

## ETUDE DE LA PRECISION DE SERRAGE ET DES DEFORMATIONS ELASTIQUES DE CERTAINS COUTEAUX POUR LE TOURNAGE, SPECIFIQUE AUX SYSTEMES FLEXIBLES D'OUTILS

Ioan POPESCU<sup>1</sup>

*Lucrarea prezintă sintetic, pe baza unor cercetări adecvate, performanțe de precizie a prinderii și deformațiile elastice – aferente unor construcții noi, brevetate de cuțite pentru strunjire, specifice sistemelor flexibile (modulare) de scule. Aceste soluții constructive au fost premiate cu o medalie de aur și una de argint la Salonul Internațional al Invențiilor de la Geneva, edițiile din anii 1994 – 1995.*

*Basé sur certaines recherches, l'article présente d'une manière synthétique les performances de la précision du serrage et les déformations élastiques afférentes aux nouvelles constructions brevetées, des outils nécessaires au tournage spécifique aux systèmes flexibles (modulaires) d'outils. Ces solutions constructives ont reçu une médaille d'or et une médaille d'argent au Salon International des Inventions de Genève, les éditions de 1994, 1995.*

*Based on proper research, the present work presents in a synthetic way clamping precision performances and elastic deformation – concerning new devices, patented of cutting tools for turning. These constructive solutions have been awarded with a golden and silver medals at the Geneve International Invention Fair, 1994 – 1995 editions.*

**Mots clé :** précision de serrage, déformation élastiques, couteaux interchangeables pour le tournage, système flexible d'outils, brevet d'invention.

### 1. Les constructions de couteaux pour le tournage étudiés

Basé sur le modèle général des outils coupants (fig.1) caractérisé par la généralité de la partie active, de la cinématique, et de la partie de serrage [2,3,6] et prenant en considération la généralisation d'une seule direction de pré-reglage pour les outils [1,7], on a déduit de nouvelles constructions de couteaux pour tournage [2,6].

---

<sup>1</sup> Professeur, Département de Technologie de Constructions des Machines, Université Politehnica de Bucarest, ROUMANIA

La généralité de la partie active des outils est illustrée par des couteaux élémentaires [2,6]. La généralité de la cinématique est définie par un mouvement principal ou/et d'avance sur une trajectoire rectiligne 1<sub>x,y,z</sub> ou curviligne 2<sub>x,y,z</sub> (de rotation) , 3<sub>x,y,z</sub> (de révolution) par rapport aux systèmes de référence et de l'outil généralisé d'origine O<sub>S.G.</sub> et de la machine outil d'origine. La partie de serrage généralisé contient tous les types de surfaces d'orientation spécifiques: plane I, cylindrique extérieure ou intérieure II, III, conique extérieure ou intérieure IV, V (voir fig. 1)

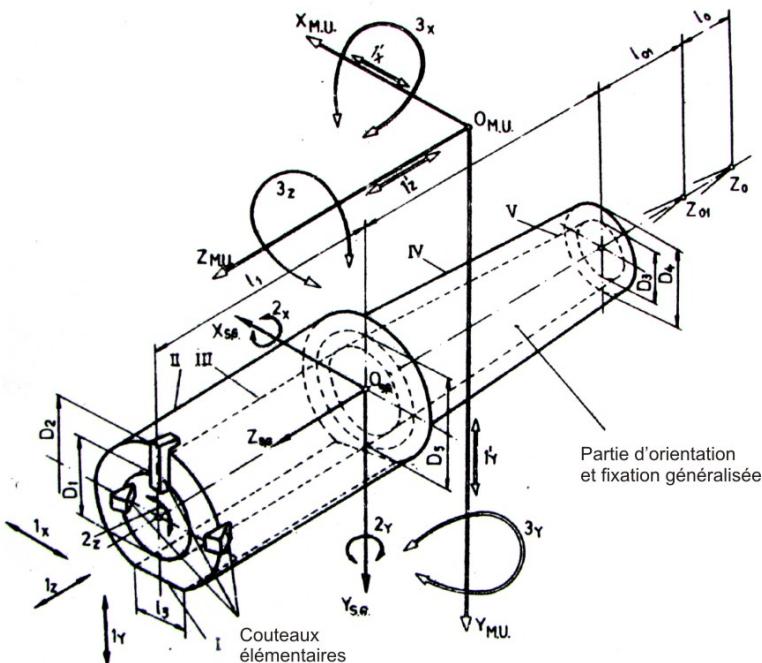


Fig. 1 – Modèle générale des outils coupants

Les nouvelles constructions des couteaux obtenues [4, 5, 8] ont été dénommés « couteaux interchangeables pour le tournage » (CIPS), grâce à leur précision élevée de l'interchangeabilité. Un exemple de construction de ces couteaux est montré dans la fig. 2a, b à l'aide duquel on met en évidence l'ensemble des surfaces d'orientation s.o. et de fixation s.f.

Les particularités constructives pour les deux solutions sont adressées à la partie de serrage (orientation et fixation).

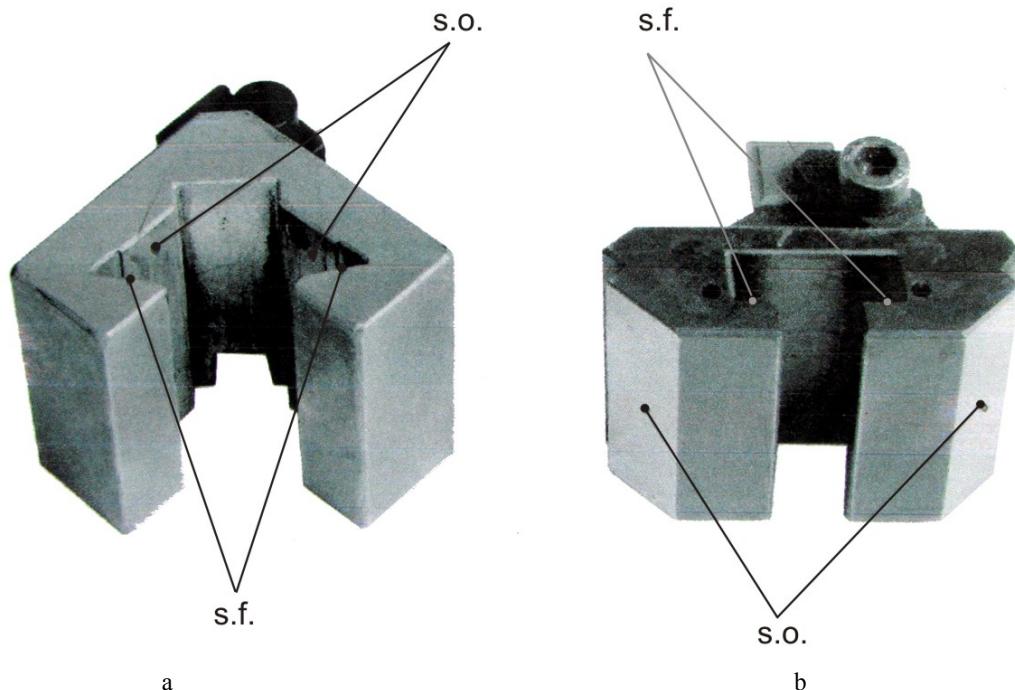


Fig. 2 – Un exemple de la construction

La première solution – CIPS I est caractérisée par des surfaces d'orientations s.o. – extérieures et des surfaces de fixation s.f – intérieures. Au niveau général, la deuxième solution – CIPS II est plus simple du point de vue constructif et technologique par rapport à la première.

Les deux solutions constructives CIPS I et CIPS II par la nature conceptuelle, assurent en principe des performances supérieures de précision, de productivité, la commodité du serrage, des performances qui les recommandent pour la structure des systèmes modernes flexibles (modulaires) d'outils. Des variantes de ces systèmes flexibles d'outils sont présentées dans les ouvrages [3, 7,8] et on peut les trouver dans les laboratoires de la Chaire de Technologie de Construction des Machines de l'Université Politehnica de Bucarest.

Un exemple partiel de structure du système flexible d'outils réalisé à partir de la première solution CIPS I et présenté par la fig. 3. Celle-ci présente trois couteaux (CIPS I) et un dispositif de base en tant que système de fixation des couteaux par un paquet des rondelles élastiques [4,7]

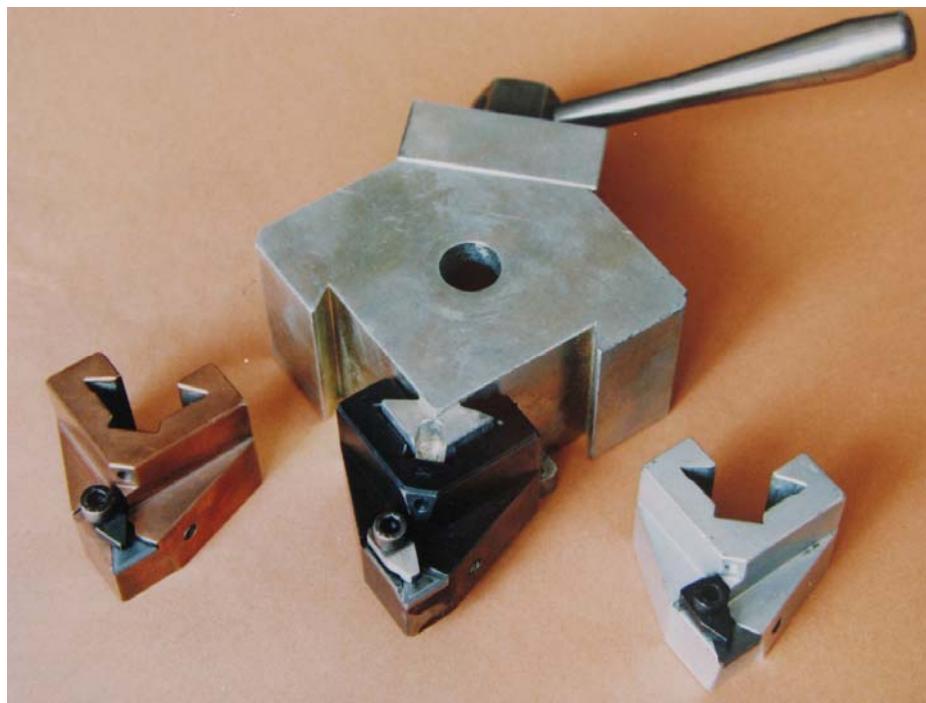


Fig. 3 – Un exemple de la structure d'un système flexible (modulaire) d'outils (CIPS I) (extrait)

## 2. Les conditions de l'étude de la précision de serrage et des déformations élastiques statiques des couteaux

La précision (l'erreur) de serrage (orientation et fixation) des couteaux interchangeables pour le tournage (CIPS I, II) a été déterminée par l'élévation des courbes des distributions Gauss – Laplace des erreurs de serrage pour des serrages répétitives des couteaux sur un stand expérimental. La constance de la force de fixation a été assurée par l'usage d'une clé dynamométrique.

Le schéma de mesure matérialisé sur le stand expérimental est présenté dans la fig. 4a. Dans ce schéma on présente les cotes spécifiques à la construction des couteaux et les schémas de serrage afférentes des deux solutions constructives. La cote de gabarit sur la hauteur des couteaux est de 44 [mm] pour la première construction et de 40 [mm] pour la deuxième. L'orientation des couteaux est présentée par les symboles [1] + [2] pour la première solution et [1'] et [2'] pour la deuxième solution, et la fixation – par le symbole \$. Pour les deux solutions le déplacement vertical des couteaux est transmis par un appui distinct (le symbole commun note par le chiffre 3).

Les dispositifs des serrages des couteaux ont des constructions qui correspondent aux schémas de fixation de la figure 4a. Les systèmes de fixation, dans les deux cas, assurent l'application de la force de fixation sur la direction diagonale du dispositif. La figure 3 est illustrative pour la première construction considérée (CIPS I).

Les erreurs de serrage des couteaux sur la direction radiale X,  $\varepsilon_{px}$  ont été mesurées à l'aide d'un traducteur inductif sans contact, à résolution de 0,001 [mm] et par un pont tensométrique type N2314. Par des raisons expérimentales la plaquette amovible des couteaux a été remplacée pendant le mesurage par un élément à zone sphérique de mesure. Les erreurs de serrage ont été enregistrées pour 30 serrages – desserrages pour chaque variante constructive.

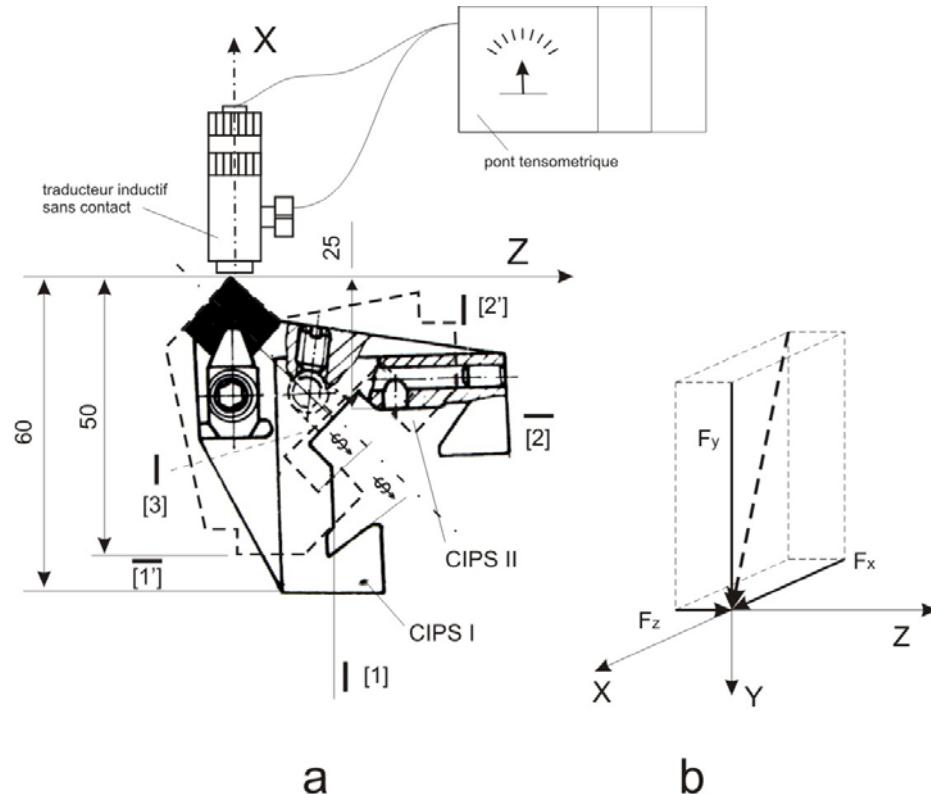


Fig. 4 - Le schéma de mesure des erreurs de serrage des couteaux (a) et le schéma de la charge virtuelle pour déterminer la déformation élastique (b).

Les courbes de distribution des erreurs ont été déterminées par un logiciel spécifique. La formule de calcul [13] des erreurs de serrage  $\varepsilon_{px}$ , pour une distribution normale, est:

$$\varepsilon_{px} = 6 \cdot \sigma = 6 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{X_i - M_0}{a} \right)^2 \cdot n_i}{\sum n_i}} \quad (1)$$

dans laquelle:

$\sigma$  est la valeur de l'écart moyen carré (variance),

$X_i$  est la moyenne de l'intervalle des erreurs,

$n_i$  est le nombre (la fréquence) des erreurs trouvées avec la même valeur  $X_i$  ( $i=1\dots m$  intervalles),

$M_0$  est la moyenne arithmétique de l'intervalle avec la plus grande fréquence,

$a$  est la différence entre les valeurs moyennes des deux intervalles consécutives (la valeur d'un intervalle).

Fig. 4b présente le schéma de chargement virtuelle avec la force spatiale  $F$  de composantes  $F_x, F_y, F_z$  pour le calcul des déformations élastiques statiques. Les déformations élastiques statiques des couteaux interchangeables pour le tournage CIPS I, CIPS II ont été déterminées en utilisant la méthode de l'élément finit par le logiciel CATIA [9].

Le chargement des modèles virtuels pour les deux types de couteaux de tournage a été réalisé avec une force spatiale  $F = 5600$  [N] aux composantes  $F_x = 2720$  [N],  $F_y = 4710$  [N],  $F_z = 1280$  [N]. L'application a été réalisée à la pointe de couteau, l'axe Z étant l'axe de l'arbre principal de la machine-outil. Les conditions ont été choisies de telle manière qu'elles correspondent au standard STAS 6869 pour le calcul de la rigidité statique des tours normaux.

### 3. Les résultats expérimentaux et leur interprétation

Les valeurs des erreurs de serrage des couteaux sur la direction radiale X d'environ 30 serrages successives  $\varepsilon_{pxi}$  pour les deux solutions constructives CIPS I, II sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1

Les valeurs des erreurs de serrage des couteaux sur la direction radiale X

La solution constructive	Valeurs $\varepsilon_{pxi}$ [ $\mu\text{m}$ ] / Fréquence						
CIPS I	-0,5/2	0,0/ 5	+0,5/6	+ 1,0/7	+1,5/3	+2/6	+2,5/2
CIPS II	-1,0/4	-0,5/5	0,0/7	+0,5/8	+1,0/3	+1,5/1	+2,0/1

Les courbes de distribution afférente sont présentées dans la figure 5.

Les valeurs des erreurs de serrage calculées a base de la formule (1) sont:

$$\varepsilon_{px} \text{ CIPS I} = 6 \sigma_1 = 6 \cdot 0,85 = 5,1 [\mu\text{m}] = 0,0051 [\text{mm}] \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{px} \text{ CIPS II} &= 6 \sigma_2 = 6 \cdot 0,81 = 4,86 [\mu\text{m}] = 0,0049 [\text{mm}] \end{aligned} \right\}$$

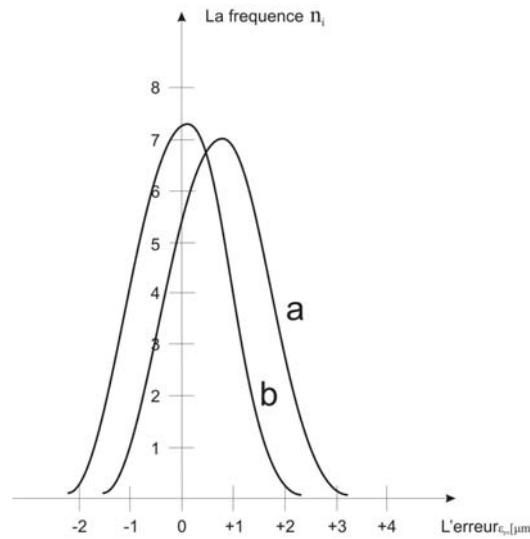
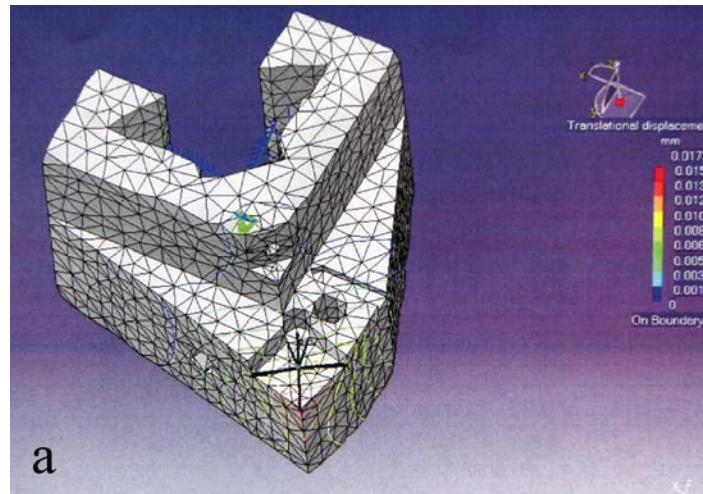


Fig. 5 – Les courbes des distributions des erreurs de serrage des couteaux sur la direction X (a – CIPS I, b – CIPS II)

Fig. 6a,b présente pour les deux solutions constructives CIPS I, II les champs des déplacements statiques totaux sur la direction radiale X, obtenues par la méthode de l'élément finit [9] pour le chargement dans les conditions présentées dans la fig. 4b. Le tableau 2 présente des valeurs significatives des déformations élastiques  $\Delta_x$  [mm]



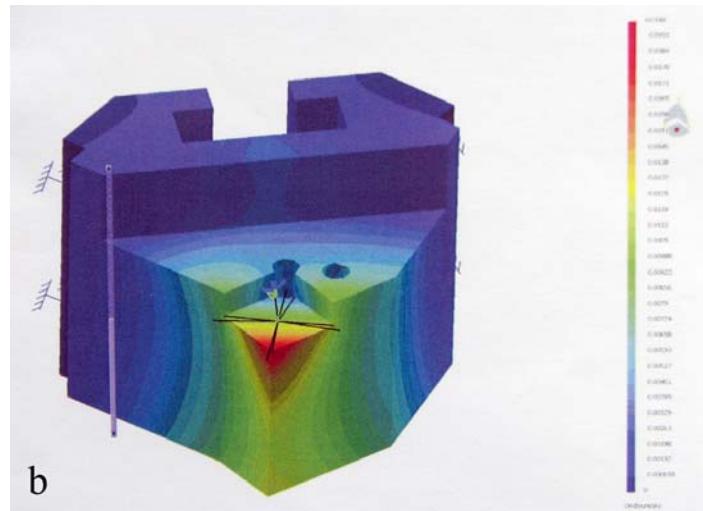


Fig. 6 a,b – Les champs des déplacements statiques totaux sur la direction radial X (a – CIPS I, b – CIPS II)

Tableau 2

**Valeurs des déformations élastiques statiques  $\Delta_x$  [mm]**

La solution constructive/ Valeurs des déformations élastiques statiques	CIPS I	CIPS II
1	0	0
2	0,00173	0,00193
3	0,00345	0,00395
4	0,00518	0,00593
5	0,00690	0,00790
6	0,00863	0,00922
7	0,0104	0,0112
8	0,0121	0,0125
9	0,0138	0,0145
10	0,0155	0,0171
11	0,0173	0,0193

Les valeurs maximales des déformations élastiques correspondent aux pointes des couteaux et celles minimales à la zone de serrage (encastrement).

Du point de vue de la précision de serrage des couteaux recherches, sur la direction radial X, les valeurs des erreurs de serrage – 5,1 [ $\mu\text{m}$ ] et 4,9 [ $\mu\text{m}$ ] sont aux niveaux des performances actuelles dans le domaine ( $\pm 0,0025$  mm)

En ce qui concerne les déformations élastiques statiques (la rigidité statique), les deux solutions constructives ont un comportement similaire. La différence de 2 [ $\mu\text{m}$ ] (0,00193 mm par rapport à 0,0173 mm) en défaveur de la

deuxième solution constructive peut être considérée insignifiante. En plus, un argument explicatif peut être le fait que la longueur en console des couteaux CIPS II est plus grande avec environ 50% (50 mm par rapport à 25 mm – voir fig. 4) par rapport à la première solution CIPS I.

#### 4. Conclusions

Par l'analyse des résultats des recherches concernant le comportement des nouvelles constructions brevetées des couteaux interchangeables pour le tournage présentées ci-dessus de manière synthétique, on peut déduire des données essentielles concernant les performances (le comportement) de ceux-ci à l'exploitation.

La précision de serrage (orientation et fixation) des couteaux interchangeables pour le tournage d'environ 0,005 [mm] dans les deux versions est au niveau des performances actuelles dans le domaine.

L'étude des déformations élastiques statiques par la méthode de l'élément finit montre que les deux types de couteaux ont un comportement similaire. Les déformations élastiques maximales aux pointes des couteaux pour une charge spatiale de 5600 [N] ont de valeurs inférieures à 0,02 [mm].

Constatés par des mesurages successives, les temps de changement des couteaux étudiés sont d'environ 5 [sec].

Ces performances (de précision, rigidité et productivité du serrage) sont dues à la forme de l'ensemble des surfaces d'orientations et fixation des couteaux (brevetés) et peuvent être assurées par l'utilisation d'une vaste diversité de dispositifs de serrage des couteaux, à mise en mouvement manuelle ou mécanisée.

#### B I B L I O G R A P H I E

- [1] Popescu, I. –Analiza comparativa a schemelor generalizate de orientare si fixare a sculelor aschietoare pe masinile unelte. Buletinul I.P.B., nr. 3, 1974.
- [2] Popescu, I. –Contributii privind studiul teoretic si experimental al orientarii si fixarii sculelor aschietoare pe masini unelte. Teza de doctorat, I.P.B, 1977.
- [3] Popescu, I. –Sistema flessibile di utensili e attrezzi per torni. Milano, Macchine, nr. 5, 1991.
- [4] Popescu, I., Tache, V. –Dispozitiv multifunctional pentru masini unelte. Brevet de inventie nr. 103287 RO / 1984. Medalie de aur la Salonul International al Inventiilor, Geneva, 1995.
- [5] Popescu, I. – Port cutit. Brevet de inventie nr. 107368 RO/ 1990. Medalie de argint la Salonul International al Inventiilor, Geneva, 1994.
- [6] Minciù, C., Popescu, I., Croitoru, S.M., Popescu, A. – General tool model and modern cutting tools. Scientific Bulletin nr. 1 – 4, 2003, U.P.B.
- [7] Popescu, I., Minciù, C., si col. – Scule aschietoare. Dispozitive de prindere a sculelor aschietoare. Dispozitive de prindere a semifabricatelor. Mijloace de masurare. Monografie, vol. 1, Ed. Matrix Rom, Bucuresti, 2004.
- [8] Popescu, I. – Tehnologii de prelucrare mecanica, Ed. Matrix Rom, Bucuresti, 2006.

- [9] \*\*\* – CATIA, le logiciel pour l'élément finit
- [10] *Enache, St., Minciuc, C.* – Proiectare asistată a sculelor aşchietoare. Editura Tehnica, Bucureşti, 1983
- [11] *Graham, T.S.* – Advanced Machining. The Handbook of Cutting Technology. New York, Springer-Verlag, 1989
- [12] \*\*\* - Widax – Multiflex. Flexibles Werkzeugsystem. Krupp-Widia, Germania. Prospect, 1987
- [13] *Dragu, D. și col.*, - Toleranțe și măsurători tehnice. Editura Didactică și Pedagogică, Bucureşti, 1980