

# L'ACIER DANS LES MATERIAUX DE COUPE

BOUCHELAGHEM Abdelaziz, LAOUAR Lakhdar & TOURAB Mohamed

Département de Mécanique, Université Badji Mokhtar Annaba

## RESUME

La recherche d'indices technico-économiques du processus de coupe nous a amené à réaliser ce travail. Il a consisté à rechercher et à tester de nouvelles marques d'alliages durs ou carbures métalliques, aptes à l'usinage de pièces mécaniques et ses exigences techniques et scientifiques, ne contenant pas ou contenant peu d'éléments rares, avec introduction du fer et des aciers dans leurs compositions. Pour cela, une importante quantité d'alliages a été expérimentée pour connaître les meilleures compositions chimiques susceptibles de remplir le rôle de matériau de coupe et de déterminer exactement leur capacité à la coupe.

## Summarized

The research of indications technico-economic the process of cut brought us to achieve this work. It consisted in searching for and to test hard alloy news marks or metallic carbides, capable to the mechanical pièce machining and his technical and scientific requirements, not containing or containing few rare elements, with introduction of iron and steels in their compositions. For it, an important quantity of alloys has been experimented to know the best chemical compositions susceptible to fill the role of cut material and to determine their capacity precisely to cut.

**Mots clés :** alliages durs, carbures métalliques, matériaux de coupe, usinage, coupe des métaux.

## INTRODUCTION

Les alliages durs ou carbures métalliques utilisés en coupe des métaux sont, en général, de type Tungstène – Cobalt, Titane – Cobalt, Titane – Tantale – Cobalt, avec le principal élément le Tungstène. Ces matériaux de coupe contiennent des éléments déficitaires et le composant essentiel l'est encore plus [9]. Dans le monde, des tentatives de remplacement du Tungstène dans les alliages, destinés à l'usinage et produits par l'industrie métallurgique [4], ont connu des succès pas tout à fait francs, parce que d'un côté, ils peuvent égaler en usinage les carbures au Tungstène – Cobalt et les groupes de Titane – Tungstène, mais de l'autre côté, ils contiennent aussi du Cobalt et autres éléments déficitaires [2] [8] [9]. La théorie de la coupe accorde effectivement une importance majeure aux matériaux de coupe et à leurs propriétés, surtout pour l'augmentation des indices technico-économiques du process d'usinage [1] [6]. Il est aussi important de rappeler que cette même théorie accorde à un autre facteur, non moins important, la capacité d'améliorer les indices technico-économiques du process, il s'agit de la définition des paramètres géométriques optimaux des outils de coupe [6]. En effet, la géométrie doit être choisie pour chaque marque concrète de matériau d'outil. Pour atteindre ce but, il fallait :

- Expérimenter une large gamme d'alliages, différents les uns des autres par leur

composition chimique et surtout par leurs propriétés [5] [9].

- Etudier l'usure, après usinage, des nouveaux matériaux en fonction des régimes de coupe.
- Etablir les corrélations entre les paramètres du processus de coupe et les propriétés de ces

Matériaux [3] [7].

## METHODES ET APPAREILLAGE

Pour réaliser ce travail, les méthodes et les appareils classiques ont été employés, aussi bien pour le processus de coupe que pour les mesures d'usures d'outil ou même pour les calculs.

Les expériences ont été menées en usinage de finition de l'acier 45, présenté en éprouvettes de forme cylindrique  $\phi = 80$  et  $L = 300$ , sur un tour universel modèle 16K20, dans un diapason de changement de régime de coupe : vitesse (V) de 80 à 120 m/mn, profondeur de passe (p) de 1 mm et avance (a) de 0,15 mm/tr. Chaque composition chimique du matériau à expérimenter s'est présentée en plaquette (1 à 4) de forme carrée 12,7 x 12,7 x 4,75 portée par un porte plaquette à fixation et serrage mécaniques. Les paramètres géométriques de l'arête tranchante sont :  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\gamma = -6^\circ$ ,  $\phi = 45^\circ$ ,  $\lambda = 4^\circ$ ,  $r = 0,8\text{mm}$ . Pour l'évaluation de l'aptitude du matériau à l'usinage, nous avons mesuré, au moyen d'un microscope (agr. x50), la hauteur de l'usure en surface de

dépouille ( $h_z$  en mm), la tenue du matériau à l'usinage mesurée avec un chronomètre ( $\tau$  en min). Pour limiter les expériences dans le temps, nous avons utilisé l'intensité de l'usure en surface de dépouille ( $\delta = h_z/\tau$  en mm/min).

Toutes les compositions chimiques envisagées des carbures à expérimenter ont été partagées en 8 groupes, selon la nature des éléments principaux qui les constituent.

## ANALYSES ET RESULTATS DES EXPERIENCES

**1<sup>er</sup> groupe :** alliages à base de carbure de chrome (jusqu'à 70%) avec du Fer (0,7% Carbone +0,2%Manganèse+0,2%Silicium) comme liant, soit une composition extrême de 70%  $Cr_3C_2$  + 30% Fe.

Lors du frittage, le carbure de chrome s'est dissout fortement dans le fer et a formé avec lui des carbures, évoluant en gros grains, remplissant presque tout le volume de l'alliage. Cette forme de structure donne une faible limite de résistance à l'élasticité à l'alliage ( $\sigma_e$  jusqu'à 250 MPa). Cela s'est traduit par une destruction rapide et de type friable de l'arête tranchante, une détection d'un écoulement plastique certifiant franchement une faible résistance thermique de l'alliage, l'absence de l'arête rapportée d'usure en surface d'attaque en raison d'une usure très rapide en surface de dépouille. Ce groupe d'alliages a donné l'intensité d'usure d'outil la plus importante  $h_z/\tau = 27$  mm/min.

**2<sup>ème</sup> groupe :** alliages à base de monocarbure de Titane, Vanadium, Niobium, Tantale et Tungstène (jusqu'à 70%) avec toujours du Fer comme liant.

Il est connu que les monocarbures se dissolvent faiblement dans le fer qui lui ne s'allie pas bien avec ces composants pour la formation de la ferrite. La transformation polymorphe  $\alpha - \gamma$  de ces alliages a été conservée. Ils se sont distingués par une faible résistance thermique, une limite de résistance à l'élasticité de 630 à 1000 MPa et une faible porosité atteignant 1,5%. L'analyse des usures des arêtes tranchantes a montré l'existence d'écoulement plastique très important, ce qui justifie la faible résistance thermique du liant et des matériaux de ce groupe aux régimes de coupe choisis. Sur la surface d'attaque, on a constaté l'absence de l'arête rapportée. D'une manière générale, ces alliages ont montré des propriétés de coupe presque identiques et l'intensité d'usure a été  $h_z/\tau = 7,5$  à 13 mm/min.

**3<sup>ème</sup> groupe :** alliages à base de carbure de Molybdène  $Mo_2C$  (jusqu'à 70%) avec toujours du Fer en qualité de liant.

Le molybdène a montré une meilleure dissolution dans la ferrite lors du frittage, ce qui a conféré à ces alliages une haute résistance thermique, deux fois plus que celle des alliages du 2<sup>ème</sup> groupe. Il a contribué donc à la formation d'un liant à structure stable, sans  $\alpha - \gamma$  transformation. D'ailleurs, la haute résistance thermique des alliages ferritiques est bien connue. La limite de résistance à l'élasticité de ces alliages n'a pas excédé 400 MPa. L'analyse des surfaces, après usinage, a permis d'observer moins d'écoulement plastique du matériau de coupe sur la surface de dépouille que celui observé chez les alliages du 2<sup>ème</sup> groupe. Leur intensité d'usure a été  $h_z/\tau = 2$  mm/min, c'est-à-dire 4 à 6 fois moins que celle des monocarbures du 2<sup>ème</sup> groupe.

**4<sup>ème</sup> groupe :** alliage à base de 70% de carbure de Titane, 5% de Molybdène et le reste du Fer en qualité de liant.

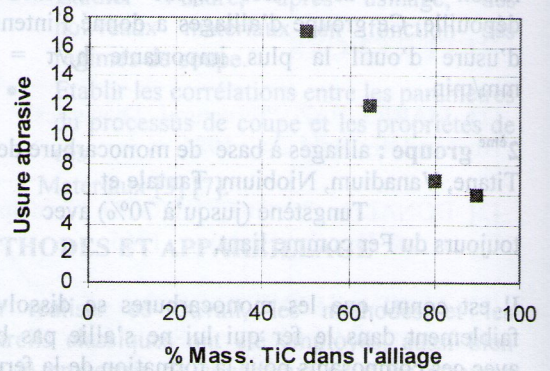
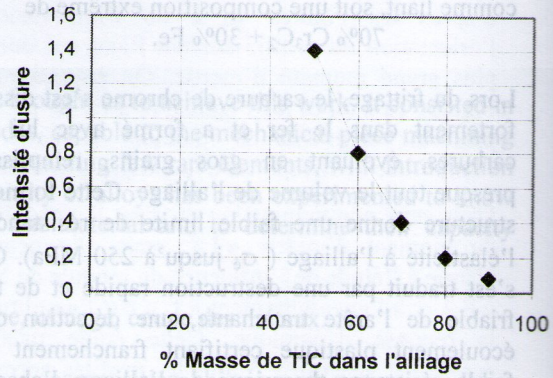
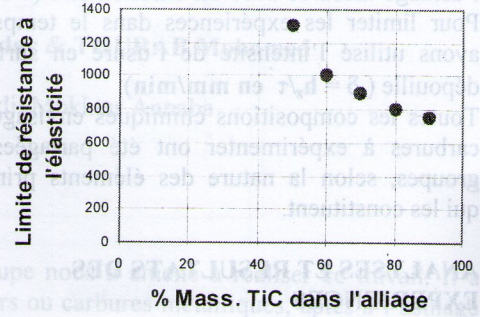
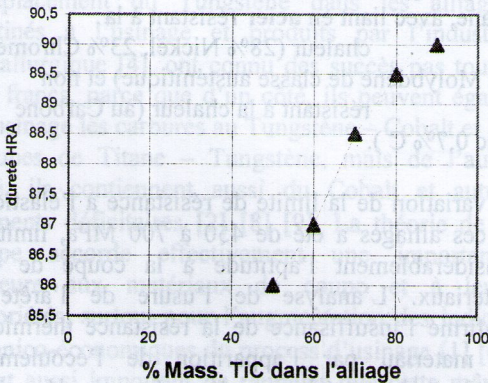
La résistance thermique de cet alliage est située au même niveau que celle des alliages du 3<sup>ème</sup> groupe. Aussi, les 5% de molybdène (élément liant reconnu) dans l'alliage constituent, tout compte fait, environ 17% du liant, ce qui a considérablement contribué à la stabilisation de la base ferritique. En surface de dépouille, un écoulement plastique du matériau a été observé, analogue à celui de l'alliage à 70% de  $Mo_2C$  et le reste de Fer (3<sup>ème</sup> groupe). Aussi, il y a absence de formation de l'arête rapportée sur la surface d'attaque. La limite de résistance à l'élasticité de cet alliage a atteint les 1000 MPa et l'intensité d'usure  $h_z/\tau = 1,9$  mm/min, presque équivalente à celle des alliages du 3<sup>ème</sup> groupe.

**5<sup>ème</sup> groupe :** alliages à base de 70% de carbure de Titane, avec liant en acier résistant à la chaleur (28% Nickel, 23% Chrome, 3% Molybdène de classe austénitique) et non résistant à la chaleur (au Carbone avec 0,7% C).

La variation de la limite de résistance à l'élasticité de ces alliages a été de 450 à 700 MPa, limitant considérablement l'aptitude à la coupe de ces matériaux. L'analyse de l'usure de l'arête a confirmé l'insuffisance de la résistance thermique du matériau par l'apparition de l'écoulement plastique du matériau sur la surface de dépouille. Les alliages ont montré aussi très peu de résistance et solidité par un effritement de l'arête. Les alliages, utilisant l'acier non résistant à la chaleur, ont de faibles propriétés de coupe, leur intensité d'usure  $h_z/\tau = 8$  à 12,5 mm/min, alors que les alliages aux aciers résistants à la chaleur, leurs propriétés sont un peu mieux et leur intensité d'usure  $h_z/\tau = 5,5$  mm/min.

**6<sup>ème</sup> groupe :** alliages à base de carbure de Titane (de 30 à 90%), avec liant en acier de cémentation (14% Chrome, 10% Manganèse et 6% Titane).

Ces aciers ont une structure ferritique beaucoup plus stable, à gros grains et sans  $\alpha - \gamma$  transformation à l'échauffement. La limite de résistance à l'élasticité a été de 700 à 1200 MPa, alors que la dureté HRA de 78 à 90. A titre d'exemple, l'alliage de composition : 70% TiC + 30% acier, a donné une intensité d'usure  $h_z/\tau = 0,4$  mm/min, ce qui est 5 fois moins que celle donnée par l'alliage du 4<sup>ème</sup> groupe, de composition : 70% TiC + 5% Mo + 25% Fe. L'analyse de l'arête tranchante, à l'inverse des alliages expérimentés et présentés auparavant, ou l'usure n'est apparue qu'en surface de dépouille, pour cet alliage une arête rapportée s'est formée en surface d'attaque et on a relevé l'absence d'écoulement plastique du matériau en surface de dépouille. La haute résistance thermique de ces aciers est due surtout à leur matrice ferritique, sans  $\alpha - \gamma$  transformation à l'échauffement, et aussi à la présence dans leur composition de Cr et de Ti. La dureté à chaud de cet acier est HV 320 à la température de 880°C, ce qui permet à l'alliage de travailler au dessus de la température de coupe, dans des conditions d'usure normale. Pour cet alliage, l'usure est apparue aussi bien en surface d'attaque qu'en surface de dépouille. Il est important de souligner qu'avec l'augmentation de la quantité de carbure de Titane de 50 à 90% et avec cet acier comme liant, les propriétés de coupe de ces alliages ont augmenté d'une façon régulière, ce qui est confirmé par les courbes que nous avons établies et présentées ci-après.



**7<sup>ème</sup> groupe :** alliages à base de différentes quantités de carbure de Titane, de Vanadium, de Molybdène, de Zirconium, de Chrome avec de l'acier thermorésistant comme liant (14% Chrome, 10% Manganèse et 6% Titane).

On a enregistré, pour ces alliages, une limite de résistance à l'élasticité variant de 200 à 1000 MPa, en fonction de la quantité de carbures en présence dans l'alliage, plus celle-ci est importante, plus la résistance diminue. La dureté, quant à elle, a varié de 70 à 90 HRA, elle a augmenté avec l'augmentation de la quantité de carbures dans l'alliage.

L'alliage contenant une grande quantité de carbure de Titane a conservé longtemps l'aspect tranchant de l'arête de coupe. Avec l'augmentation des quantités de carbures dans les alliages, la dispersion de la valeur de l'intensité d'usure a augmenté, ce qui apparaît comme une conséquence de la diminution de la résistance et de la solidité du matériau. Par exemple, pour l'alliage à 90% de TiC, l'intensité d'usure  $h_z/\tau$  a changé, pour différentes plaquettes, dans les limites de 0,03 à 0,2 mm/min. Pour cette raison, l'augmentation de la quantité de carbures de Titane dans l'alliage au dessus de 90% n'est pas recommandée.

**8<sup>ème</sup> groupe :** Alliages à base de carbure de Titane (50 à 70%), avec additifs de carbures de Vanadium, de Molybdène, de Niobium, de Chrome, de Tantale, de Zirconium, avec des quantités variant de 5 à 20% et toujours avec le même acier (14% Chrome, 10% Manganèse et 6% Titane) comme liant.

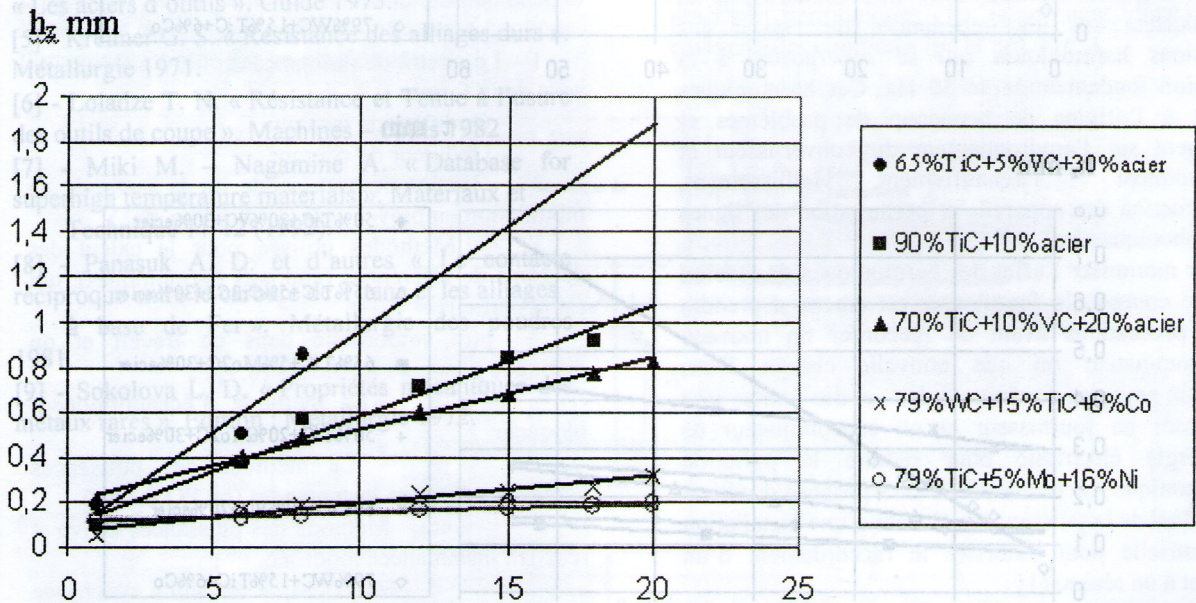
Les carbures additionnés ont permis, d'une part de diminuer la quantité de Titane dans l'alliage, et d'autre part d'améliorer l'action réciproque du liant métallique avec les grains du carbure de Titane. Ils ont diminué aussi la porosité de l'alliage et augmenté ses résistances, mais ils n'ont pas diminué la résistance thermique du liant métallique. Avec cet apport, la limite de résistance à l'élasticité

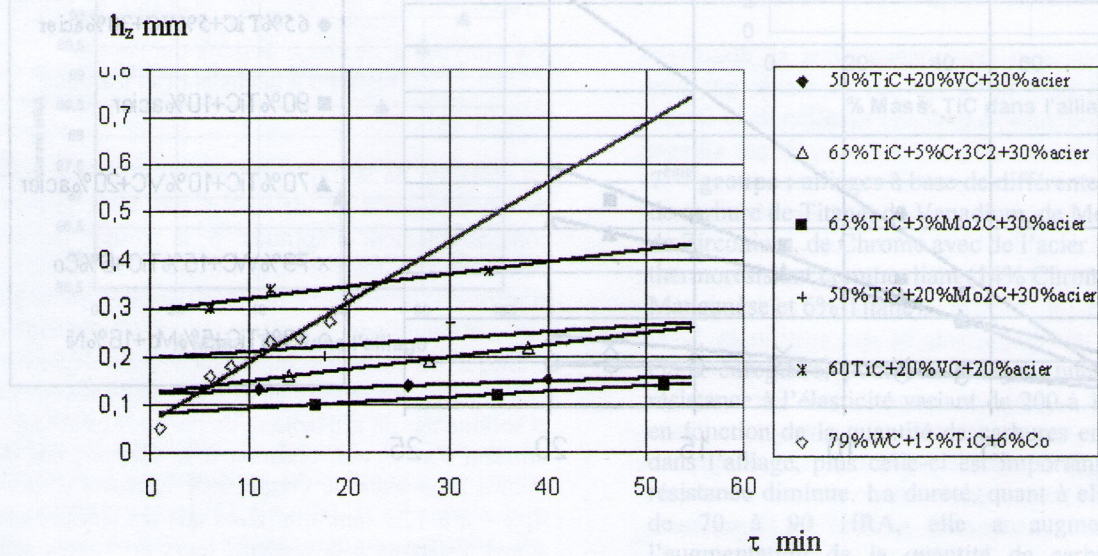
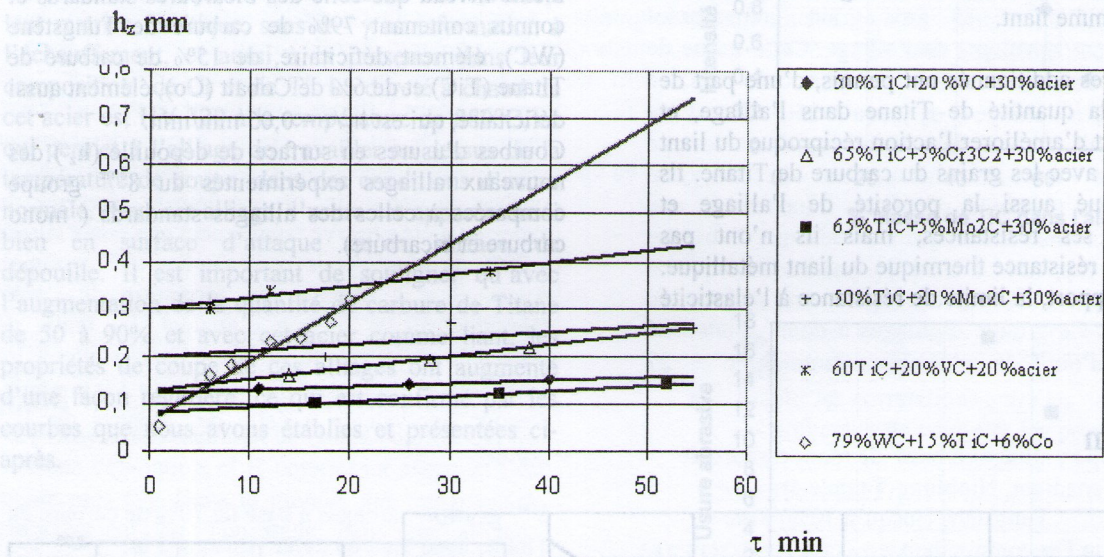
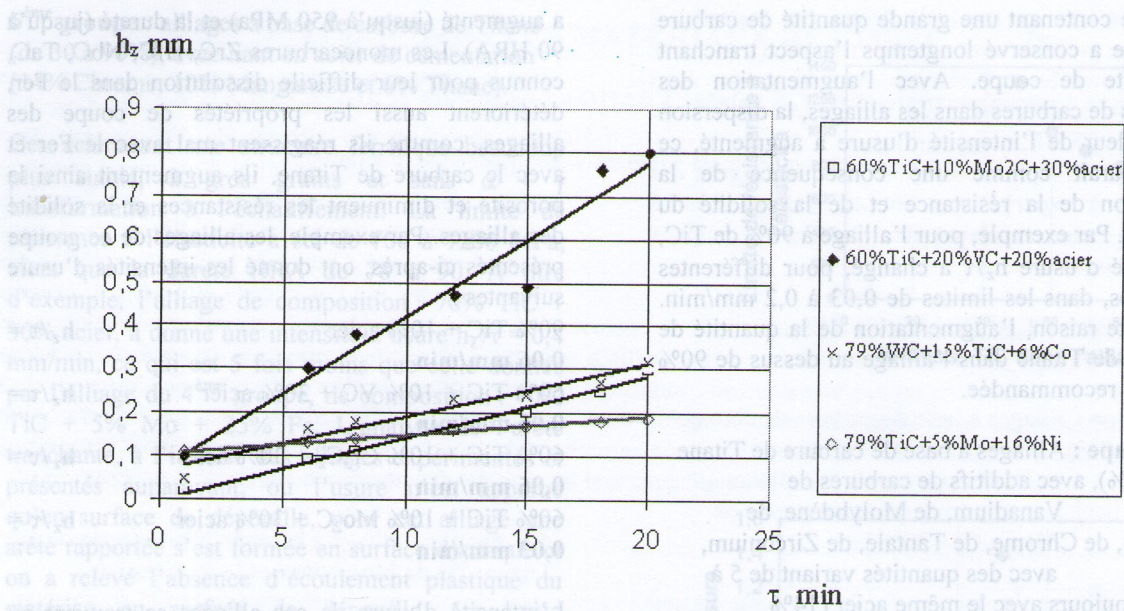
a augmenté (jusqu'à 950 MPa) et la dureté (jusqu'à 90 HRA). Les monocarbures ZrC, HfC, NbC, TaC, connus pour leur difficile dissolution dans le Fer, détériorent aussi les propriétés de coupe des alliages, comme ils réagissent mal avec le Fer et avec le carbure de Titane, ils augmentent ainsi la porosité et diminuent les résistances et la solidité des alliages. Par exemple, les alliages de ce groupe présentés ci-après, ont donné les intensités d'usure suivantes :

|                                                          |              |
|----------------------------------------------------------|--------------|
| 90% TiC + 10% acier                                      | $h_z/\tau =$ |
| <b>0,06 mm/min</b>                                       |              |
| 60% TiC + 10% VC + 30% acier                             | $h_z/\tau =$ |
| <b>0,05 mm/min</b>                                       |              |
| 60% TiC + 10% Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> + 30% acier | $h_z/\tau =$ |
| <b>0,06 mm/min</b>                                       |              |
| 60% TiC + 10% Mo <sub>2</sub> C + 30% acier              | $h_z/\tau =$ |
| <b>0,03 mm/min</b>                                       |              |

L'intensité d'usure de ces alliages se trouvent au même niveau que celle des bicarbures standards et connus contenant 79% de carbure de Tungstène (WC), élément déficitaire, de 15% de carbure de Titane (TiC) et de 6% de Cobalt (Co), élément aussi déficitaire, qui est  $h_z/\tau = 0,05$  mm/min.

Courbes d'usures en surface de dépouille ( $h_z$ ) des nouveaux alliages expérimentés du 8<sup>ème</sup> groupe comparées à celles des alliages standards (mono carbure et bicarbure).





CONCLUSION

Les hautes propriétés de coupe des nouveaux carbures ou alliages durs, égalant celles des carbures, largement utilisés en usinage et qui sont à base de Tungstène, l'élément le plus déficitaire, peuvent être atteintes par les alliages :

a) avec une quantité assez importante de carbure de Titane dont une petite partie peut être remplacée par les carbures de Vanadium ou de Chrome, à hauteur presque des quantités de carbures de l'alliage référentiel, c'est-à-dire le bicarbure de Tungstène et de Titane avec le Cobalt comme liant,

b) avec aussi introduction d'un liant de résistance thermique (au niveau des 800 à 900°C) et possédant une structure ferritique stable, sans  $\alpha - \gamma$  transformation à la chauffe.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] - Ashby M.F. « On the Engineering properties of matériaux », Cambridge University report CUED/C – MATS/TR (1988).

[2] - Bouchelaghem A.M. « Optimisation du procédé de coupe avec utilisation des carbures métalliques sans Tungstène ». Thèse de Ph.D. 1986.

[3] - Cartier M. – Gras R. – Blouet J. « Règles de conception et de choix des matériaux ». Conception mécanique et Tribologie. Journées CETIM – GAMI, 15 Mai 1991.

[4] - Gulariev A.P.– Malinina K.A.– Saverina C.M. « Les aciers d'outils ». Guide 1975.

[5] - Kreimer G. S. « Résistance des alliages durs ». Métallurgie 1971.

[6] - Loladze T. N. « Résistance et Tenue à l'usure des outils de coupe ». Machines – outils 1982

[7] - Miki M. – Nagamine A. « Database for superhigh temperature materials ». Matériaux et Technique 11-12 (1992).

[8] - Panasuk A. D. et d'autres « Le contacte réciproque entre le carbure de Titane et les alliages à base de Fer ». Métallurgie des poudres 1981.

[9] - Sokolova L. D. « Propriétés mécaniques des métaux rares ». Edition : Métallurgie 1972.

Fig. 3. Schéma bloc de commande du filtre actif.