

THE DIAGNOSIS OF THE CUTTING TOOL EDGE BREAK AND THE PROGNOSIS OF CUTTING

DIAGNOZA RUPERII TĂIȘULUI SCULEI AȘCHIETOARE ȘI PROGNOZA AȘCHIERII

Valentin DIȚU

Transilvania University of Brasov, Romania

Abstract. The purpose of the paper is to present a modality of prognosis of the cutting process and methods of diagnosis of the break of the cutting tool edge.

The prognosis of the cutting process was done using the cutting thermocurrent, and the diagnosis of the catastrophic wear was done using both the measuring of the cutting thermocurrent and the measuring of the vibrations. In the case of the diagnosis of the catastrophic wear it was done the comparison between the two methods.

Keywords: prognosis, diagnosis, cutting, electric thermocurrent, turning, wear

1. Introduction

The study of the prognosis of the cutting process (CP) is still at beginning because it was not established until present an industrial method of diagnosis of the cutting process (DCP). Based on the diagnosis it can be made a prognosis of the cutting process and in this direction had appeared already scientifically papers but they are few and they are about the prognosis of the cutting tool state. It is still searched an industrial method of diagnosis of the breaking of the cutting edge in order to stop the cutting process and to eliminate the negative consequences.

Conforming [1] by the prognosis of the cutting process (PCP) it can be understood the estimation of the evolution in time of the system "cutting process" (the evolution of entries, exits and the development of the cutting process).

The model of the prognosis of the cutting process is shown in Figure 1 [1] were they are shown the elements that deserve to be forecasted.

1.1. The prognosis of development of the cutting process is important because it can be answered to the question "After how long the cutting process won't be optimal anymore or the cutting tool reaches the admissible wear?". After this prognosed time there are two possibilities:

- a) to modify the cutting parameters to bring it to optimal parameters;
- b) to stop the development of the cutting process and to change the cutting tool.

1.2. The prognosis of the wear and the breaking of the cutting tool it is by far the most important because it represents the essential element that makes the system "cutting process" to be

Rezumat. Scopul lucrării este acela de a prezenta o modalitate de prognoză a procesului de așchiere, dar și metode de diagnoză a ruperii tăișului sculei așchietoare.

Prognoza procesului de așchiere s-a realizat utilizând termocurentul de așchiere, iar diagnoza uzurii catastrofale a tăișului așchietor s-a efectuat utilizând atât măsurarea termocurentul de așchiere, cât și măsurarea vibrațiilor. În cazul diagnozei uzurii catastrofale se face comparația între cele două metode utilizate.

Cuvinte cheie: prognoză, diagnoză, așchiere, termocurent electric, strunjire, tăiș așchietor

1. Introducere

Studiul prognozei procesului de așchiere (PA) este încă la început deoarece nu s-a reușit până în prezent stabilirea unei modalități industriale de diagnoză a procesului de așchiere (DPA). Pe baza diagnozei se poate prognoza procesul de așchiere și în această direcție au apărut deja lucrări științifice, dar sunt încă puține și îndreptate mai ales spre prognoza stării sculei așchietoare. Încă se mai caută o metodă industrială de diagnoză a ruperii tăișului așchietor, în scopul opririi procesului de așchiere și eliminării consecințelor negative.

Conform [1] prin prognoza procesului de așchiere (PPA) se poate înțelege estimarea evoluției în timp a sistemului "proces de așchiere" (evoluția intrărilor, ieșirilor și a desfășurării procesului de așchiere).

Modelul prognozei procesului de așchiere este arătat în figura 1 [1] unde sunt evidențiate elementele ce merită a fi prognozate.

1.1. Prognoza desfășurării procesului de așchiere prezintă interes deoarece se poate obține răspuns la întrebarea, "Peste cât timp procesul de așchiere nu se va mai desfășura optim sau scula așchietoare a ajuns la uzura admisibilă?". După scurgerea timpului prognozat sunt două posibilități:

- a) modificare regimului de așchiere pentru a-l readuce în parametrii optimi;
- b) oprirea desfășurării procesului de așchiere și înlocuirea sculei așchietoare.

1.2. Prognoza uzurii și ruperii sculei așchietoare este de departe cea mai importantă deoarece reprezintă elementul esențial ce face ca sistemul "proces de așchiere" să fie degenerativ.

degenerative. The wear of the cutting tool is the main cause that determinates the evolution of the other exits from the system "CP". Also the prognosis of the evolution of the cutting tool wear prevents the apparition of the catastrophic wear during processing determining the changing on time of the tool and the avoiding of the scrap.

1.3. The prognosis of the evolution of vibrations is important to avoid the entering in the instability zone of the technological system and worsen the development of the cutting process with consequences on the quality of surfaces.

1.4. The prognosis of the quality of the surface is important mostly in case of finishing processing because it can be anticipated when the processed surface will pass the tolerance field, when the deviations of shape and position will not be inside the given ones, so corrections are necessary.

1.5. The prognosis of the evolution of the cutting liquid is important for changing on time of it if it is degraded and it has impurities that were not evacuated by the cleaning system.

Uzura sculei așchietoare este cauza principală ce determină evoluția celorlalte ieșiri din sistemul "PA". Totodată prognoza evoluției uzurii sculei așchietoare împiedică apariția uzurii catastrofale în timpul prelucrării, determinând schimbarea la timp a sculei și evitarea rebuturilor.

1.3. Prognoza evoluției vibrațiilor este importantă pentru a se evita intrarea în zona de instabilitate a sistemului tehnologic și înrăutățirea desfășurării procesului de așchiere cu consecințe asupra calității suprafeței.

1.4. Prognoza calității suprafeței prezintă importanță mai ales în cazul prelucrărilor de finisare deoarece se poate anticipa când suprafața prelucrată va ieși din câmpul de toleranță, când abaterile de formă și poziție nu se vor mai încadra în cele prescrise și deci când este nevoie de corecții.

1.5. Prognoza evoluției lichidului de răcire-ungere are importanță în vederea schimbării la timp a acestuia, dacă s-a degradat și dacă are prea multe impurități ce nu au fost eliminate prin sistemul de curățire.

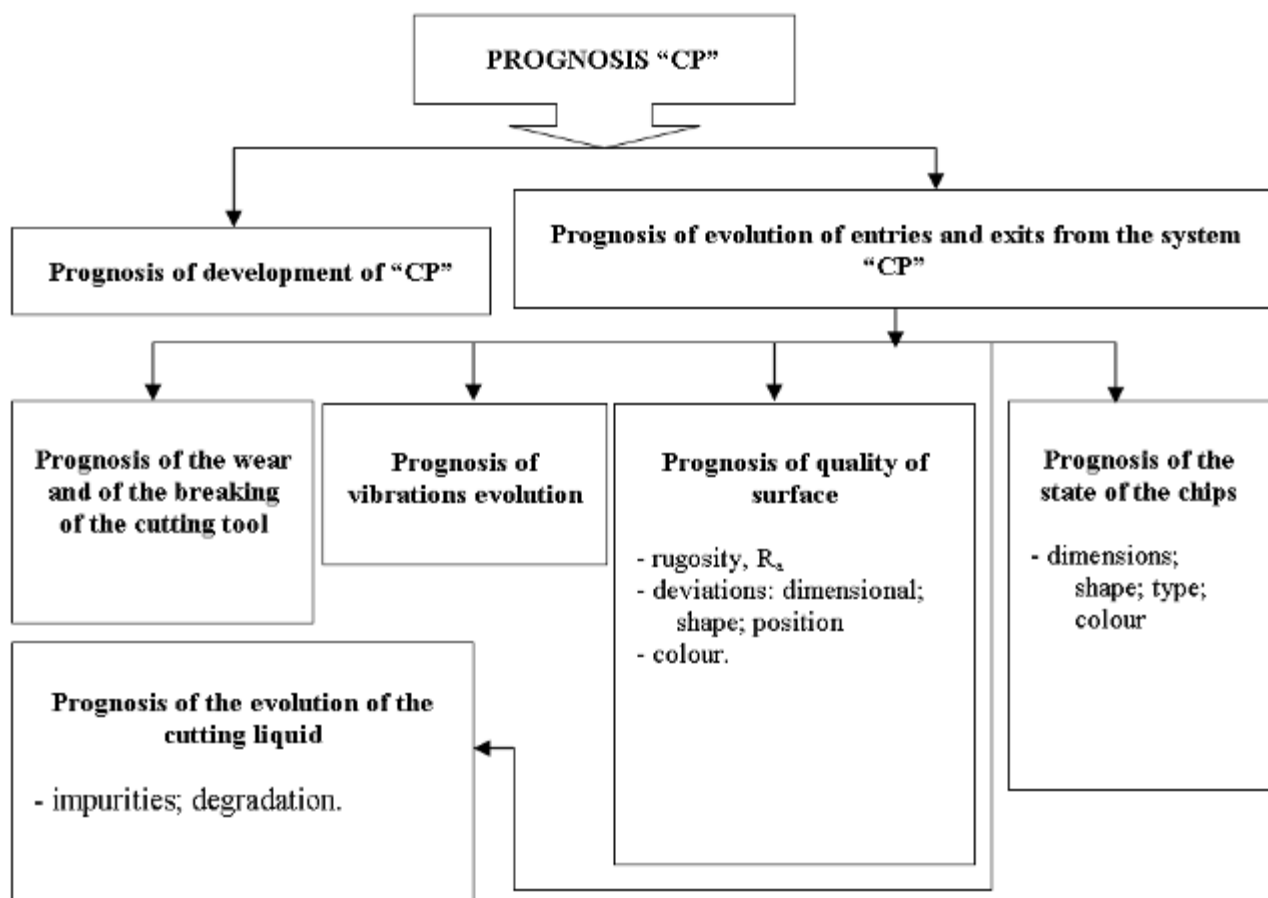


Figure 1. Prognosis of the cutting process model
 Figura 1. Modelul prognozei procesului de așchiere

1.6. The prognosis of the chips is necessary to take measures on time for a good removal of them from the cutting zone and for a good functioning of the chips evacuation system.

The prognosis of the cutting process can be done "on line" or "off line".

The "on line" prognosis is preceded by the monitoring and diagnosis using evolution functions deterministic or probabilistic. It can be used in all types of processing systems (flexible systems, adaptive systems, classical systems).

The "off line" prognosis can give information based also on evolution functions, at the beginning of each process, if this can be developed in normal conditions or not.

The prognosis of a characteristic parameter of the cutting process it can be done directly or indirectly. The indirect prognosis can be done based on the prognosis of another parameter when the relation between the two parameters it is known or based on the prognosis of more parameters when the relations with them it is known.

A complete prognosis of the cutting process can be done establishing the characteristic parameters of the cutting process, determining at the same time their evolution functions and observing the evolution in time of their relations. The determinate functions are valid for some values of the entering parameters in the system CP and because of that, mostly in the case of adaptive systems, it must be seen the modifications that can appear once with the modification of the values of the entering parameters, values that can be modified "on-line".

Even though the research in the domain of the prognosis of the cutting process needs many experiments, they lead to the prevention of the cutting tool breaking, to avoiding the scrap and to an optimal development of the cutting process.

2. The diagnosis of breaking of the cutting tool edge

The research in the domain of the diagnosis of the cutting process are directed especially for diagnosing the state of the cutting tool, the most used method being the analyse of the vibrations.

Despite large number of experimental researches and emerge of higher capabilities equipment didn't lead to satisfying results because the vibrations are specific to each machine tool and to each cutting procedure.

The analysis of the vibrations presents a big advantage than other procedures of monitoring and

1.6. Prognoza aşchiilor este necesară pentru a lua măsurile ce se cuvin în timp pentru o bună îndepărtare a lor din zona de aşchiere și pentru buna funcționare a sistemului de evacuare a acestora.

Prognoza procesului de aşchiere se poate face "on line" sau "off line".

Prognoza "on line", este precedată de monitorizare și diagnoză utilizând funcții de evoluție deterministe sau probabilistice. Ea poate fi utilizată în toate tipurile de sisteme de prelucrare (sisteme flexibile, sisteme adaptive, sisteme clasice).

Prognoza "off line" poate furniza informații, tot pe baza funcțiilor de evoluție, la începutul fiecărei prelucrări, dacă aceasta se poate desfășura în condiții normale sau nu.

Prognoza unui parametru caracteristic al procesului de aşchiere se poate face în mod direct sau indirect. Prognoza în mod indirect se poate face pe baza prognozei unui alt parametru atunci când se cunoaște relația de legătură dintre cei doi parametri sau chiar pe baza prognozei mai multor parametri, cunoscându-se, evident, relațiile de legătură cu aceștia.

O prognoză completă a procesului de aşchiere se poate face stabilindu-se parametrii caracteristici procesului de aşchiere, determinându-se simultan funcțiile lor de evoluție și observându-se evoluția în timp a legăturilor dintre ele. Funcțiile determinate sunt valabile pentru anumite valori ale parametrilor de intrare în sistemul PA și de aceea, mai ales în cazul sistemelor adaptive, trebuie de văzut modificările ce pot avea loc odată cu modificarea valorilor parametrilor de intrare, valori ce se pot modifica "on-line".

Chiar dacă cercetările în domeniul prognozei procesului de aşchiere necesită multe experimentări, aplicate fiind, conduc la prevenirea ruperii sculei aşchietoare, la evitarea rebuturilor și la desfășurarea procesului de aşchiere în mod optim.

2. Diagnoza ruperii tăişului sculei aşchietoare

Cercetările în domeniul diagnozei procesului de aşchiere sunt îndreptate în special pentru diagnoza stării sculei aşchietoare predominând, ca metodă de diagnoză, analiza vibrațiilor.

Numeroasele cercetări experimentale efectuate dar și realizarea de aparatură performantă, nu a condus la rezultate mulțumitoare deoarece vibrațiile sunt specifice fiecărei mașini-unelte în parte și fiecărui procedeu de prelucrare.

Analiza vibrațiilor prezintă un mare avantaj față de alte procedee de monitorizare și diagnoză a

diagnosis of the wear of the cutting tool, the advantage is that the way of collecting the vibrations is easy and easy to apply to each type of machine tool and for each type of cutting tool. It has also a big disadvantage because it needs expensive and sophisticated equipment.

The experiments presented in paper have the purpose to compare two methods that highlights the moment of apparition of the catastrophic wear (the breaking of the edge) at roughing turning of OLG 45 steel, with metallic carbide plates SPMR 150612-P30 mechanically fixed, the measuring of the vibrations and of the thermocurrent.

The used equipment was:

- installation for collecting the thermocurrent at turning (Figure 2);
- numerical multimeter M890 C+;
- microscope; connexions plate;
- PC data interface type IM3208 A;
- vibrations transducer (accelerometer) type KD 35 RFT;
- system for amplification and primary processing of vibrations type 11003 RFT.



Figure 2. Installation for measuring the electrical thermocurrent at turning
 Figura 2. Instalație pentru măsurarea termocurentului electric la strunjire

The interface for date procurement type IM 3208A has a convertor A/D on 12 bites that works with a conversion time of 15 μ s. The resolution is 1/4096 on scale -5V/+5V, so $R_v = 10/4096 = 0.00244$ V. In a second there are collected 320 dates and this means that for collecting a data are necessary 3.13 milliseconds. Results that the interface is good for the purpose.

There were collected at the same time, on two channels, for thermocurrent and vibrations (the acceleration of the vibration).

The processing of the results was done using the PC. The processing method used was the average of the values of thermocurrent tension on an interval of one second and for vibrations was the average of accelerations on an interval of one second.

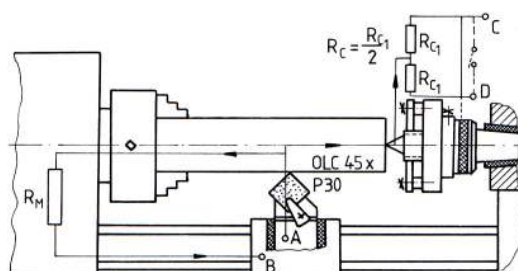
Of course, for vibrations there are also other methods presented in papers [2] and [3], but for the

uzurii sculei așchietoare, și anume, acela că modul de culegere a vibrațiilor este foarte simplu și ușor de aplicat la orice tip de mașină-unelte, pentru orice tip de sculă așchietoare. Are însă și un mare dezavantaj: necesită aparatură sofisticată și scumpă.

Experimentările prezentate în lucrare au drept scop să compare două metode de punere în evidență a momentului apariției uzurii catastrofale (ruperea tăișului) la strunjirea de degroșare a oțelului OLC 45, cu plăcuțe din carburi metalice SPMR 150612-P30 fixate mecanic, și anume, măsurarea vibrațiilor și măsurarea termocurentului.

Aparatura folosită a fost următoarea:

- instalație pentru culegerea termocurentului la strunjire (figura 2);
- multimetru numeric M 890 C+;
- microscop de atelier; placă de conexiuni;
- interfață de achiziție de date tip IM 3208 A;
- calculator;
- traductor de vibrații (accelerometru) tip KD 35 RFT;
- sistem de amplificare și prelucrare primară a vibrațiilor tip 11003 RFT.



Interfața de achiziție de date tip IM 3208A are un convertor A/D pe 12 biți care lucrează cu un timp de conversie de 15 μ s. Rezoluția este de 1/4096 pe scara -5V/+5V, deci $R_v = 10/4096 = 0,00244$ V. Într-o secundă se culeg 320 de date ceea ce înseamnă că pentru achiziția unei date sunt necesare 3,13 milisecunde. Rezultă că interfața este potrivită scopului propus.

S-au cules simultan, date pe două canale, pentru termocurent și vibrații (acelerația vibrației).

Prelucrarea rezultatelor s-a făcut cu ajutorul calculatorului. Metoda de prelucrare adoptată a fost media valorilor tensiunii termocurentului pe un interval de o secundă, iar pentru vibrații a fost media accelerațiilor pe un interval de o secundă.

Desigur, pentru vibrații sunt și alte metode, prezentate pe larg în lucrările [2] și [3], dar pentru scopul propus, datorită simplității, a fost adoptată

wanted purpose, because of the simplicity, was chosen this method.

The vibrations transducer was placed on the cutting tool, in the lower zone (that is why the acceleration of vibration has the (-) sign).

The processing of results was done by obtaining the charts presented in Figure 3.

It can be seen the fact that both methods can easily sense the moment of apparition of the catastrophic wear but the thermocurrent presents a more clearly and faster evidence with approximate one second than the vibrations. The explanation of this fact is that in metals the electrical current circulates faster than the vibrations and the measuring and recording the thermocurrent is simpler than the measuring and the analysis of vibrations.

metoda indicată anterior.

Traductorul pentru vibrații a fost amplasat pe cuțit, în partea de jos (din această cauză accelerația vibrației are semnul (-)).

Prelucrarea rezultatelor s-a materializat prin obținerea de grafice prezentate în figura 3.

Se poate constata faptul că ambele metode sesizează cu ușurință momentul apariției uzurii catastrofale, dar termocurentul prezintă o evidențiere mai clară și mai rapidă cu aproximativ o secundă față de vibrații. Explicația acestui fapt ar fi că în metale curentul electric circulă mult mai rapid în comparație cu vibrațiile și totodată măsurarea și înregistrarea termocurentului este mult mai simplă comparativ cu măsurarea și analiza vibrațiilor.

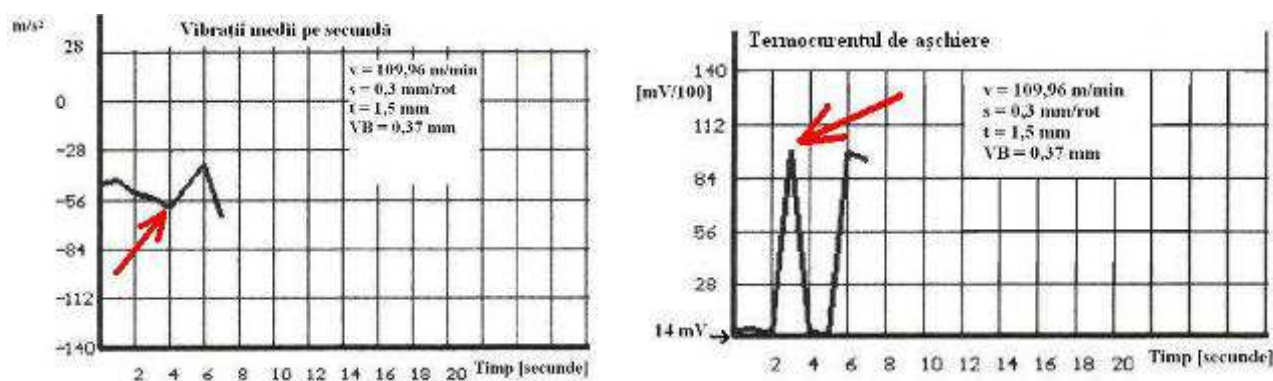


Figure 3. The diagnosis of catastrophic wear of edge with vibrations and thermocurrent

Figura 3. Diagnoza uzurii catastrofale a tăișului cu vibrații și termocurent

3. Practical approach about the prognosis of the cutting process of OLC45 steel turning

The relations that are necessary for prognosis of the cutting process of OLC45 steel with metallic carbides SPMR 150612-P30 mechanically fixed, based on the cutting thermocurrent [4], are shown down:

$$\tau = (U(\tau) - U_i) \cdot T_{\text{real}} / \Delta U_{0,4} \quad [\text{min}] \quad (1)$$

where,

$U(\tau)$ [mV] - tension of thermocurrent at time “ τ ” from the beginning of cutting;

U_i [mV] - the initial tension of thermocurrent.

$$\Delta U_{0,4} = 35.583831 \cdot v^{-0.946447} \quad [\text{mV}] \quad (2)$$

where,

v [m/min] - cutting speed;

$\Delta U_{0,4}$ [mV] - increasing of the tension of thermocurrent when the wear of the cutting edge is $VB_B = 0.4$ mm.

3. Abordare practică privind prognoza procesului de așchiere la strunjirea oțelului OLC45

Relațiile care sunt necesare pentru prognoza procesului de așchiere la strunjirea oțelului OLC45 cu plăcuțe din carburi metalice SPMR 150612 - P30 fixate mecanic, pe baza termocurentului de așchiere [4], sunt arătate mai jos.

unde

$U(\tau)$ [mV] - tensiunea termocurentului la timpul “ τ ” de la începerea așchierii;

U_i [mV] - tensiunea inițială a termocurentului.

unde

v [m/min] - viteza de așchiere;

$\Delta U_{0,4}$ [mV] - creșterea tensiunii termocurentului când uzura tăișului așchietor este $VB_B = 0,4$ mm.

$$T = 8.169 \cdot 10^{10} \cdot v^{-5.629} \cdot s^{-2.606} \cdot t^{-1.187} \quad [\text{min}] \quad (3)$$

where v [m/min] - cutting speed; s [mm/rot] - cutting feed; t [mm] - cutting depth.

The prognosis of cutting process at turning OLC45 steel has two aspects:

- during the cutting process (on-line) or outside it (off-line) it will prognose "After how long the cutting parameters are not optimal anymore?".
- "on-line" or "off-line" will prognose "After how long the wear of the cutting tool will be the admissible one ($VB_B \text{ adm} = 0.4\text{mm}$) and the cutting must be stopped for changing the cutting edge?".

The first aspect was solved by the author and presented in paper [1].

The second aspect of prognosis implies the steps that are presented in Figure 4.

The value of initial tension of the thermocurrent, U_i [mV] at $\tau = 0$, is necessary to approach the problem. If it is not known the initial value of the thermocurrent, it can be calculated with the relation

$$U(v,s,t) = 3.567 \cdot v^{0.306} \cdot s^{0.117} \cdot t^{0.097} \quad [\text{mV}] \quad (4)$$

but the results will be less precise

unde v [m/min] - viteza de aşchiere; s [mm/rot] - avansul de aşchiere; t [mm] - adâncimea de aşchiere.

Proгноza procesului de aşchiere la strunjirea oțelului OLC 45 are două aspecte:

- în timpul procesului de aşchiere (on-line) sau în afara lui (off-line) se va prognoza "Peste cât timp regimul de aşchiere nu mai este cel optim?".
- "on-line" sau "off-line" se va prognoza "Peste cât timp uzura sculei aşchietoare va fi cea admisibilă ($VB_B \text{ adm} = 0,4\text{mm}$) și aşchiera trebuie întreruptă pentru înlocuirea tăişului aşchietor?".

Primul aspect a fost rezolvat de autor și prezentat în lucrarea [1].

Al doilea aspect al prognozei implică parcurgerea etapelor ce sunt prezentate în figura 4.

Pentru abordarea problemei este nevoie de valoarea tensiunii inițiale a termocurentului, U_i [mV], la $\tau = 0$. Dacă nu se cunoaște valoarea inițială a termo-curentului aceasta va putea fi calculată cu relația

dar rezultatele vor fi mai puțin precise.

It is monitored the tension of the thermocurrent "U [mV]"

Example: $U_i = 13.2 \text{ mV}$; $U = 13.75 \text{ mV}$
 $v = 71.031 \text{ m/min}$; $s = 0.416 \text{ mm/rot}$; $t = 3 \text{ mm}$; $d = 28 \text{ mm}$

The calculation of life with relation (3) and the calculation of the interval of the tension when the cutting edge will reach at $VB_B = 0.4 \text{ mm}$ with relation (2)

Example: $T = 8.254 \text{ min}$; $\Delta U_{0.4} = 0.609 \text{ mV}$

The prognosis of the remained time until the apparition of a wear of $VB_{B,adm} = 0.4 \text{ mm}$ with relation: $\tau_r = T_{real} - \tau$

Example: $\tau_r = 8.254 - (13.75 - 13.2) \cdot 8.254/0.609 = 0.8 \text{ min}$

The determination of length that can be cut until $VB_{B,adm} = 0.4 \text{ mm}$ with relation: $l_r = n \cdot s \cdot \tau_r$

Example: $l_r = 1000 \cdot 71.031 \cdot 0.416 \cdot 0.8/(\pi \cdot 28) = 268.734 \text{ mm}$

Figure 4. Steps for prognosis of the cutting process
 Figura 4. Etape pentru prognoza procesului de aşchiere

4. Conclusions

4.1. Conclusions about the diagnosis of the breaking of the cutting tool edge

Based on the experimental dates obtained and presented in chart in Figure 3 it can be seen that both methods sense easily the moment of apparition of the catastrophic wear but the thermocurrent presents a clearly and faster evidence with approximate one second that the vibrations. This fact is explained by the speed of propagation of waves in metal that is lower than the speed of propagation of electrical current through the same metal.

4. Concluzii

4.1. Concluzii privind diagnoza ruperii tăişului sculei aşchietoare

Pe baza datelor experimentale obținute și prezentate grafic în figura 3 se constată că ambele metode sesizează cu ușurință momentul apariției uzurii catastrofale dar termocurentul prezintă o evidențiere mai clară și mai rapidă cu aproximativ o secundă față de vibrații. Acest lucru se explică prin viteza de propagare a undelor în metal care este cu mult mai mică decât viteza de propagare a curentului electric prin același metal.

Ținând seama de avantajele folosirii

Knowing the advantages using the thermocurrent at the diagnosis of the state of the cutting tool, presented in details in paper [1], but also the limits of using it, results that for research it is very useful to combine the two methods, like the thermocurrent to be used for calibration of diagnosis installation based on vibrations.

4.2. Conclusions about the practical approach of the prognosis of the cutting process at OLC45 steel turning

The prognosis of the cutting process gives the possibility to take anticipated decisions about the development of the process. In this way, in Figure 4 it is shown that cutting 268.734 mm it is reached the admissible wear of the cutting edge and it must be changed. To turn a piece that has a length of more than 268.734 mm, it is not expected to end the processing and therefore it requires a specific strategy (for example, the cutting edge will be changed at the penultimate or last finishing pass, etc.).

termocurentului la diagnoza stării sculei așchietoare, prezentate pe larg în lucrarea [1], dar și de limitele folosirii acestuia, rezultă că pentru cercetări ar fi deosebit de util să se combine cele două metode, și anume, termocurentul să fie folosit pentru etalonarea și calibrarea instalațiilor de diagnoză pe bază de vibrații.

4.2. Concluzii privind abordarea practică a prognozei procesului de așchiere la strunjirea oțelului OLC45

Prognoza procesului de așchiere oferă posibilitatea de a lua anticipat decizii cu privire la desfășurarea prelucrării. Astfel, în figura 4 se arată că așchiind 268,734 mm se ajunge la uzura admisibilă a tășului așchietor și acesta va trebui schimbat. Pentru a strunji o piesă ce are lungimea mai mare de 268,734 mm, atunci este de așteptat să nu se termine prelucrarea și în consecință se impune o strategie specifică (ex. tășul așchietor va fi schimbat la penultima sau ultima trecere de finisare etc.).

References

1. Dițu, V. (2008) *Bazele așchierii metalelor. Teorie și aplicații (Fundamentals of Cutting Metals. Theory and Applications)* MatrixRom, ISBN 978-973-755-444-4, București, România (in Romanian)
2. Carata, E. (1993) *Cercetări privind supravegherea și diagnoza automată a stării sculei la sisteme flexibile de prelucrare (Research about surveillance and automate diagnosis of the tool state in flexible process systems)*. Ph.D. thesis, Technical University "Gh. Asachi" Iași, România (in Romanian)
3. Gafițeanu, M., Crețu, Sp., Drăgan, B. (1989) *Diagnoza vibroacustică a mașinilor și echipamentelor (Vibroacoustic diagnosis of machines and equipment)*. Editura Tehnică, București, România (in Romanian)
4. Dițu, V. (2000) *On the Connection between Thermocurrent and Wear at Turning Steel OLC 45 with P30 Carbide Inserts Mechanically Fasten*. TCM Journal, ISBN 973- 31-1492-8, 973- 31-1494-4, no. 41, p. 59-64
5. Colding, B.N. (1991) *Tool – Temperature / Tool - Life Relationship Covering a Wide Range of Cutting Data*. Annals of the CIRP, ISSN 0007-8506, vol. 40/1

Received in June 2013

Lucrare primită în Iunie 2013