiliaire, le plus souvent le cobalt, qui intervient pour une part d'environ 3 à 30 %. Dans la composition du carbure de tungstène, en général, on utilise les matières premières sous forme de poudre ; de cette façon les températures de fabrication ont pu être abaissées d'environ 1000 degrés centigrades par rapport au procédé de fusion employé jusqu'alors.

Les premiers carbures métalliques frittés étaient des alliages de carbure de tungstène et de cobalt. Au cours du développement de ceux-ci, on fit de plus en plus des alliages avec adjonction d'autres carbures, parmi lesquels il convient de citer en particulier les carbures de titane, de tantale, de niobium et de chrome. Il fut ainsi possible de mettre à la disposition de l'industrie un plus grand nombre de *nuances de métaux durs* dont les propriétés étaient fonction de leurs diverses applications.

En général, les carbures de tungstène se caractérisent par une grande *dureté* et, en conséquence, par une bonne *résistance à l'usure*. Leur résistance à la chaleur est considérable, comme le montre la *figure 1*. La *ténacité*, qui n'était pas satisfaisante au début, a été considérablement augmentée au cours du développement technique.

Toutes les *séries de métaux durs*, quel qu'en soit le fabricant, montrent la même propriété suivante : si la résistance à l'usure augmente, la ténacité diminue, et inversement. Ceci est visible sur la *figure 2*, pour une

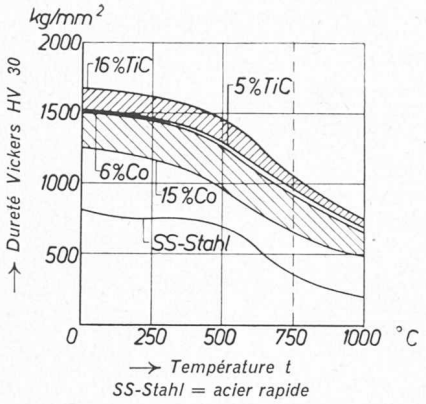


Fig. 1. — Résistance à la chaleur de différentes matières de coupe, selon J. Hinnüber, Essen.

//// Alliages de carbure de tungstène, de carbure de titane et de cobalt avec différents pourcentages de carbure de titane.

\\\\ Alliages de carbure de tungstène, et de cobalt, avec différents pourcentages de cobalt.

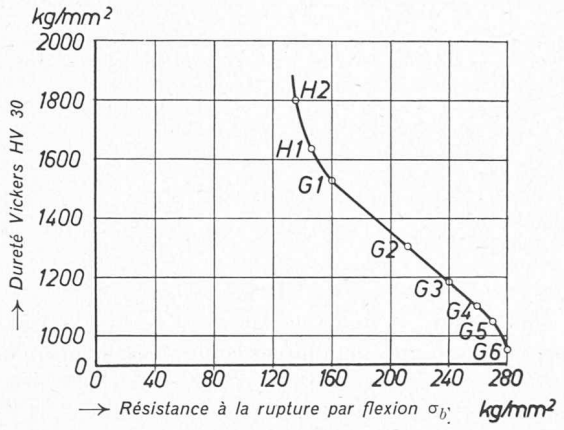


Fig. 2. — Dureté Vickers HV 30 d'une série de carbures de tungstène en fonction de la résistance à la rupture par flexion, selon J. Hinnüber.

série déterminée de carbures de tungstène. Dans l'intérêt d'un travail continu et pour éviter la rupture des plaquettes en métal dur, il convient en premier lieu de veiller à ce que la ténacité soit suffisante.

Au cours de ces dernières années, de notables efforts pour la création de nouvelles nuances de carbures métalliques ont été faits, en particulier en Allemagne, aux Etats-Unis, en Suède et en Suisse. A ce sujet, les points suivants sont caractéristiques :

1. La *résistance à l'usure* et la ténacité ont pu être grandement améliorés.
2. Vu que les efforts des ateliers tendent à rationaliser toujours plus la fabrication et à utiliser en particulier pour les fabrications de série et de masse des outils à haut rendement, le *nombre des nuances* a été tout récemment fortement augmenté.

Il est d'usage de subdiviser les carbures de tungstène en trois groupes. Ceux-ci sont précisés dans le tableau contenant les désignations des nuances selon les normes suisses VSM 34150 et selon une proposition exposée ci-après, ainsi qu'à titre d'exemple, les propriétés et les domaines d'emploi des plus importantes des nuances des métaux durs de la fabrique « Widia », à Essen. Les nuances H3, TT25, AT2 et A représentent le résultat

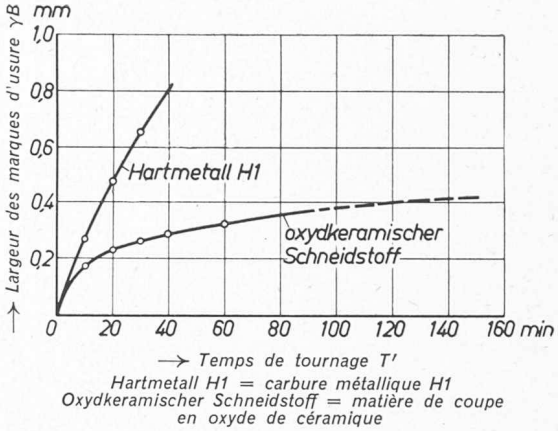


Fig. 3. — Résistance à l'usure du carbure de tungstène H1 et d'une matière de coupe en oxyde de céramique, selon J. Hinnüber, Essen.

des plus récentes recherches. Les indications peuvent être valables, dans les grandes lignes, pour des nuances correspondantes d'autres fabricants.

En général, lors d'une comparaison, il y a lieu d'observer que le degré des nuances de carbures de tungstène et leur désignation peuvent souvent être différenciés par des chiffres arabes. Par exemple les applications de la nuance « Widia TT4 » et des nuances désignées par « S4 » de quelques autres fabricants suisses ou étrangers s'écartent de façon sensible les unes des autres, en dépit du fait qu'elles portent le même chiffre indicatif 4.

C'est pourquoi il faudrait arriver à une *normalisation internationale* des désignations des métaux durs qui devrait être déterminante dans les différents domaines d'emploi de ceux-ci. Actuellement une telle normalisation est en proposition et il se peut que dans un laps de temps très court un tel projet soit publié.

De nombreuses publications ont paru dernièrement aux Etats-Unis d'Amérique, en Grande-Bretagne, en Russie et en Allemagne surtout, au sujet de matières de coupe en *oxyde de céramique*, dont le composant essentiel est l'oxyde d'aluminium $Al_2O_3$ (2) [1]. Elles sont caractérisées par une forte résistance, à l'usure de la face de dépouille, et à la formation de cratères mais sont, par contre, suivant la *figure 3*, peu tenaces, de sorte que leur utilisation est encore principalement limitée à des coupes continues. L'affûtage de ces matières de coupe se fait avec succès à l'aide de meules diamantées à liant métallique ou bakélite. Il reste à voir jusqu'à quel point ces nouvelles matières de coupe, qui sont lancées sur le marché en particulier par des fabricants de carbures de tungstène et quelques fabricants de porcelaine, pourront être introduites dans la pratique, car les résultats obtenus jusqu'ici se rapportent en général à des essais.

## C. Conception des outils de coupe par enlèvement de copeaux en carbure de tungstène

### 1. *Choix des nuances*

Le choix de la nuance convenable de carbure métallique est de première importance, lorsqu'on attend de l'usinage des résultats techniques et économiques

[1] Les chiffres entre parenthèses renvoient à la bibliographie.

satisfaisants. En complément des indications générales données dans le *tableau 1*, on peut dire ce qui suit :

1.1 En ce qui concerne les différents travaux d'usinage par enlèvement des copeaux, les carbures de tungstène se sont imposés pour les travaux de *tournage*, même dans les conditions les plus difficiles, par exemple lors du tournage des bandages de roues de wagons de chemins de fer freinées. Pour le *tournage de l'acier* sur tours à copier, on utilise avec succès des carbures de tungstène du type P25 ; pour le tournage de *filets*, par exemple sur des machines Cri-Dan, on emploie des carbures métalliques du type P10. La nuance H1 convient aux travaux de décolletage. Car ici, vu les vitesses de coupe relativement basses et les petites tolérances admissibles pour les pièces, une forte résistance à l'usure des surfaces de dépouilles est de première importance. Pour le tournage des aciers à alliages de chrome et de nickel, les nuances à applications multiples, d'après le type « Widia AT2 », ont fait leurs preuves. Lors du tournage d'*alliages de cuivre*, et spécialement d'*alliages d'aluminium*, il est important d'éviter la formation d'arêtes rapportées. Pour des travaux de ce genre, les nuances G1 et H1 conviennent en général lorsque l'angle de coupe est grand.
Pour le *rabotage* de l'acier et de l'acier coulé, on utilise de plus en plus les carbures métalliques des nuances P30 et P40, même sur des machines-outils anciennes.
Pour le *brochage* de parties de moteur en fonte, on a fait de bonnes expériences avec le G1, de même qu'avec le H1 et le H2 pour le *grattage* de pièces de machines en fonte.
Les travaux de *tronçonnage* présentent encore aujourd'hui des difficultés par le fait que nous pénétrons avec l'outil jusqu'à l'axe de tournage. La vitesse de coupe diminue donc par conséquent continuellement pour tendre vers zéro.
Dans de tels cas de métaux durs tenaces, des machines-outils rigides et de grands angles de coupes sont les conditions d'un travail réussi.
En général, on emploie pour le *fraisage* des sortes plus tenaces que pour le tournage. Ceci est dû au fait que le travail de la fraiseuse est moins stable comparativement à celui du tour. Sur les machines et appareils à fileter avec fraises à une ou deux dents, les types P10, résistant à l'usure, sont fréquemment utilisés.
Lorsque l'outil requiert de forts changements de température, par exemple pour le fraisage de rainures profondes (rainures dans les rotors), il arrive souvent que des fissures se produisent perpendiculairement à l'arête de coupe. Pour des travaux de ce genre, les carbures de tungstène de la nuance P25 sont avantageux.
Les travaux de *perçage* à l'aide de forets hélicoïdaux avec plaques de carbure de tungstène se limitent en général à des matières difficilement usinables, par exemple l'acier dur au manganèse, la fonte, les matériaux de construction, le verre, les matières plastiques. Dans ces cas, on utilise la nuance G1 de préférence.
Pour le *perçage de tubes* sur tours, en revanche, on emploie presque exclusivement des outils en carbure de tungstène. Pour l'acier, les nuances des types H1 et P10 conviennent particulièrement bien aux mèches à canon.
Il n'est guère possible d'augmenter la vitesse de coupe avec des *alésoirs* en carbure de tungstène — nuance H1 ; pourtant la grande résistance à l'usure du tranchant les rend très avantageux au point de vue tenue de coupe.

1.2 *Le facteur le plus déterminant dans le choix de la nuance est la matière à usiner*, dont l'usinabilité doit être estimée d'après les caractéristiques des couches à travailler. En effet, des augmentations de la dureté des couches extérieures dues au coulage, au laminage et à l'étirage, conduisent à une diminution de la résistance à l'usure du tranchant et à de plus fortes exigences en ténacité.

1.3 La construction et les conditions d'exploitation de la *machine-outil* jouent aussi un rôle important dans la détermination du carbure de tungstène à utiliser. Des machines récentes, rigides, puissantes permettent l'emploi de nuances moins tenaces et par conséquent plus résistantes à l'usure ; sans compter que sur celles-ci il est possible de travailler avec des vitesses de coupe plus élevées et des sections de copeaux plus grandes.

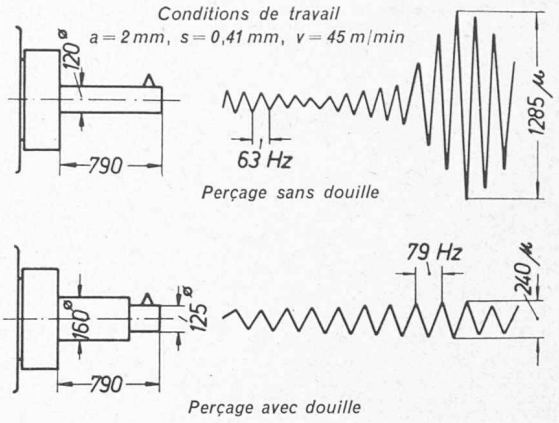


Fig. 4. — Oscillations au cours d'un travail au foret avec et sans douille, selon E. Saljé, Zurich.

La *figure 4* montre un exemple de la dépendance des vibrations, et par conséquent de l'usure de l'outil, du procédé de construction de différentes broches.

1.4 Des ouvriers habiles obtiendront avec des nuances de carbures de tungstène moins tenaces mais plus résistants à l'usure de meilleurs résultats que ceux qui manquent d'expérience. Le travail avec des outils en carbure de tungstène devrait donc déjà faire partie de la formation de l'apprenti.

1.5 Il est possible d'obtenir de grands rendements de coupe soit par de grandes *sections de copeaux*, soit par de considérables *vitesses de coupe*. Dans le premier cas, d'importantes forces de coupe se développent, de sorte que des nuances relativement tenaces, qui par contre ne permettent pas de grandes vitesses de coupe conviennent tout à fait. Il en ressort que, tout bien considéré, il est possible d'obtenir des rendements de coupe considérables aussi bien avec des nuances de carbure de tungstène résistant particulièrement à l'usure qu'avec des nuances très tenaces. Insistons déjà ici sur le fait — nous y reviendrons plus loin — que, en principe, de grosses sections de copeaux sont plus rentables que de grandes vitesses de coupe. Celles-ci sont cependant avantageuses si l'on emploie des nuances de carbure de tungstène dur, résistant à l'usure, lorsqu'une augmentation de la profondeur de passe ou de l'avance — compte tenu du rythme du travail et surtout de la qualité de surface demandée — n'est pas désirée.

Quelques *indications pratiques* sur le choix des nuances ressortent du *tableau 1*. Etant donné les grandes variétés de nuance existant actuellement, il convient souvent de procéder à des essais dans le but de déterminer la nuance de carbure de tungstène la plus appropriée à un travail donné. Il y a lieu alors de veiller à une exécution méthodique et correcte de tels essais.

## 2. *Angles*

Le fonctionnement d'un outil de coupe par enlèvement de copeaux dépend dans une mesure importante de la forme du tranchant, qui, de son côté, est déterminée en premier lieu par différents angles de ses surfaces.

Pour chaque outil de ce genre, il convient de distinguer entre les *angles de l'outil* et les angles de *travail* (4). Les premiers sont déterminants pour la fabrication et l'entretien de l'outil ; les seconds sont définis par leur position par rapport à la pièce à travailler.

Une normalisation internationale des notions d'angles est urgente.

Sur la *figure 5*, on peut voir les angles d'outil d'un burin. Les indications qui suivent se rapportent aux angles de travail :

## COMPOSITION DES NUANCES LES PLUS IMPORTANTES DE MÉTAL DUR DE LA FABRIQUE WIDIA DE FRIED. KRUPP, ESSEN, ET LEURS APPLICATIONS

| Numéro d'ordre | Groupe de matière de coupe | Désignation des nuances de carbures de tungstène: selon les normes VSM 34150 | selon proposition | selon Fried. Krupp Fabrique Widia [1] | Composition Contenu approximatif en: WC | autres carbures, surtout TiC et TaC | Co | Indications générales sur: la résistance à l'usure [2] | la ténacité [2] | Dureté approx. de Vickers | Résistance approx. à la rupture | Poids spécifique | Matières usinées | Domaines d'emploi les plus importants — Genres de travaux |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | % | % | % | | | kg/mm² | kg/mm² | g/cm³ | | |
| 1 | I Alliages de carbure de tungstène et de cobalt | — | | H3 | [3] | [3] | [3] | décroissant | augmentant | [3] | [3] | 15,0 | formant des copeaux courts | Usinage fin en particulier de fonte dure lorsque la résistance à l'usure doit être grande. |
| 2 | | — | | H2 | 91,5 | 1,5 | 7 | | | 1800 | 135 | 14,4 | | Usinage de fonte dure coulée en coquille dureté Shore au-dessus de 80 ; usinage fin en particulier de fonte dure. |
| 3 | | H1 | P10 | H1 | 94 | — | 6 | | | 1650 | 150 | 14,7 | | Tournage et fraisage de fonte et d'acier dur ; usinage d'alliages de Cu et d'Al, de matières synthétiques, de verre, de porcelaine, de roche ; perçage, perçage en profondeur, alésage. |
| 4 | | G1 | P20 | G1 | 94 | — | 6 | | | 1500 | 160 | 14,7 | | Tournage et fraisage de fonte d'une dureté de B. jusqu'à 200 kg/mm² ; rabotage de fonte ; usinage d'alliages de Cu et d'Al. |
| 5 | | G2 | P30 | G2 | 89 | — | 11 | | | 1300 | 210 | 14,2 | | Usinage du bois. |
| 6 | | G3 | P40 | G3 | 85 | — | 15 | | | 1200 | 240 | 13,7 | diverses | Etirage ; emboutissage, pressage à froid. Diminution du diamètre de fil de fer ; calibrage, laminage ; découpage de tôles de dynamos et de transformateurs ; coupe et étirage combinés. |
| 7 | | — | | G4 | 80 | — | 20 | | | 1100 | 260 | 13,6 | | |
| 8 | | — | | G5 | 75 | — | 25 | | | 1050 | 270 | 13,1 | | |
| 9 | | — | | G6 | 70 | — | 30 | | | 950 | 280 | 12,7 | | |
| 10 | II Alliages avec carbure de tungstène et d'autres carbures | F1 | | FT1 | 51 | 43 | 6 | décroissant | augmentant | 1850 | 90 | 8,4 | Acier et acier coulé | Tournage avec petites sections de copeaux et grande vitesse de coupe. |
| 11 | | S1 | K10 | TT1 | 70 | 21 | 9 | | | 1600 | 130 | 10,4 | | Tournage et fraisage avec grande vitesse de coupe et petite avance. |
| 12 | | S2 | K20 | TT2 | 76 | 14 | 10 | | | 1550 | 150 | 11,9 | | Tournage et fraisage avec vitesse de coupe moyenne et avance moyenne. |
| 13 | | — | K25 | TT25 | [3] | [3] | [3] | | | [3] | [3] | | | Tournage et fraisage avec vitesse de coupe moyenne et grande variation de température. |
| 14 | | S3 | K30 | TT3 | 83 | 7 | 10 | | | 1500 | 165 | 13,1 | | Tournage et fraisage avec vitesse de coupe moyenne et basse, et grande avance. |
| 15 | | — | K40 | TT4 | 76 | 9 | 15 | | | 1300 | 190 | 12,5 | | Tournage et rabotage avec vitesse de coupe basse, surtout lorsque les exigences en ténacité sont très fortes. |
| 16 | III Alliages avec carbure de tungstène et autres carbures (nuances à applications multiples) | — | M10 | AT1 | 84 | 10 | 6 | décroissant | augmentant | 1750 | 135 | 13,1 | Alliages de cuivre, d'aluminium | Tournage et fraisage de matières, en particulier de fonte dans le cas de forte usure de la face de dépouille. |
| 17 | | — | M20 | AT2 | 82 | 10,5 | 7,5 | | | 1550 | 165 | 13,3 | | Tournage d'acier et d'acier coulé dans le cas de vitesse de coupe moyenne et d'avance moyenne. |
| 18 | | — | M30 | A | [3] | [3] | [3] | | | [3] | [3] | 13,7 | Fonte, acier, acier coulé | Comme pour AT1 dans les cas d'exigences élevées en ténacité ; tournage et fraisage d'aciers austénitiques et résistant à la chaleur. Tournage d'acier doux pour automates et d'aciers ayant une petite résistance avec grand angle de coupe et avec vitesse de coupe faible. |
| 19 | Acier rapide [4] | — | — | — | C 1,35 % ; Si 0...3 % ; Mn 0,3 % ; Cr 4,3 % ; W 10,5 % ; V 3,3 %. | | | — | — | 850 | 350 | 7,8 | | |

[1] Fabriqué en Suisse et vendu par Diametal S.A., Bienne. [2] Indications se rapportant à la direction des flèches. [3] Des indications précises ne sont pas encore publiées. [4] A titre de comparaison.

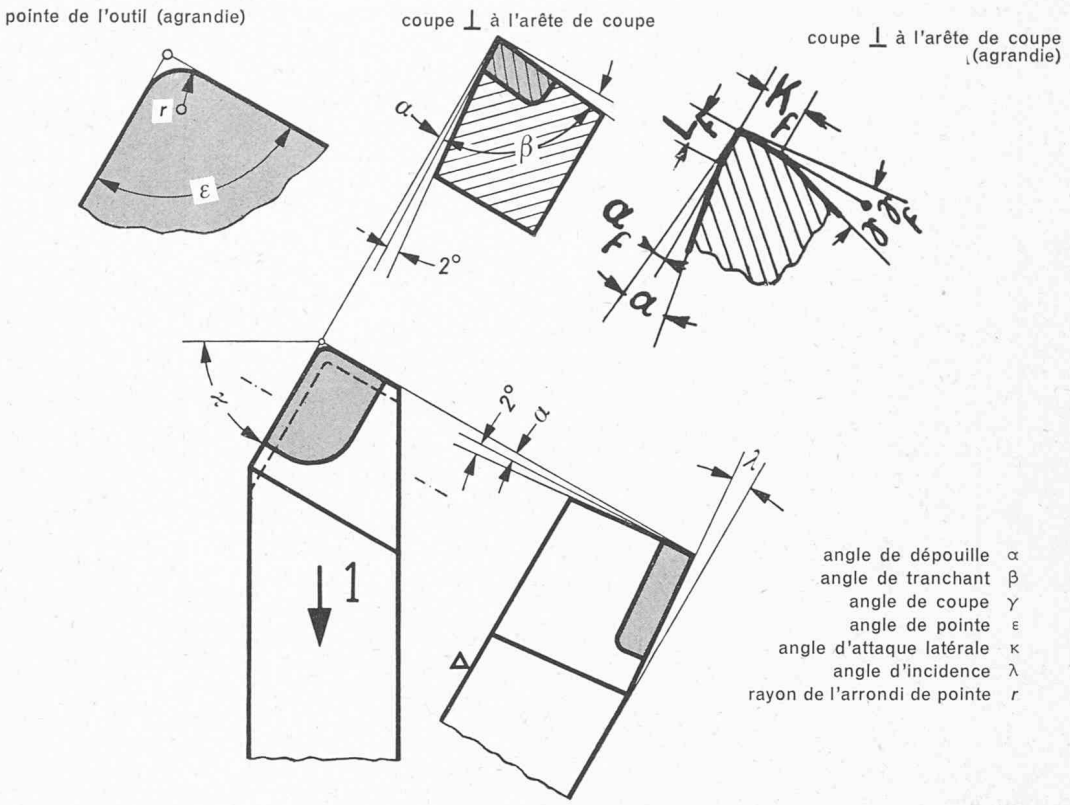


Fig. 5. — Angles de travail d'un burin.

2.1 *L'angle de dépouille* α a le plus souvent une valeur de 6 à 8° dans les outils en carbure de tungstène. Près du tranchant (*fig. 5*) un témoin $L_f$ est réalisé, avec un angle de dépouille $\alpha_f$ d'environ 2° plus petit, à l'aide d'une meule diamantée.

2.2 La détermination de l'*angle de coupe* γ est d'une importance particulière. La technique de fabrication récente préfère aux angles de coupe négatifs, qui étaient encore fortement répandus il y a quelques années, des valeurs positives, environ 8 à 10° par exemple pour la fonte et 12 à 18° pour l'acier et l'acier coulé. On prévoit alors souvent, surtout pour le tournage et le fraisage de l'acier et de l'acier coulé, un témoin $K_f$ (*fig. 5*) pour renforcer l'arête de coupe.
Mentionnons encore qu'on a trouvé favorable des angles de coupe positifs de 15 à 20° pour des outils de rabotage et pour l'usinage de matériaux tenaces, par exemple de l'acier inoxydable.
La *figure 6* montre que les grands angles de coupes font diminuer la pression de coupe et par conséquent la puissance des machines-outils. Pour des travaux particulièrement difficiles, par exemple la reprise au tour de bandages de roues usagées de chemins de fer, on a avantage à prendre un angle de coupe négatif de —6°.

2.3 *L'angle de pointe* ε doit être aussi grand que les conditions de travail le permettent. On sait que sur ce point les burins pour tours à reproduire exigent une attention particulière.

2.4 *L'angle d'incidence* λ, figurant sur la *figure 5*, a en Suisse une valeur négative.
L'outil présenté n'attaque pas la matière par la pointe du tranchant mais bien par l'arête de coupe. De cette façon, la pointe de l'outil est déchargée et par conséquent moins sollicitée, ce qui a une grande importance dans le tournage à grandes sections de copeaux et à coupes interrompues, ainsi que dans le rabotage. Des angles négatifs de —10 à —15° se sont révélés favorables pour le rabotage. Pour les têtes de fraisage, la détermination de l'angle d'incidence n'est pas uniforme. On devrait considérer comme règle que pour le fraisage de l'acier, de l'acier coulé et de la fonte, on travaille de façon rationnelle avec un tranchant négatif, suivant la *figure 7*.

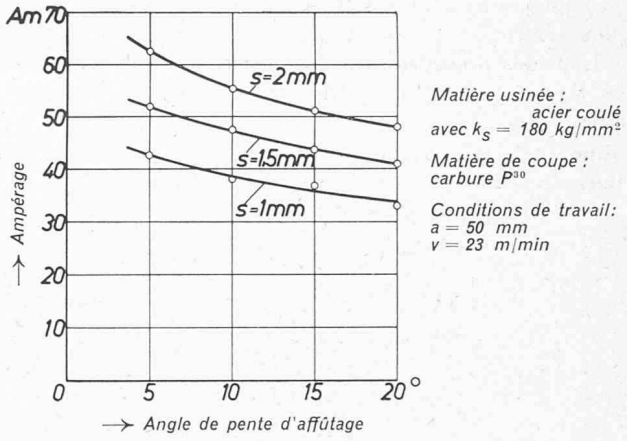


Fig. 6. — Ampérage d'un moteur de tour, en fonction de l'angle de coupe pour différentes avances.

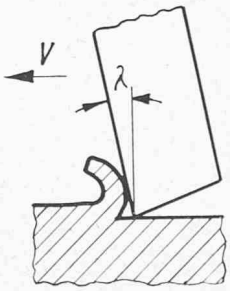


Fig. 7. — Couteau d'une fraiseuse avec coupe principale « suspendue » (négative).

2.5 De grands *angles d'attaque latérale* κ donnent des charges spécifiques de coupe élevées, mais diminuent la réaction de pénétration dans la direction de la flèche 1, *figure 5*, et par conséquent la tendance de l'outil à vibrer. Pour le rabotage d'acier à haute résistance, de petits angles d'attaque latérale sont indiqués ; ils diminuent fortement la tendance du copeau à se souder sur la surface de coupe et les arêtes rapportées.

## 3. *Conception générale de l'outil*

Un outil de coupe en carbure de tungstène enlevant des copeaux se compose en général d'une plaquette de coupe en métal dur et d'un corps en acier. La *liaison* est réalisée par *brasage*, soit avec du cuivre électrolytique, soit avec une brasure à base d'argent. Le coefficient de dilatation linéaire des carbures de tungstène et de l'acier étant dans le rapport de 1 à 2, le refroidissement de l'outil provoque nécessairement des tensions d'autant plus grandes que la température de fusion de la brasure est élevée. Elles peuvent être assez grandes pour provoquer des fissures dans la plaquette en métal dur lors du brasage.

La fixation des plaquettes en métal dur par brasage présente aussi un certain danger de rupture pour celles-ci du fait que, à la suite d'un échauffement considérable du tranchant et partant de la plaquette, dû à de grands efforts de travail, la couche de brasure devient molle, compromettant alors la bonne assise de la plaquette.

Les essais entrepris pour remédier à cet état de choses ont été nombreux, d'autant plus que, pour les méthodes de fabrication moderne, les exigences imposées aux outils en carbure de tungstène sont toujours plus élevées.

L'un des procédés utilisés consiste à employer, selon *les figures 8 et 9*, des outils entièrement en métal dur. Cette possibilité n'est cependant valable que pour des dimensions relativement petites, par exemple pour des burins d'alésage, des alésoirs, des forets, etc...

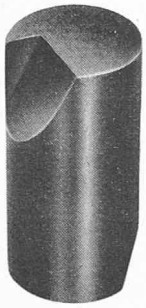

Fig. 8. — Burin en carbure de tungstène (Fried. Krupp, Fabrique Widia, Essen).

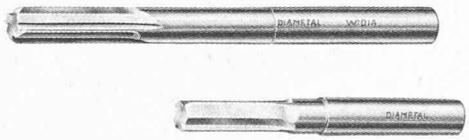


Fig. 9. — Alésoir en carbure de tungstène (Diametal S.A., Bienne).

Ces dernières années, on a vu apparaître sur le marché de nombreux outils, spécialement à tourner et à raboter, avec des plaquettes en métal dur fixées *mécaniquement* au corps de l'outil. De tels outils peuvent être conçus en principe de la manière suivante :

3.1 Selon *figure 10*, on prévoit un angle de coupe négatif ayant la même valeur que l'angle de dépouille. L'angle au tranchant a donc 90°.
L'outil dispose ainsi de huit tranchants utilisables, dont quatre à la tête et quatre à la base. On emploie en premier lieu les quatre coins de la tête et par la suite, après usure, la plaquette est retournée pour utiliser les quatre coins de la base (voir *figure 9*).
De tels outils présentent l'avantage de frais d'entretien relativement bas, puisque les dépenses pour le réaffûtage se répartissent sur plusieurs posisitions de coupe. L'échange du corps de coupe n'exige que peu de temps. L'angle de coupe γ négatif est souvent indésiré du fait qu'il entraîne une plus grande contribution de la machine-outil.
L'emploi de ces outils, spécialement dans l'industrie automobile, s'est largement répandu aux Etats-Unis et en France, en Suisse toutefois dans une proportion insignifiante.

3.2 Des plaquettes en métal dur fixées mécaniquement peuvent aussi être utilisées, tant pour des outils ayant un angle de coupe négatif que pour des outils avec un angle de coupe positif. Toutefois, dans ce dernier cas, le nombre des positions de coupe utilisables entre deux réaffûtages est notablement plus restreint ; une telle exécution est visible sur la *figure 11*.

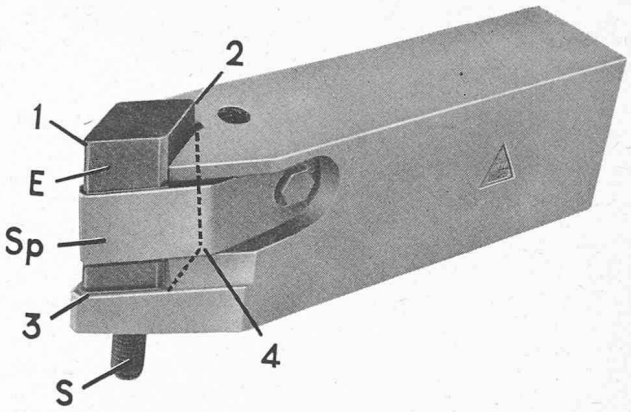


Fig. 10. — Outil à reproduire avec plaque en métal dur fixée mécaniquement (Fried. Krupp, Fabrique Widia, Essen).
E : plaquette en métal dur ; Sp : bande de fixation ; S : vis de protection.

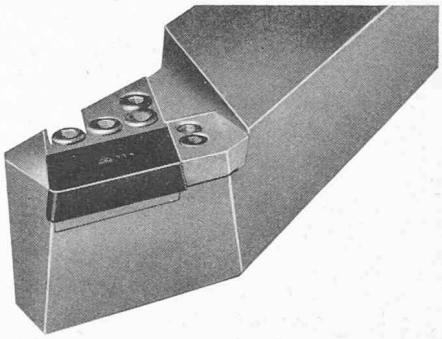

Fig. 11. — Outil de tour avec plaque en métal dur fixée mécaniquement et angle de coupe positif (Fried. Krupp, Fabrique Widia, Essen).

Au cours de ces dernières années, on a vu se répandre aux Etats-Unis dans une large mesure des outils comportant des « plaquettes à jeter », selon *figure 12*. Ils ont les caractéristiques suivantes :

*a*) Il convient de prévoir le plus grand nombre de *positions de coupe* possible sans réaffûtage ; on travaille donc en principe avec un angle de coupe négatif.

*b*) Les *dimensions* de ces plaquettes doivent être petites, pour qu'elles soient d'un prix réduit à l'achat.

Chaque arête de tranchant (position de coupe) d'une telle plaquette n'est utilisée qu'une fois ; les frais de réaffûtage sont donc supprimés.

Jusqu'ici de tels outils n'ont pas encore pu s'imposer en Suisse.

Il existe dans de nombreux pays d'Europe des normes pour les plaquettes en carbure de tungstène et les burins couramment employés. La normalisation correspondante de l'ISO, sur base européenne, est en préparation.

Les *figures 13 à 16* représentent quelques récents outils en carbure de tungstène.

**D. Fabrication et entretien des outils de coupe par enlèvement de copeaux en carbure de tungstène**

Seules quelques brèves indications pourront être données ici ; elles se limitent à l'affûtage des outils de coupe par enlèvement de copeaux, opération la plus importante.

On utilise en général pour l'*affûtage* des plaquettes en métal dur des meules en carbure de silicium et de plus en plus, des meules diamantées. Les meules en carbure de silicium sont moins économiques que les meules diamantées. L'affûtage avec arrosage abondant, généralement employé en Suisse, s'est révélé avantageux par le fait que les frais d'affûtage diminuent du fait que le mordant de la meule est de beaucoup meilleur et sa durée de vie sensiblement plus élevée (5).

Lors de la préparation du tranchant de la plaquette, il est très important que son arête soit cassée ou arrondie au moyen d'une lime diamantée. On évite ainsi que le tranchant ne s'effrite, particulièrement dans le tournage de l'acier ou l'acier coulé.

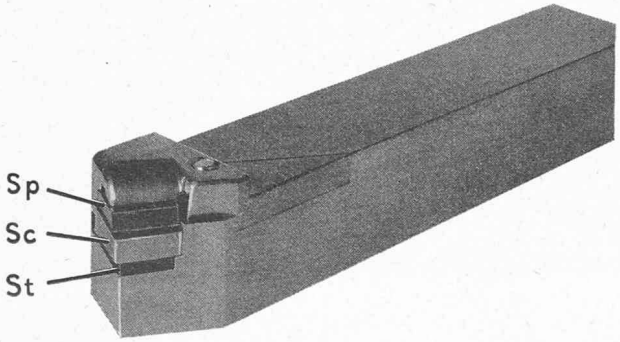


Fig. 12. — Porte-outil pour plaques en métal dur « à jeter » (Fried. Krupp, Fabrique Widia, Essen).
Sc : plaque de coupe ; Sp : plaque en métal dur pour briser les copeaux ; St : plaque de protection en acier durci.

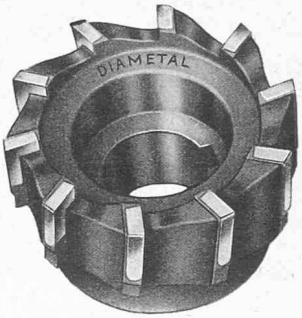


Fig. 15. — Couronne de fraise avec plaquette en métal dur brasée (Diametal S.A., Bienne).

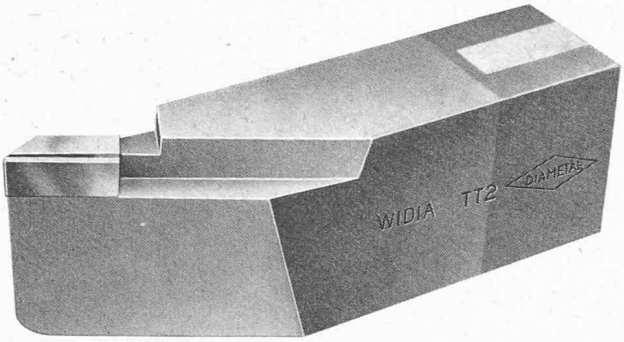


Fig. 13. — Burin à reproduire avec plaquette en métal dur brasée (Diametal S.A., Bienne).

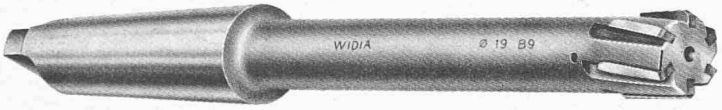


Fig. 14. — Alésoir extensible en métal dur (Diametal S.A., Bienne).

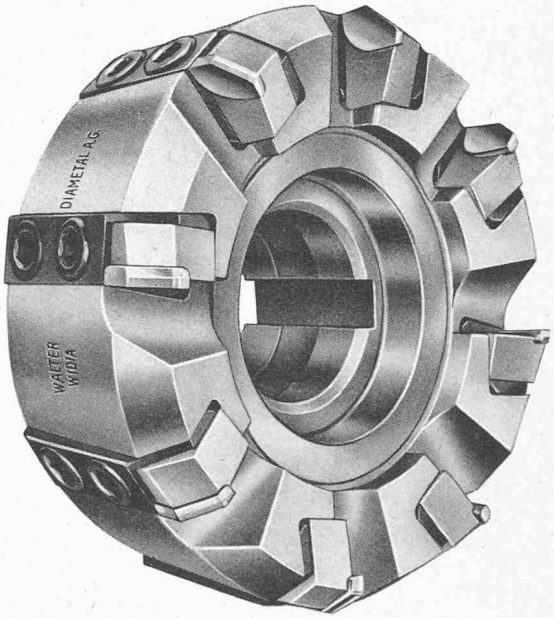


Fig. 16. — Couronne de fraise avec couteaux interchangeables en carbure de tungstène (Montanwerke Walter A.G., Tübingen).

Il faut aussi veiller à éviter la formation de fissures dans la plaquette en métal dur lors de l'affûtage. Celles-ci sont généralement provoquées par des vitesses de rotation de la meule trop élevées ou par des pressions trop fortes, ainsi que par des meules encrassées ou trop dures. Ceci est surtout valable pour l'affûtage exécuté mécaniquement. L'affûtage avec arrosage abondant permet d'éviter le danger de formation de fissures.

Dans toute entreprise accordant de l'importance à une rationalisation de la fabrication, on devrait avoir de grandes exigences en ce qui concerne l'affûtage et le réaffûtage des outils. La sélection des ouvriers doit être faite avec soin, l'installation de l'atelier d'affûtage et l'organisation du travail être rationnelles, et les contrôles permanents. Il est possible d'obtenir dans ce domaine des résultats d'exploitation très favorables sans investir de capitaux importants. Il y a lieu dans tous les cas de se préoccuper de ces questions *constamment*, sinon les insuffisances péniblement éliminées réapparaissent sans cesse.

### E. Emploi des outils de coupe en carbure de tungstène

Un outil à grand rendement ne conduit à une réussite technique et économique que si le processus du travail est conçu dans son *ensemble* et de façon rationnelle. Ceci est valable aussi bien pour les pièces à usiner que pour les conditions de travail.

Les caractéristiques les plus importantes des *pièces à usiner* sont leur matière et leurs dimensions.

Si l'usinage à grande vitesse d'une pièce présente des difficultés à cause de sa *forme*, par exemple par suite de rigidité insuffisante ou d'un déséquilibre, il est souvent possible d'y remédier par des dispositions de serrage, des poupées à lunette ou d'autres systèmes bien étudiés, si une construction plus adéquate de la pièce n'est pas possible. Il y a là pour un ingénieur d'étude et de préparation de travail un champ d'activité intéressant, parce qu'en général encore peu développé dans la plupart des entreprises.

L'*usinabilité de la matière* a une importance considérable pour la bonne marche du travail. Celle-ci a beaucoup baissé ces dernières années, pour des raisons qui ne peuvent être abordées ici ; elle est très diverse dans les différents pays, par exemple, particulièrement bonne en Suède et aux Etats-Unis d'Amérique. Ceci doit être pris en considération lors de la comparaison des résultats provenant de différents pays. Sous ce rapport également, une collaboration étroite entre les parties intéressées, ici entre l'atelier mécanique, les départements métallurgiques et de préparation de la matière (par exemple la forge), conduit à de bons résultats.

Jusqu'ici les essais entrepris pour améliorer l'usinabilité des matières par traitement thermique des pièces n'ont pas encore donné de résultats satisfaisants.

Lors de l'utilisation des outils, il y a lieu d'observer quelques règles dont les principales sont énumérées ci-après :

1. Les outils à tourner et à raboter doivent être fixés dans le porte-outil avec le plus petit *porte-à-faux* possible. Si celui-ci augmente, il en résulte selon *figure 17* des tenues de coupe réduites et par conséquent une usure de l'outil plus rapide.
2. Les outils rotatifs, par exemple les têtes de fraisage et d'alésage doivent fonctionner sans vibration et malrond.
3. Pour le tournage, les outils doivent être placés avec leur pointe de travail à la hauteur de l'axe de tournage. Une fixation de l'outil selon *figure 18* n'est indiquée que dans le cas d'usinage d'arbres longs et minces. Il convient de contrôler la position de la pointe de travail de l'outil par rapport à l'axe du tour avec des instruments appropriés, par exemple, des gabarits ou des jauges.
4. La progression de l'usure du tranchant doit être constamment surveillée. Il ne faut pas dépasser une certaine largeur d'usure de la face de dépouille, définie d'après les exigences du travail à accomplir. La marque d'usure sur la face de dépouille doit être tenue plus petite si la tenue de coupe en dépend en plus du creusage sur la face de coupe. Il est souvent indiqué pour des travaux courants sur des machines à burins multiples de prévoir *des plans de changements d'outils*, qui fixent la durée du travail après laquelle les outils doivent être enlevés et remplacés.
5. L'emploi d'outils en carbures de tungstène doit *former des copeaux* réguliers et continus, sinon des particules de la matière se collent sur le tranchant et forment des arêtes rapportées instables qui diminuent la qualité des surfaces usinées et réduisent en même temps la tenue de coupe de l'outil.

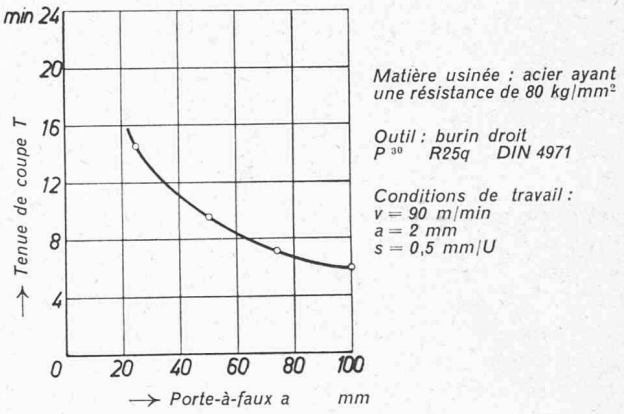


Fig. 17. — Tenue de coupe $T$ d'un burin en fonction de son porte-à-faux $a$.

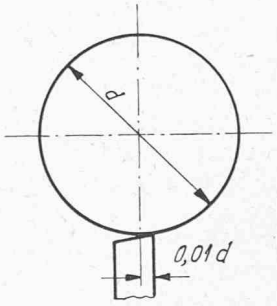


Fig. 18. — Outil se trouvant « plus haut que l'axe de laminage ».

Un point particulièrement important est le choix des **conditions de travail** appropriées. *Les facteurs techniques et économiques sont déterminants.*

La *profondeur de coupe « a »* varie suivant les surépaisseurs laissées pour l'usinage. Pour des travaux fins, par

exemple le tournage, le perçage et l'alésage de précision, les valeurs de 0,1 à 0,3 mm sont la plupart du temps suffisantes.

L'*avance* « *s* » doit toujours être choisie — contrairement à ce qu'on pensait précédemment — aussi grande que le permettent la qualité de surface désirée pour la pièce à usiner, les dimensions et la nuance de l'outil en carbure de tungstène et la puissance de la machine-outil. De grandes avances donnent des temps d'usinage plus courts et des frais d'usinage moins élevés.

Lors de l'emploi d'outils en carbure de tungstène, la *vitesse de coupe* « $v$ », comparativement à celle utilisée avec les outils en acier rapide, peut être dans la plupart des cas sensiblement augmentée, ce qui réduit d'autant le temps principal. La détermination de la vitesse de coupe a une importance capitale pour la rentabilité d'un usinage. A ce sujet, les principes fondamentaux suivants doivent être pris en considération :

Des vitesses de coupe basses donnent des temps d'usinage longs et par conséquent des frais de main-d'œuvre élevés par pièce usinée. Les autres frais proportionnels au temps d'usinage s'élèvent respectivement.

Ceci ne signifie pourtant pas que, si dans le cas contraire « $v$ » augmentait, le temps de fabrication « $T_e$ » diminuerait toujours. La tenue de coupe de l'outil diminuant fortement si la vitesse de coupe augmente, les outils doivent donc être échangés plus souvent par suite d'une usure plus rapide de l'outil. Ce changement nécessite un certain laps de temps et par là un arrêt de machine qui finalement est si long que non seulement il compense le gain en temps principal, mais allonge le temps de fabrication par pièce.

Les *frais d'outillage*, par lesquels il faut comprendre les dépenses par pièce usinée pour l'acquisition et l'entretien des outils, augmentent eux aussi considérablement si la vitesse de coupe s'élève, comme le montre la *figure 19*. Si l'on considère la somme des frais proportionnels au temps, les frais d'outillage en fonction de la vitesse de coupe, on obtient une courbe selon *figure 20*. On constate qu'il existe une vitesse de coupe « $v_0$ » économiquement favorable, qui permet d'obtenir la plus petite valeur pour les frais d'usinage « $V$ » dépendant de la vitesse de coupe. Si l'on descend *au-dessous* de « $v_0$ », les valeurs de « $V$ » s'élèvent, car les temps d'usinage par pièce augmentent toujours plus. Si les vitesses de coupe sont plus grandes que « $v_0$ », l'influence du coût des frais d'outillage est toujours plus marquée, à un point tel que ceux-ci représentent finalement le plus grand facteur des frais d'usinage.

Ainsi, dans l'intérêt même d'un travail rentable et économique il y a lieu de choisir des *vitesses de coupe moyennes*. Celles-ci sont notablement plus élevées pour les outils en carbure de tungstène que pour les outils en acier rapide.

Ces questions, abordées avec un intérêt croissant dans la bibliographie étrangère, par exemple aux Etats-Unis d'Amérique, en Russie et en Allemagne, ont une *importance pratique très grande* pour diriger l'exécution d'un travail de coupe par enlèvement de copeaux. Il existe des formules (6) (7) appropriées donnant les tenues de coupe pour lesquelles les frais d'usinage sont les plus favorables. Il est important d'atteindre des tenues de coupe suffisantes surtout pour les outils à prix élevé et à entretien coûteux, par exemple les têtes de fraisage et les outils pour tours automatiques. Observons encore qu'il est impossible de réaliser l'exigence

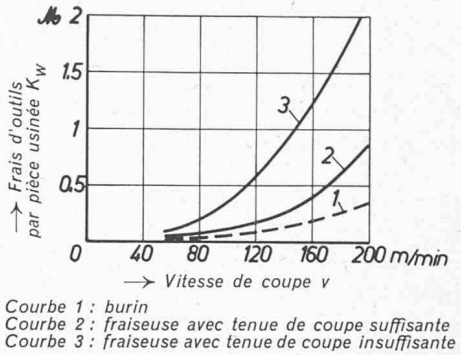


Fig. 19. — Frais d'outil $K_w$ par pièce en fonction de la vitesse de coupe $v$.

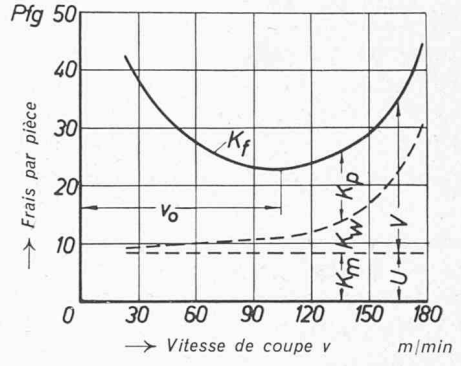


Fig. 20. — Frais d'usinage $K_f$ par pièce en fonction de la vitesse de coupe $v$.

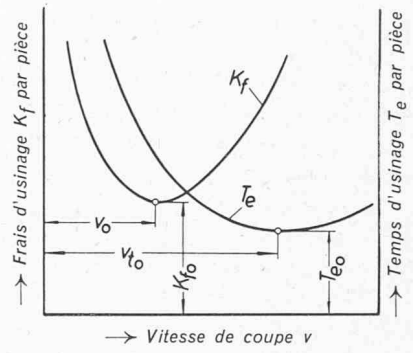


Fig. 21. — Frais d'usinage $K_f$ et temps d'usinage $T_e$ par pièce en fonction de la vitesse de coupe $v$.

souvent formulée de travailler avec les temps d'usinage minima par pièce et en même temps avec les frais d'usinage les plus bas par pièce. La *figure 21* montre que la vitesse de coupe « $v_0$ » donnant les frais d'usinage les plus bas $K_{f_0}$ et partant la meilleure rentabilité, et la vitesse de coupe $v_{t_0}$ donnant les temps d'usinage $T_{e_0}$ les plus courts, partant le plus grand débit, s'éloignent notablement l'une de l'autre.

Une *comparaison des frais* d'usinage relatifs au tournage de gorges d'essieu avec des outils en acier rapide (ancienne façon de procéder) et avec des outils en métal dur (méthode de travail moderne) est représentée sur la *figure 22*. La baisse des frais d'outils est particulièrement visible.

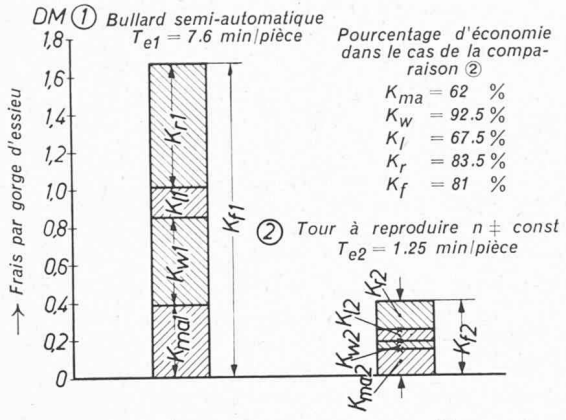


Fig. 22. — Comparaison des frais d'usinage $K_f$ pour le tournage de gorges d'essieu avec outils en acier rapide — index 1 — et avec outils en carbure de tungstène — index 2.

Ainsi se confirme ce qui a été affirmé au début de cet article, à savoir que les outils en carbure de tungstène sont un moyen de rationalisation important et ceci dans une mesure d'autant plus grande que les facteurs relatifs à l'exploitation et à l'économie traités plus haut sont mieux pris en considération. Il n'est donc pas surprenant que ces outils s'introduisent toujours plus dans l'industrie mécanique. Ce développement est considérablement favorisé, d'une part, par l'amélioration des propriétés des carbures de tungstène, en particulier leur ténacité et l'augmentation des nuances, et, d'autre part, par l'emploi toujours plus répandu de machines-outils modernes et puissantes. Cela est valable spécialement pour les tâches que nous posera dans l'avenir l'automation (8).

Il ne faut pas omettre de mentionner que jusqu'ici certains travaux sont restés fermés à l'emploi de métaux durs, par exemple la fabrication d'engrenages utilisés communément dans la construction des machines. Pourtant, aujourd'hui déjà, les pignons, tels qu'ils sont utilisés dans l'industrie horlogère et dans l'appareillage sont fabriqués avec succès avec des fraises en carbure de tungstène. Le développement futur trouvera encore des possibilités, en particulier lorsque des machines-outils plus robustes, permettant un travail sans vibration à de hautes vitesses de coupe, seront à disposition. D'autre part, il est aussi possible d'obtenir des avantages économiques par l'emploi d'outils en carbure de tungstène, même si ces derniers ne permettent pas une augmentation de la vitesse de coupe par rapport aux outils en acier rapide, par leur tenue de coupe, d'où un abaissement sensible des temps d'usinage. Ceci est valable par exemple pour l'usinage du métal léger et du bois. Dans de tels cas la baisse des frais d'outils due aux hautes tenues de coupe revêt une importance particulière.

## F. Considérations finales

Si les nombreux problèmes relatifs à l'emploi des outils en carbure de tungstène dans l'usinage par enlèvement des copeaux n'ont pu être traités de façon plus complète dans le présent article, il n'en reste pas moins qu'il est nécessaire de porter une grande attention à ce domaine, afin que les connaissances acquises — au point de vue économique également — deviennent dans la plus grande mesure possible, très répandues dans la pratique. Cette nécessité est importante également pour les autres applications des carbures métalliques, par exemple pour l'exploitation des mines, l'usinage par déformation, comme pièces d'usure, etc.

Il ne s'agit pas de limiter l'emploi des outils en carbure de tungstène aux cas où l'on peut s'attendre à un succès technique et économique, mais aussi et surtout d'exploiter au maximum les avantages qu'ils peuvent offrir (9).

Les nombreuses recherches entreprises dans les universités et écoles polytechniques, par exemple de Zurich, Aix-la-Chapelle, Munich et Berlin, contribuent à tendre vers ces buts. De plus, il convient de citer les *efforts de nombreuses organisations*, par exemple de la Société des ingénieurs allemands (V.D.I.), de l'Association REFA, dont les résultats devraient pouvoir être utilisés en une communauté de travail internationale. Ce souhait apparaît d'autant plus urgent que les Etats de l'Est, et à leur tête la Russie, font dans cette direction de grands efforts couronnés de succès.

En écrivant cet article, l'auteur tenait tout spécialement à relever l'importance de ces considérations [1].

## BIBLIOGRAPHIE


(1) Witthoff, J. : *L'outil de coupe en carbure métallique.* Edition Dunod, Paris, 1956.

(2) Hinnüber, J. : *Oxydkeramische Schneidplatten im Vergleich zu Sinterhartmetall.* Industrie-Anzeiger, 1956, Heft 71/72.

(3) Witthoff, J. : *Vergleichende Betriebsuntersuchungen bei spanabhebenden Arbeitsgängen.* Industrie-Anzeiger, 1955, Heft 80.

(4) Bickel, E. : *Geometrie der Schneide.* Industrielle Organisation, 1949, Heft 1, 2 und 3.

(5) Witthoff, J. : *Zur Frage der Wirtschaftlichkeit des Schleifens von Hartmetallwerkzeugen mit Diamant-Schleifscheiben.* Technische Mitteilungen Krupp, 1954, Heft 5.

(6) Witthoff, J. : *Die Ermittlung der günstigsten Arbeitsbedingungen bei der spanabhebenden Formgebung.* Werkstatt und Betrieb, 1952, Heft 10.

(7) Witthoff, J. : *Ergänzende Betrachtungen zur Ermittlung der günstigsten Arbeitsbedingungen bei der spanabhebenden Formgebung.* Werkstatt und Betrieb, 1957, Heft 1.

(8) Witthoff, J. : *Über die Kosten und die Wirtschaftlichkeit automatisierter Fertigungen.* Industrie-Anzeiger, 1956, Heft 89.

(9) REFA-Buch, Band 5, Witthoff, J. : *Der kalkulatorische Verfahrensvergleich, insbesondere die Wirtschaftlichkeitsrechnung.* Carl Hanser-Verlag, München, 1956.


[1] Nous avons le pénible devoir d'informer nos lecteurs du décès du professeur J. Witthoff, survenu en janvier 1958. *(Réd.)*