

EXAMEN MORPHOLOGIQUE DE L'USURE DES PLAQUETTES CARBURE METALLIQUE EN FRAISAGE

M. BENGHERSALLAH* and L. BOULANOVAR*. MAHFOUDI**, S. DOMINIAK**.

* Laboratoire Mécanique des Matériaux et Maintenance Industrielle (LR3MI), Département de Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar BP12, Annaba 23000. E -mail : Didinelr3mi@yahoo.fr

**Laboratoire de Physique et Mécanique des Matériaux UMR CNRS 7554, ISGMP– Bâtiment C, Ile du Saulcy, 57045 METZ, Cedex 01, France

Résumé

Cette étude est basée sur l'examen de la morphologie de l'usure des plaquettes en carbure P35 sans revêtement et les plaquettes en carbure avec revêtement simple couche TiN.

L'analyse a été menée en premier lieu par une exploration des plaquettes par le microscope interférométrique à lumière blanche. Un deuxième examen des plaquettes est réalisé par le microscope électronique à balayage.

L'examen interférométrique nous a permis d'évaluer avec une très grande précision la profondeur de l'usure dans le substrat composant le matériaux de coupe. Il nous a aussi permis d'évaluer l'épaisseur de la couche du revêtement.

L'examen sur le MEB consiste à explorer l'usure et étudier sa morphologie et déterminer la composition chimique du substrat utilisé pour la fabrication des plaquettes.

Les résultats obtenus seront utilisés pour mettre en évidence la nature de l'usure et les mécanismes de sa formation.

1. Introduction

L'analyse de la morphologie de l'usure est une technique d'investigations qui est devenue très employée dans la recherche de la coupe des métaux [7] [12][14].

L'utilisation de l'interféromètre à lumière blanche et du microscope électronique à balayage dans les investigations permet d'observer avec une grande précision la zone de coupe altérée.

Les possibilités d'agrandissements conférés par le M.E.B. et l'analyse spectrale sous rayons X ont aussi permis de résoudre plusieurs problèmes relatifs aux mécanismes d'usure qui accompagnent la formation du copeau.

L'usure des outils est un processus de destruction de couches superficielles, qui conduit à la modification progressive de la forme et l'état de surface des pièces usinées. Elle affecte également la géométrie de l'outil, la température, les efforts de coupe, la précision d'usinage et la rugosité de la surface usinée. Elle se traduit avant tout par un arrachement de petites particules de métal des surfaces d'attaque et de dépouille principale et auxiliaire. [1], [8]

Il est à noter que l'usure des outils de coupe se manifeste dans des conditions de travail beaucoup plus

difficiles que celles des pièces de machines. En effet la pression spécifique dans les surfaces de contact de pièces de machines ne dépasse pas quelque MPa et la température d'échauffement est inférieure à 100°C alors que la pression spécifique dans les surfaces de contact de la partie active d'un outil est de l'ordre de 1000 à 2000 MPa et la température d'échauffement est de 100°C à 1000°C et plus [4].

L'avènement des carbures métalliques frittés sous forme de plaquettes insérées dans les corps de fraises avec des géométries de coupe appropriées, a permis l'usinage avec des vitesses de coupe nettement plus élevées jusqu'à 200m/mn pour les aciers[10].

Les revêtements TiN, TiCN simple couche et multicouches des plaquettes en carbure métallique sont actuellement très employés pour l'usinage des métaux durs comme les aciers à outil traités et les fontes trempées [12].

Au cours du fraisage d'ébauchage et de semi – finition l'augmentation de l'avance par dent et de la profondeur de passe sont recommandées, les opérations de finition sont conditionnées par la précision dimensionnelle et géométrique des pièces usinées et particulièrement l'état de surface et la résistance aux déformations [1][2].

Dans cet article nous allons étudier le comportement du matériau de coupe employé pour les essais d'usinage de l'acier de référence en l'occurrence le C18 à traitements thermiques.

Nous étudierons l'influence des paramètres du régime de coupe au cours du fraisage (surfaçage) sur la tenue en service de l'outil fraise pour les plaquettes en carbure P35 non revêtues et pour les plaquettes de même nuance revêtues d'une couche au nitrure de titane par dépôt (PVD) .Nous proposerons également des modèles mathématiques prédictifs qui expriment les relations de T et Ra en fonction de V, f_z et a_p . Nous examinerons la morphologie de l'usure des plaquettes de fraisage par des moyens d'investigations pointus.

2 Procédure expérimentale.

Dans le but d'augmenter et de satisfaire le caractère complexe et aléatoire du processus de coupe, les essais ont été réalisés d'après la méthode classique de

longue durée, associée à celle de planification des expériences. [5], [6],[11].

2.1 Equipements utilisés.

2.1.1 Machine-outil

Fraiseuse à commande numérique à trois axes à banc fixe ;
Puissance du moteur de broche P=22KW.



Fig. 1 : Fraiseuse CNC utilisée pour les essais

2.1.2 Matière à usiner

Acier pour traitements thermiques de caractéristiques suivantes :

Tableau 1: propriétés du matériau testé

Chimiques				
C	Si	P	Cr	V
0,15-0,2	0,174	0,05	0,035	Traces
Mécaniques				
HRB	Rm	ΔL	HRB après T.TH	
77	60 MPa	10%	90/100	



Fig. 2 : Eprouvette d'essai en Acier C18
Dimensions : (300x120x98).

2.1.3 Outil de coupe

Fraise à surfacer ($D_c=100\text{mm.}$) à plaquettes rapportées (08dents) en carbure métallique (P35), ayant respectivement la géométrie et la désignation suivante: $\alpha_0=11^\circ$, $\gamma_0=3^\circ$, $\kappa_r=75^\circ$. SPMR 12 03 08.

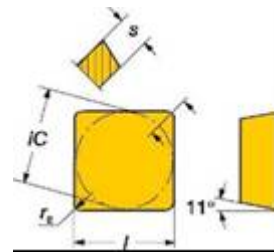
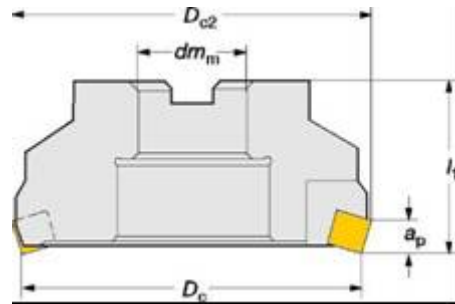


Fig. 3 : Détails de l'outil fraise et de la plaquette.

2.1.4 Appareil de mesure de l'usure.

Le suivi de l'évolution de l'usure et les relevés des paramètres dimensionnels est réalisé par le microscope optique. L'examen morphologique est assuré par le M.E.B. de L.P.M.M. de Metz.



Fig. 4 : Microscope optique du laboratoire LPMM



Fig. 5 : Microscope électronique à balayage (M.E.B.)

2.2 Conditions de coupe

Pour quantifier l'effet des conditions de travail sur les paramètres technologiques étudiés nous avons varié les éléments du régime de coupe dans les intervalles suivants :

$V = (60 \div 150)$ m/min ; $f_z = (0,02 \div 0,2)$ mm/dent et $a_p = (1 \div 2,5)$ mm.

Les essais ont été effectués à sec.

L'usure admissible VB retenue selon la norme ISO est 0,35mm.

3. Résultats et discussion

3.1 L'usure des dents de la fraise

Les essais d'usinage sont réalisés conformément au plan des expériences préalablement élaboré. La valeur de l'usure retenue est la moyenne de l'usure en dépouille mesurée pour chaque de la fraise.

3.1.1 Traitement graphique de l'usure des deux nuances de plaquettes testées.

Les résultats du suivi de l'usure moyenne des dents de la fraise en fonction des différentes combinaisons du régime de coupe et du temps de travail, sont exprimés graphiquement par les figures 10 et 11. Le traitement graphique de ces résultats a permis la détermination des tenues (tableau 2).

Le traitement statistique de ces résultats (tableau 2) a permis la déduction du modèle mathématique (1) pour les plaquettes non revêtues et le modèle (2) pour les plaquettes revêtues. Ces modèles expriment la relation entre les paramètres de sortie (Tenue) et les paramètres d'entrée (éléments du régime de coupe). L'adéquation de ces modèles est exprimée par le coefficient de corrélation $R = 0,959$.

$$T_1 = \frac{e^{6.432}}{V^{0.984} f_z^{0.901} a_p^{-0.082}} \quad (1)$$

$$T_2 = \frac{e^{8.544}}{V^{0.977} f_z^{0.704} a_p^{0.376}} \quad (2)$$

- (1) Modèle mathématique exprimant la tenue T en fonction des paramètres du régime de coupe pour les plaquettes P35 non revêtues
- (2) Modèle mathématique de T pour les plaquettes P35 revêtues

Tableau 2 : Tenues en fonction des différentes combinaisons du plan des expériences

N° Essai	Paramètres d'entrée			Paramètres de sortie Tenue T (min)	
				Plaquettes	
	V	f_z	a_p	Non revêtues	Revêtues
1	60	0,02	1	490	1400
2	150	0,02	1	90	575
3	60	0,2	1	45	215
4	150	0,2	1	30	120
5	60	0,02	2,5	370	1250
6	150	0,02	2,5	220	360
7	60	0,2	2,5	45	230
8	150	0,2	2,5	22	80

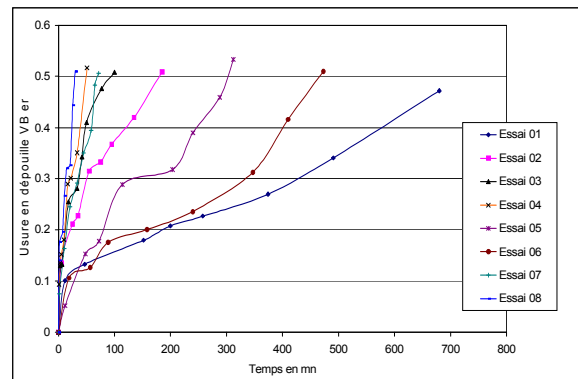


Fig. 6 : Evolution de l'usure VB en fonction du temps pour les huit régimes de coupe (plaquettes en carbure P35 non revêtues)

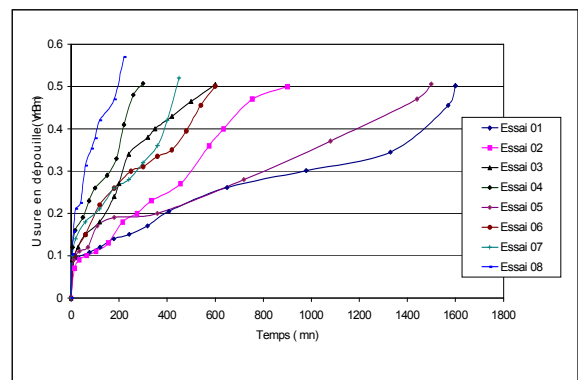


Fig. 7 : Evolution de l'usure VB en fonction du temps pour les huit régimes de coupe (Plaquettes en carbure P35 revêtues)

3.1.2 Analyse morphologique de l'usure de la face en dépouille des plaquettes.

3.1.3.1 Examen interférométrique des plaquettes

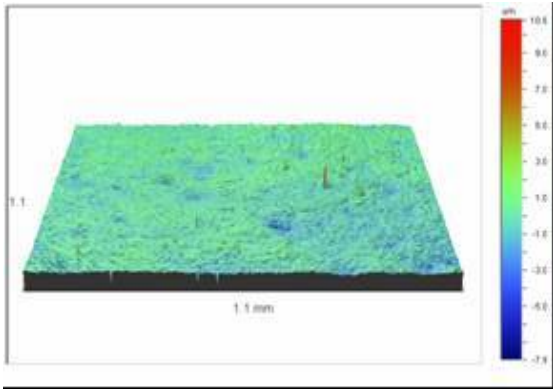


Fig. 8 : Etat de surface de la plaquette P35 revêtue. Ra= 0,32 µm

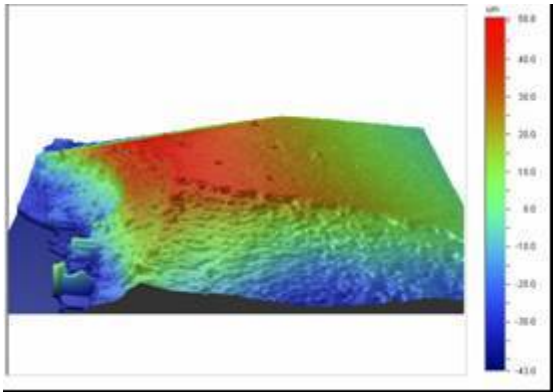


Fig. 9 : Effondrement d'arête plaquette P35 revêtu.

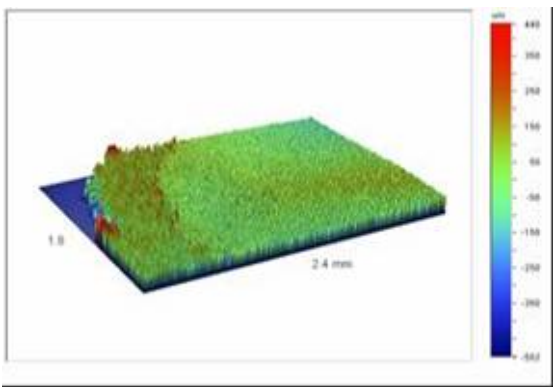
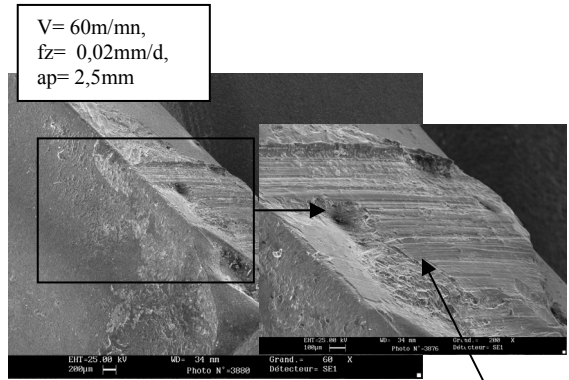


Fig.10 : Copeau adhérent sur la surface d'attaque de la plaquette

3.1.3. Examen microscopique des plaquettes au M.E.B.



Copeau adhérent sur la surface en dépouille

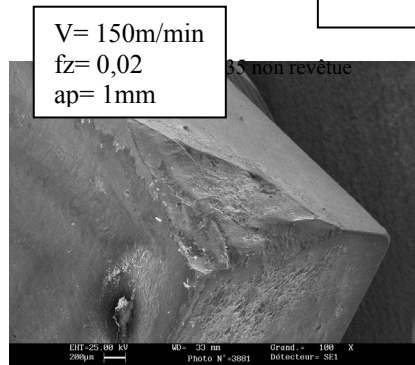


Fig. 12 : Usure en dépouille plaquette non revêtue

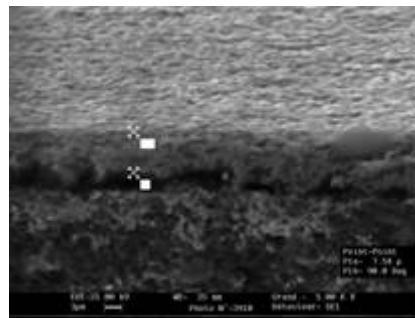


Fig. 13 : Epaisseur du revêtement TiN

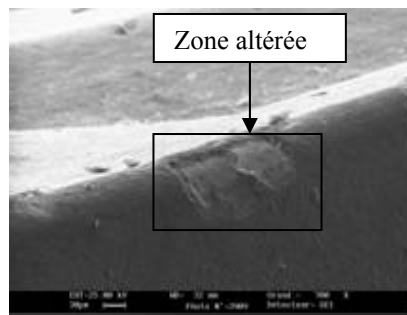


Fig.14 : Altération de la surface de la plaquette
Début de détachement de la couche revêtue

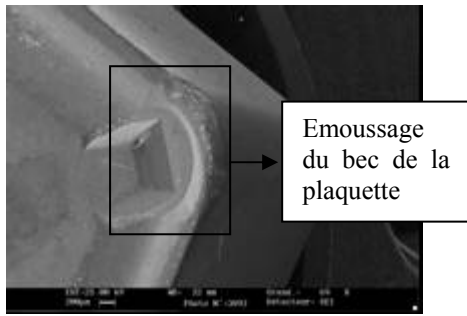


Fig. 15 : Amorçage de l'usure plaquette revêtue

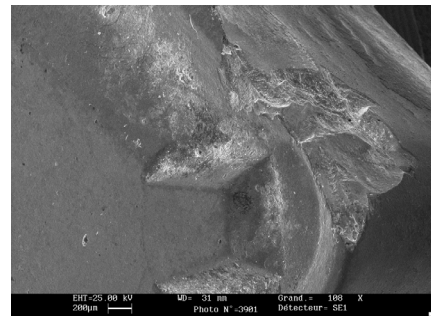


Fig.17c : Début de l'usure par abrasion
Durée de coupe T= 500min.

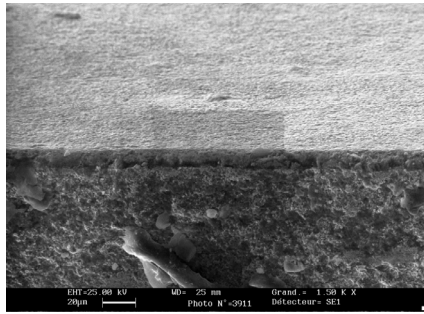


Fig. 16: Epaisseur de la couche du revêtement
Apparition des grains du substrat agrandissement
Jusqu'à 20µm

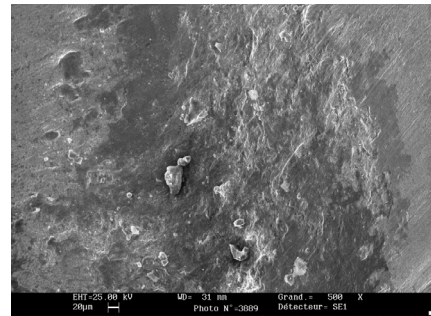


Fig.17d : Particules de substrat collé au matériau usiné
dans la zone d'usure agrandissement x 500 (20µm)

3.1.4. Suivi de l'évolution de l'usure de la plaquette revêtue

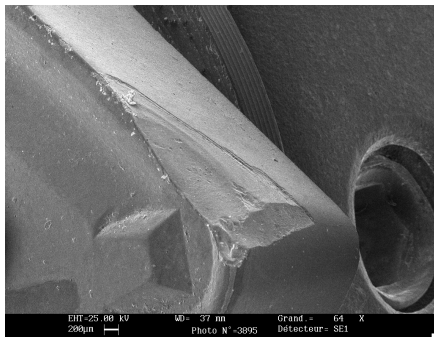


Fig.17a : Ecaillage de la surface de la plaquette

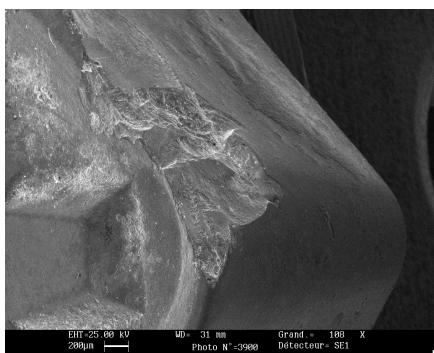


Fig. 17b : Phase d'usure par adhésion

4. Analyse des résultats

L'analyse des courbes d'usure (figure 6 et 7) et des valeurs de la tenue (tableau 2), montre que la vitesse de coupe a l'influence la plus marquée sur l'usure, suivi par l'avance et enfin la profondeur de passe. Ce degré d'influence est justifié aussi par les valeurs absolues des exposants du modèle mathématique (1) [5] [6].

L'explication réside dans le fait qu'avec l'augmentation de la vitesse de coupe et de l'avance, la température augmente dans la zone de coupe ce qui accélère le processus de l'usure et par conséquent la tenue diminue [5] [7]. La faible influence de la profondeur de passe s'explique par le fait que l'augmentation de la surface de contact améliore les conditions d'évacuation de la chaleur de la zone de coupe.

Les revêtements à base de nitrure de titane (TiN) donnent une meilleure résistance à l'usure [9]. Comparativement aux carbures P35 non revêtus testés auparavant les carbures P35 revêtus simple couche de nitrure de titane donnent de meilleurs résultats du point de vue résistance à l'usure.

L'analyse des photographies de l'usure prises sur le microscope électronique à balayage montre que pour le fraisage et avec les conditions d'usinage citées, il n'y a pas d'usure de la face d'attaque. Sur cette surface nous observons l'adhésion du copeau.

L'examen morphologique de l'usure des plaquettes au microscope, révèle sur les plaquettes sans revêtement (figures 11 et 12), une couche adhérente du matériau usiné (copeau adhérent). [4][8]. Cette couche se détache progressivement de la zone de coupe provoquant un début d'écaillage (détachement de particules de

substrat). Au fil du temps de coupe, ce phénomène se répète et engendre la modification de la morphologie des plaquettes par l'émoussage de l'arête de coupe.

L'usure se manifeste sur la face en dépouille par une bande non uniforme et d'une profondeur variable et arbitraire [].

Pour les plaquettes avec revêtement simple couche TiN (figure 14, 15,16), le suivi de l'usure montre qu'en premier lieu, la couche du revêtement commence à se détacher par endroits sur la surface de dépouille et sur la surface d'attaque. L'usure progresse après un début d'écaillage et le substrat commence à s'altérer.

L'analyse sous X réalisée par le microscope électronique, montre que sur la bande d'usure, il y a la présence de particules de matériau usiné avec le substrat. Cette situation s'explique dans la littérature des études réalisées sur l'investigation de l'usure que nous sommes en présence du phénomène de l'usure par adhésion et l'usure par abrasion particulièrement pour les vitesses de coupe élevées ($V=150$ m/min) [12][13][14].

5. Conclusion

Les principales conclusions tirées de cette étude sont :

- La détermination de la tenue des plaquettes la fraise en fonction des paramètres du régime de coupe V , f_z , a_p , pour les carbures P35 non revêtus et le P35 revêtu au nitrure de titane simple couche.
- La mise en évidence des performances de coupe des plaquettes revêtues par rapport à celles non revêtues.
- L'examen morphologique de l'usure permet de mieux comprendre son évolution et son influence sur la qualité de l'usinage.
- L'examen des plaquettes au microscope électronique à balayage et une technique d'investigation très précise et révélatrice. Plusieurs phénomènes qui se produisaient dans la zone de coupe et qui accompagnent les mécanismes de la formation du copeau ont été éclaircis.

Références

- [1] Collectivité d'auteurs, *Fraisage, un domaine où l'outil va de plus en plus vite*, Revue périodique, Machine de production, I.S.S.N. 1989.
- [2] Lefebvre M. *Fraisage combine carbure*, CETIM, 1989
- [3] Boulanouar L. Khechana M. et Belhadi S., *Comportement à l'usure des plaquettes en carbure métallique P25, face à l'acier XC30*, quatrième séminaire national de mécanique, ENSET d'Oran, 25 et 26 Avril 1995.
- [4] Roumesy B, Bedrin C. *Usinabilité et coupe des métaux*, Matériaux et techniques, Août/sept. 1981.
- [5] Roumesy B. *Détermination des lois d'usure des outils de coupe*, Machine-outils Juillet 1975.
- [6] Boulanouar L. *Modélisation statistique pour la détermination de l'usinabilité des aciers difficilement usinables*, Thèse (Ph. D), pp. 200, Sofia, 1986.
- [7] Yalles M A, Rigal J-F, Chaoui K, and Boulanouar L. *The effects of cutting conditions on mixed ceramic and cubic boron nitride tool wear and on surface roughness during machining of X200Cr12 steel (60 HRC)*. Engineering Manufacture Imèche 2005.
- [8] Yalles M A, Boulanouar L, Chaoui K. *Usinage de l'acier 100Cr6 trempé par un outil en nitrure de bore cubique*, mécanique et industries 2004
- [9] E. Aslan. *Experimental investigation of cutting tool performance in high speed cutting of hardened X210Cr12 cold-work tool steel (62HRC)*. Material and design May 2004.

- [10] N. Camuscu, E. Aslan *A comparative study on cutting tool performance in end milling of AISI D3 tool steel*. Materials processing technology Avril 2005.
- [11] J.A Ghani, I.A.Choudhury, H.Hassan. *Application of taguchi method in the optimization of end milling parameters*. Materials processing technology 145(2004) 84-92.
- [12] M.Nordin, R. Sundstrom, T.I. Selinder, S. Hogmark. *Wear and failure mechanisms of multilayered PVD TiN TaN coated tools when milling austenitic stainless steel* Surface and coatings technology 133-134 (2000) 240-246
- [13] T.I. Selinder, M.E. Sjostrand, M.Nordin, S. Hogmark. *Performance of PVD TiN/TaN and TiN/NbN superlattice coated cemented carbide tools in stainless steel machining* Surface and coatings technology 105 (1998) 51-55.
- [14] M.Nordin, M.Larsson, S. Hogmark. *Mechanical and tribological properties of multilayered PVD TiN/CrN, TiN/MoN, TiN/NbN, TiN/TaN coating on cemented carbide*. Surface and coatings technology 106 (1998) 234-241.