

**VARIAȚIA PARAMETRILOR CARE
CARACTERIZEAZĂ UZURA SCULEI
AȘCHIETOARE ÎN PROCESUL FREZĂRII
LEMNULUI DE PLOP**

**PARAMETER CHANGES WHICH
CHARACTERIZE THE WEAR OF THE
CUTTING TOOL IN THE MILLING
PROCESS OF ASPEN WOOD**

Andis ĀBELE*

Mg.sc.eng. – Latvia University of Agriculture, Department of Wood Processing
Adresa/Address: Dobeles street 41, Jelgava, Latvia, LV – 3001
Tel.: +371 26266825; Fax: +371 63010609
E-mail: andis.abele@llu.lv

Ulvīs MIONČINSKIS

Mg.sc.eng. – Latvia University of Agriculture, Department of Wood Processing
Adresa/Address: Dobeles street 41, Jelgava, Latvia, LV – 3001
Tel.: +371 26266825; Fax: +371 63010609
E-mail: mioncinskis@inbox.lv

Rezumat:

Obiectivul acestei lucrări îl constituie dterminarea modificării parametrilor (puterea de aşchiere, rugozitatea suprafeței lemnoase, rotunjirea muchiei tăietoare) care caracterizează uzura sculei tăietoare în procesul de frezare a lemnului de plop tremurător (*Populus tremula*), în funcție de unghiul de degajare al sculei.

Frezarea a fost realizată în acest caz pe o mașină cu comandă numerică, folosind două capete de frezare, unghiul de degajare al cuțitelor fixe fiind reglat succesiv la 10°, 15°, 20° și 30°. S-au folosit cuțite realizate din oțel rapid și oțel aliat pentru scule. După parcurgerea întregii lungimi a traiectoriei de tăiere, s-au măsurat puterea de aşchiere și rugozitatea suprafețelor prelucrate și s-au realizat replici ale muchiei tăietoare prin presarea pe o foaie de plumb.

Prin frezarea lemnului de plop, cu cuțite din oțel înalt aliat, cu unghiul de degajare de 10 grade, creșterea rugozității suprafeței prelucrate, a fost observată după atingerea lungimii traiectoriei de tăiere de 44000m, care corespunde unui timp de tăiere de 15 ore.

Cuvinte cheie: uzura sculei; rugozitatea suprafeței; putere de aşchiere; frezare; lemn de plop tremurător; oțel rapid; oțel aliat pentru scule.

INTRODUCERE

Din ce în ce mai des pentru diferite produse din lemn sunt utilizate foioase de esență moale, de exemplu, plop și arin gri, în încercarea de a reduce costurile acestora de producție și de a le reduce masa. Prelucrarea mecanică a lemnului masiv se realizează, în principal, pe mașini de rindeluit pe patru fețe prin procedeul frezării cilindrice în direcție longitudinală. Astfel, este important să se înțeleagă și să respecte strict regulile de tăiere a lemnului de foioase moi în procesul de frezare.

Abstract:

The aim of the paper is to determine changes of parameters (cutting power, roughness of wooden surface and rounding of cutting edge) which characterize the wear of the cutting tool in the milling process of aspen wood (*Populus tremula*), depending on the rake angle of the cutting tool.

The milling process was performed by means of a computer numerical control milling machine and two cutterheads with a rake angle of the fixed cutter knife adjusted at 10°, 15°, 20° and 30°. The cutters made of high speed steel and highly alloyed tool steel. After reaching the definite length of the cutting trajectory, the cutting power and the roughness of the processed wood surface were measured, as well as replicates of the cutting edge, by pressing it in lead sheet.

By milling aspen wood with highly alloyed tool steel cutter knives at rake angle of cutter 10°, the roughness of the processed wooden surface began increasing after 44 000m length of cutting trajectory, which corresponds to a cutting time of 15 hours.

Key words: wear of cutter; surface roughness; cutting power; milling; aspen wood; high speed steel; alloyed tool steel.

INTRODUCTION

More and more often in various wooden products, by trying to reduce costs of their manufacturing and to obtain smaller mass, wood of soft deciduous trees is used, such as, aspen and grey alder. Mechanical processing of solid wood is mainly performed by means of quadruple longitudinal milling machines. Thereby it is important to understand and strictly observe the cutting rules applied to softwoods during the milling process.

Up to this, researches of cutting processes, the aim of which is determination of wear of cutting

* Autor corespondent / Author to whom all correspondence should be addressed

Până în acest punct, cea mai mare parte a cercetărilor făcute asupra uzurii sculelor în procesul de tăiere, au fost efectuate pe lemn de rășinoase (Simonin et al 2009) și lemn de foioase de esență tare (Fotin ș.a. 2009; Salcă ș.a. 2008; Ratnasingam & Perkins 1998). Este posibil ca, inițial, lemnul de foioase să nu fi fost considerat suficient de valoros, pentru a i se acorda interes în cercetare. Cercetările asupra prelucrării mecanice prin frezare a lemnului, au fost efectuate în mare parte, cu freze cu coadă, de diametru mic (Ratnasingam & Perkins 1998; Darmawan ș.a. 2011), dar experimentele în care este abordată frezarea longitudinală a lemnului sunt puțin numeroase. Materialele folosite în aceste cercetări pentru tășul sculelor așchietoare sunt aliaje dure de carburi metalice sinterizate, dar nu se acordă multă atenție materialelor din oțeluri rapide și oțelurilor aliate pentru scule. Oțelul rapid este folosit, în principal, în experimente în care se efectuează tăierea lemnului în stare verde, cu umiditate ridicată (Simonin ș.a. 2009; Nordström și Bergstrom 2005).

În mai multe țări cu tradiție și experiență în prelucrarea mecanică a lemnului s-au efectuat cercetări asupra tăierii lemnului de diferite specii (Klamecki 1979), dar pe teritoriul Letoniei, au fost efectuate doar câteva cercetări importante în acest domeniu. Una dintre aceste cercetări a fost elaborată în anii 70, când a fost explicată rezistența la uzură a tășurilor făcute din carburi metalice sinterizate, în cadrul proceselor de tăiere a lemnului de arin gri și de mesteacăn. Cea de a doua dintre cele mai importante cercetări a fost efectuată în 2008 în cadrul departamentului de prelucrare a lemnului de la Universitatea de Agricultură din Letonia, în cadrul Programului Național de Cercetare și a vizat procesul de tăiere a lemnului de arin negru și de plop (Sleņģis ș.a. 2009). În aceste cercetări s-au determinat modificările de rugozitate ale suprafeței lemnului prelucrat și energia consumată în procesul de tăiere, prin frezarea unor epruvete din lemn la diverse viteze de tăiere. Cu toate acestea, nu se poate spune că subiectul este epuizat, întrucât niciuna dintre cercetările efectuate până în prezent nu oferă informații exhaustive privind modificările datorate uzurii sculelor pentru prelucrarea lemnului pe durata lor de viață, luând în considerare nu numai durabilitatea tășului în sine, ci și impactul acesteia asupra rugozității suprafeței lemnoase prelucrate și energia consumată în procesul de tăiere. Această situație poate fi explicată prin faptul că, cercetările anterioare au demonstrat deja care este linia caracteristică a modificărilor de uzură a tășului și, prin urmare, cercetărilor pe baza acestei interpretări nu li s-a mai acordat o atenție prea mare. Liniile caracteristice de uzură a tășului, indicând cele trei perioade cunoscute de uzură, cu diferite intensități de uzură, sunt prezentate în mai multe surse din literatura de specialitate (Billatos ș.a. 1986; Амалицкий & Санев 1992; Milner & Roth 2010), însă oferă doar o imagine rezumativă a modificărilor

tools, mostly were performed by using coniferous (Simonin et al. 2009) and hard deciduous wood (Fotin et al. 2009; Salcă et al. 2008; Ratnasingam & Perkins 1998). It is possible that initially wood of soft deciduous trees were considered as not valuable, thereby such researches have not been performed so far. Researches, using mechanical processing methods, such as milling, were mostly performed with small-diameter shank routers (Ratnasingam & Perkins 1998; Darmawan et al. 2011) but experiments, in which wood processing is approximated to longitudinal milling, are performed in insufficient amount. As material for the cutting element of these tools, hard-alloys of sintered metal carbide are mostly used, but there is not put much attention to materials like high-speed steels and alloyed steels. High-speed steel is used in experiments, where the cutting process is performed on wet wood (Simonin et al. 2009; Nordström & Bergström 2005).

Numerous researches on wood cutting were performed in several countries with long-term experience in this field (Klamecki 1979), but in the territory of the Republic of Latvia, there were performed only few important researches in this field. One of them was elaborated in the 70-ies, which explained the wear resistance of cutters from sintered metal carbide within the cutting process of pressed grey alder and birch wood. As the second one of most important researches should be mentioned experiments performed in 2008 at the Wood-processing department of Latvia University of Agriculture, within the framework of the State Research Programme, on cutting processes of black alder and aspen wood (Sleņģis et al. 2009). In these researches, changes of surface roughness and cutting power were determined, by milling wooden samples with various cutting and feed speeds. However, neither researches made in foreign countries, nor in the Republic of Latvia give wholesome information on wear changes of wood-processing cutting tools during their lifetime, taking into account not only durability of the cutter itself, but also its impact on the roughness of the processed surfaces and the energy consumed during the cutting process. Possibly, this can be explained by the fact that in earlier researches a characteristic line of changes in the wear of the cutter was demonstrated, and thereby researches in such interpretation did not receive so much attention anymore. The characteristic lines of the wear of the cutter, indicating three wear periods with different intensity of wear, are shown in several literature sources (Billatos et al. 1986; Амалицкий & Санев 1992; Milner & Roth 2010). However, this gives only an abstract insight on wear changes of cutting tools during their lifetime, because the duration of separate wear periods was not determined. A special attention should be awarded to the period of critical wear, where rounding of cutter edge has

datorate uzurii sculelor aşchietoare în timpul vieţii lor, deoarece nu se determină durata fiecărei perioade de uzură în parte. Ar trebui să fie remarcată mai ales perioada de uzură critică, când rotunjirea tăişului sculei duce la creşterea substanţială a deformării suprafeţei de lemn prelucrate şi a puterii de tăiere, în urma căreia procesul devine ineficient. Aceasta înseamnă că este foarte important să se determine începutul acestei perioade la frezarea lemnului de diferite specii, la diferite valori ale parametrilor tehnologici. Astfel de cercetări ar putea permite elaborarea de soluţii tehnologice optime, care să prelungească durata de viaţă a tăişurilor sculelor, până la atingerea perioadei de uzură critică, precum şi să permită stabilirea duratelor optime între două ascuţiri succesive.

MATERIALE ŞI METODĂ

Caracterizarea materialelor folosite pentru scula aşchietoare şi a epruvetelor de lemn

În această cercetare s-au utilizat cuţite fabricate din oţel rapid şi dintr-un oţel aliat de scule. Duritatea oţelului rapid HS 18-0-1 este HB 269, iar compoziţia chimică este:

1. carbon – 0.73 ... 0.83%;
2. tungsten – 17.2 ... 18.7%;
3. vanadiu – 1.0 ... 1.2%;
4. crom – 3.8 ... 4.5%;
5. siliciu – mai puţin de 0.45%.

Duritatea oţelului înalt aliat X150CrMo12 este HB 255, iar compoziţia chimică este:

1. carbon – 1.5%;
2. crom – 12%;
3. molibden – 0.8%.

Materialul lemnos utilizat în cercetare a constat în buşteni de plop tremurător, debitaţi în piese de cherestea radială, semi-radială şi tangenţială. După tăiere, scândurile au fost stivuite sub un şopron şi supuse uscării naturale.

După uscarea la o umiditate de cca. 15%, corespunzătoare condiţiilor climatice de expunere în aer liber în Letonia, scândurile au fost debitate în semifabricate. Cu ajutorul unui ferăstrău circular universal, scândurile au fost tăiate în primul rând, în segmente lungi de 520 ± 10 mm, eliminându-se totodată defectele majore, precum nodurile căzătoare şi porţiunile de coajă concrecută. După sortare şi secţionare, semifabricatele au fost stivuite într-o cameră încălzită pentru a se continua procesul de uscare.

După atingerea umidităţii de 8-10%, semifabricatele au fost tivite, astfel încât să se obţină piese de lăţime maxim posibilă.

După tivire, prelucrarea mecanică ulterioară a semifabricatelor a fost continuată cu frezarea lor longitudinală, cu ajutorul unui agregat de rindeluit. Pentru început a fost efectuată îndreptarea semifabricatelor, apoi rindeluirea la grosime, obţinându-se o grosime de 20mm şi lăţimea maximă

received such value, which creates substantial increase of deformation of the processed wood surface and cutting power, in result of which the process becomes inefficient. It means that it is very important to determine the beginning of this period during milling of different wood species, at different technological parameters. Such researches could allow elaborating optimal technological solutions, able to increase the lifetime of the cutting tool up to reaching the critical wear period of the cutter, as well as the most appropriate durations between two intermediary sharpenings of the cutting tool.

MATERIALS AND METHODS

Characterization of Applied Cutting Tool Materials and Wooden Samples

For this research, the wooden samples were milled with cutter knives manufactured from high-speed steel and highly alloyed tool steel. Hardness of high-speed steel HS 18-0-1 cutter knives is HB 269, and the chemical composition is:

1. carbon – 0.73 ... 0.83%;
2. tungsten – 17.2 ... 18.7%;
3. vanadium – 1.0 ... 1.2%;
4. chrome – 3.8 ... 4.5%;
5. silicon – less than 0.45%.

Hardness of highly alloyed tool steel X150CrMo12 cutter knives is HB 255, and the chemical composition is:

1. carbon – 1.5%;
2. chrome – 12%;
3. molybdenum – 0.8%.

The wooden material used in this research consisted of aspen logs, sawn into radial, semi-radial and tangential planks. After sawing, the planks were put in a pile, which was located under a shed for natural drying. When the planks were dried down to 15%, which means air-dry in Latvian climatic conditions, they were processed into semi-finished wood parts. On a universal circular saw, the planks were first sawn into 520 ± 10 mm long segments. Defects, such as, loose knots and bark ingrows were eliminated. After sizing, the semi-finished wood parts were put in a pile in a heated room to continue their drying process.

After drying down to 8-10% moisture content, the process of wooden sample preparation was continued by performing edging, in order to obtain samples with maximally possible width.

After edging, the further mechanical processing of the semi-finished wood parts was continued by performing their longitudinal milling, by means of a jointer-thicknesser planer. First, straightening was performed, followed by thicknessing, obtaining thus 20mm thick semi-finished wood parts with maximally possible width. Wooden samples with different widths were used in

posibilă. S-au utilizat epruvete cu lățime diferită, deoarece lățimea totală a fost importantă pentru cercetare, nu și lățimea fiecărei epruvete.

După frezarea longitudinală, au fost tăiate cu ajutorul unui ferăstrău circular epruvete cu lungimea de 480mm.

Mașini, dispozitive și instrumente de măsurare

Pentru realizarea cercetării au fost folosite următoarele mașini, dispozitive și instrumente:

1. Mașina de frezat cu comandă numerică FESTO, ai cărei parametri tehnici sunt descriși în Tabelul 1.
2. Două capete de frezat cu unghi reglabil de tăiere de la compania FREZITE. Pentru unul dintre cele două capete de frezat unghiul de degajare este de 10 ° și 20 °, iar pentru celălalt 15 ° și 30 °.
3. Dispozitiv de măsurare a rugozității suprafeței Perthometer M2 de la compania Mahr.

the experiment, because for this research, the total width was important, and not the width of each individual sample.

After longitudinal milling, by use of circular saw, there were sawn 480mm long samples from semi-finished manufactures, in such a way finishing the process of their manufacturing.

Devices and Measuring Tools

The following experimental devices and instruments were used in the research:

1. Computer numerical control (CNC) milling machine FESTO, the technical parameters of which are shown in Table 1.
2. Two cutterheads with adjustable setting angles of cutters from company FREZITE. In one of the cutterheads, the rake angle of the cutter is 10° and 20°, and in the other one 15° and 30°.
3. Surface roughness measuring device Perthometer M2 from company Mahr.

Tabelul 1 / Table 1

Parametrii tehnici la mașina de frezat cu comandă numerică FESTO / Technical parameters of computer numerical control milling machine FESTO

Turația arborelui de lucru / Rotation frequency of shaft	5 000 ... 30 000min ⁻¹
Viteza de avans / Feed speed	0 ... 80mm·s ⁻¹
Puterea electromotorului / Power of electromotor	1 000W
Lungimea maximă de prelucrare în lungul axei x / Maximum processing length of the x-axis direction	500mm
Lungimea maximă de prelucrare în lungul axei y / Maximum processing length of the y-axis direction	500mm

Descrierea experimentelor

Pentru începerea cercetării asupra procesului de tăiere, a fost creat mai întâi un algoritm de gestionare a mașinii de frezat CNC, care determină secvența de mișcări reciproce de execuție a mecanismelor mașinii de frezat, și descrie coordonatele lor față de axele de program de control ale mașinii de lucru, în fiecare perioadă a procesului de frezare.

Pentru pregătirea capului de frezat pentru funcționare, într-un locaș a fost fixat un cuțit de frezat cu ajutorul unui arc de presiune și a unor șuruburi, iar în alt locaș o plăcuță a cărei masă este egală cu cea a unui cuțit. Astfel, capul de frezat a fost pregătit pentru lucru, în așa fel încât se permite participarea doar a unuia din cele două cuțite la procesul de tăiere. Schema capului de frezat este ilustrată în Fig. 1.

Description of Experiments

In order to start the research of the cutting process, there was built-up a management algorithm of the CNC milling machine, which determines the sequence of mutual movements of execution mechanisms of milling machines, and describes their coordinates towards programme control axes of working machine in each period of milling process.

By preparing cutterhead for operation, in one setting socket, formed in it, there was fixed milling knife with pressure shim and bolts, and in an other socket – plate, the mass of which is equal with cutter knife. In such a way the cutterhead was prepared for work to allow participate only one of two possible cutters in cutting process. Cutterhead scheme is illustrated in Fig. 1.

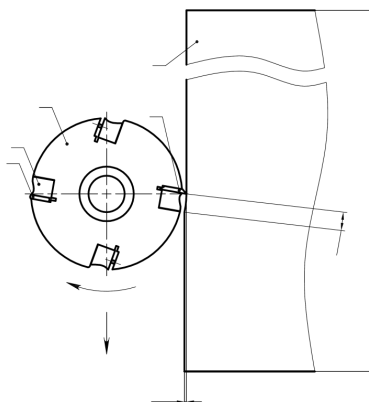


Fig. 1.

Schema procesului de tăiere / Cutting process scheme:

1 –epruveta din lemn /sample of wood; 2 –tăișul cuțitului /cutter knife; 3 –corpul capului de frezat / body of cutterhead; 4 – arcul de presiune/pressure shim;

5 –placa de masă egală cu a cuțitului / plate with equal mass as the cutter knife; l –lungimea traiectoriei de tăiere per mișcarea de rotație ($l=8.95$ mm) / length of cutting trajectory per revolution ($l = 8.95$ mm); l_p –lungimea cursei la frezare este egală cu lungimea epruvetei din lemn ($l_p = 480$ / length of milling stroke what is equal to length of sample of wood ($l_p = 480$ mm); H –adâncimea de așchiere ($H = 1$ mm) /cutting depth ($H = 1$ mm); v – direcția de tăiere /cutting direction; u – direcția de avans/feed direction.

Pregătirea epruvetelor din lemn pentru operațiune a fost efectuată prin fixarea marginii la distanța 30 mm pe o platformă din placaj cu grosimea de 10 mm. Astfel partea rămasă din mostra de lemn, care nu a fost fixată de placaj, a fost situată la 10mm deasupra mesei de bază a mașinii de frezat CNC. Aceasta a asigurat distanța necesară dintre masa de bază și mostra din lemn pentru a nu permite tăișului să vină în contact cu masa de baza.

După pregătirea mașinii de frezat CNC, a sculei așchietoare și epruvetei de lucru, platforma de placaj s-a fixat rigid pe platforma de bază a mașinii de frezat prevăzută cu ventuze de fixare cu vacuum și s-a efectuat frezarea longitudinală a epruvetelor. Frezarea epruvetei din lemn a fost efectuată cu viteză de avans și viteză de tăiere constante. Parametrii de tăiere, aplicați în cercetare, sunt prezentați în Tabelul 2.

Preparation of wooden samples for operation was performed by fastening them with 30mm wide edge at 10mm thick plywood platform. Thereby the remaining part of wooden sample, which was not fastened at plywood, was located 10mm above basing table of CNC milling machine. It ensured the required distance between basing table and workable wooden sample not to allow the cutting tool came in contact with basing table.

After preparation of CNC milling machine, cutting tool and wooden sample for work, on the basing platform of milling machine with vacuum clamper was rigidly fixed the plywood platform, at which the wooden sample was attached, and there was performed longitudinal milling of sample. Milling of wooden samples was performed with constant feed speed and cutting speed. Cutting parameters, used in the research, is shown in Table 2.

Tabelul 2 / Table 2

Parametrii procesului de tăiere / Parameters of cutting process

Unghiul de degajare / Rake angle	10°, 15°, 20°, 30°
Unghiul de ascuțire / Sharpness angle	40°
Unghiul de așezare / Clearance angle	40°, 35°, 30°, 20°
Viteza de tăiere / Cutting speed	20 m·s ⁻¹
Viteza de avans / Feed speed	2.4m·min ⁻¹
Avansul pe dinte / Feed per tooth	0.444mm
Adâncimea de așchiere / Cutting depth	1mm
Lungimea traiectoriei de tăiere per mișcarea de rotație / Length of cutting trajectory per revolution	8.95mm
Diametrul circumferinței de tăiere / Diameter of cutting circumference	72mm
Turația / Rotation frequency	5 400min ⁻¹

Pentru a determina gradul de uzură a cuțitului, după ce s-a ajuns la o anumită lungime a traiectoriei de tăiere, s-au efectuat: reproducerea tășului de cuțit, determinarea puterii de tăiere și măsurarea rugozității suprafeței prelucrate a probei de lemn. Reproducerea tășului de cuțit a fost făcută prin presarea perpendiculară a tablei de plumb. Pentru determinarea puterii de tăiere s-a folosit un watt-metru conectat în circuitul electric al motorului mașinii de frezat. Pentru măsurarea rugozității suprafeței prelucrate din lemn s-a folosit un dispozitiv de măsurare a rugozității suprafeței. Măsurarea rugozității a fost efectuată perpendicular pe fibrele lemnului, efectuând măsurători în trei poziții diferite a mostrelor din lemn, din care s-a calculat apoi valoarea medie aritmetică.

Procesul de frezare a fost împărțit în 200 de cicluri de frezare; în fiecare dintre acestea au fost efectuate 10 frezări, care corespund aproximativ unei lungimi de tăiere de 100m. Inițial, reproducerea traiectoriei tășului și măsurarea rugozității suprafeței pentru epruveta de lemn au fost făcute după fiecare din cele 10 curse. S-au efectuat șase astfel de cicluri de frezare și s-a ajuns la 60 de curse în total, cu traiectorie de tăiere de aproximativ 600m. Ulterior, măsurătorile s-au efectuat după fiecare 20 curse continue, care corespund unei lungimi de tăiere de aproximativ 200m. În total cele 100 de curse de frezare corespund unei lungimi de aproximativ 1000m, menținând operația după 50 de curse de frezare, care corespund cu traiectoria a 500 metri tăiați. Între 500 de curse de frezare până la 2000 (număr final în experiment) care corespund traiectoriei de tăiere 5000m și 20000m, rezultatele au fost determinate după fiecare ciclu de 100 de curse de frezare, care corespund aproximativ cu o traiectorie de tăiere de 1000m. Lungimea traiectoriei de tăiere a fost determinată folosind relația (1):

$$L = \frac{nl_p l m_c m_d}{10^6 u}, \quad (1)$$

unde :

n - turația;

l_p - lungimea epruvetei din lemn;

l - lungimea traiectoriei de tăiere pe rotație a arborelui mașinii de frezat;

m_c - numărul ciclurilor de frezare;

m_d - numărul curselor într-un ciclu de frezare ($m_d=10$);

u - viteza de avans.

De fiecare dată, când s-a primit distanța traiectoriei de tăiere, la copierea tășului și măsurării rugozității suprafeței epruvetei de lemn prelucrate, la mașina de frezat cu CNC s-a fixat cealaltă epruvetă de lemn, care a fost selectată cu direcția fibrelor paralel față de direcția longitudinală a mostrei și direcția radială a inelelor anuale față de fațetele late ale epruvetei de lemn, iar frezarea acestei epruvete s-a făcut cu activitățile anterior menționate. În

To determine development of wear of cutter, after reaching definite cutting trajectory length, was performed replicating of cutting edge of cutter, determination of cutting power and measuring of roughness of processed wooden sample surface. Replicating of cutting edge of cutter was made by perpendicular pressing of lead sheet on it. For determination of cutting power was used wattmeter, which is closed in electrical chain of milling machine cutting engine. For roughness measuring of processed wooden sample surface Rz was used measuring device of surface roughness. Roughness measuring was performed perpendicularly to wooden fibres, making measurements in three different path positions of wooden samples, from which the mean arithmetic value was calculated.

Milling process was divided in 200 milling cycles, in each of which were performed 10 milling strokes, which correspond approximately to 100m cutting trajectory. Initially the replicating of cutting edge of cutter and measuring of roughness for wooden sample surface was made after each 10 milling strokes. Performing six such milling cycles and reaching 60 strokes in total with appropriate cutting trajectory approximately 600m, determination of results was performed after each 20 continuous milling strokes, which correspond approximately to 200m cutting trajectory. In total reaching 100 performed milling strokes with corresponding cutting trajectory approximately 1000m, previously mentioned operations were performed after each 50 continuously made milling strokes, which approximately correspond to 500m cutting trajectory. In range of milling strokes from 500 up to 2000 (final number of strokes in experiments), which correspond to cutting trajectory 5000m and 20000m, respectively, the results were determined after each 100 continuously performed milling strokes, which correspond to approximately 1000m cutting trajectory. Length of cutting trajectory was determined using such equation:

$$L = \frac{nl_p l m_c m_d}{10^6 u}, \quad (1)$$

Where: n – Rotation frequency of shaft of milling machine, l_p – Length of wood sample, l – Length of cutting trajectory per revolution of shaft of milling machine, m_c – Number of milling cycles, m_d – Number of milling strokes in one milling cycle ($m_d = 10$), u – Feed speed.

Each time, when cutting trajectory distance, where replicating of cutting edge of cutter and roughness measuring of processed wooden sample surface had to be performed, was received, in CNC milling machine was fixed other wooden sample, which was selected with parallel fibre direction towards longitudinal direction of sample, and radial direction of annual rings towards wide facets of wooden sample, and, milling this sample, were made

perioada procesului de tăiere, care se află între etapele traiectoriei de tăiere, dacă trebuie să se facă multiplicarea tăişului și măsurarea rugozității suprafeței epruvetei de lemn prelucrate, pentru frezare au fost folosite alte epruvete din lemn.

Etapele lungimii traiectoriei de tăiere, în care s-a făcut multiplicarea tăişului și măsurarea suprafeței epruvetei de lemn, sunt prezentate în Tabelul 3.

Etapele de distribuție ale traiectoriei de tăiere, care sunt prezentate în Tabelul 3 corespund experimentelor, în cazul în care procesul de frezare se efectuează până la o lungime a traiectoriei de tăiere de 20000m.

Pentru acest experiment, în care lungimea traiectoriei de tăiere este mai mare de 20000m, distribuția traiectoriei de tăiere a fost făcută analogic.

previously mentioned activities. In periods of cutting process, which are located between cutting trajectory stages, where should be done replicating of cutting edge and roughness measuring of processed wooden sample surface, for milling were used other prepared wooden samples.

Stages of cutting trajectory length, where were made replicating of cutting edge and roughness measuring of processed wooden sample surface, are shown in Table 3.

Distribution stages of cutting trajectory which are shown in Table 3 correspond to experiments, where milling process is performed up to reaching 20 000m cutting trajectory length. Length of cutting trajectory.

Tabelul 3 / Table 3

Distribuția traiectoriei de tăiere
(pentru experimente în care lungimea de tăiere este mai mică de 20 000m) /
Distribution of cutting trajectory
(for experiments in which length of cutting trajectory is less than 20 000m)

Numărul de cicluri de frezări / Milling cycles	Lungimea traiectorie de tăiere L / Length of cutting trajectory L, m
1	96.7
2	193.3
3	290
4	387
5	483
6	580
8	773
10	967
15	1 450
20	1 933
25	2 417
30	2 900
35	3 383
40	3 866
45	4 350
50	4 833
60	5 800
70	6 766
80	7 733
90	8 699
100	9 666
110	10 633
120	11 599
130	12 566
140	13 532
150	14 499
160	15 466
170	16 432
180	17 399
190	18 365
200	19 332

După ce s-au atins 200 de cicluri de frezat, numărul acestora a continuat să crească cu 10 unități. Pentru efectuarea analizei rezultatelor obținute și determinarea lungimii traiectoriei de tăiere, la care parametrii caracteristici de uzură cresc brusc, arătând uzura critică a cuțitului, datele obținute în experimente au făcut referire la lungimea traiectoriei de tăiere.

REZULTATE SI DISCUȚII

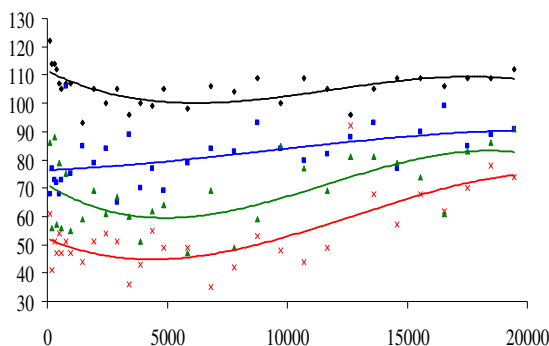
Atunci când privim modificările puterii de tăiere, care este prezentată în Fig. 2., se poate constata că la începutul procesului de frezare a lemnului de plop, scade puterea de tăiere, dar după aceea crește treptat. Astfel de modificări ale puterii de tăiere în raport cu lungimea traiectoriei arată o dezvoltare clară a uzurii de tăiere împreună cu creșterea traiectoriei de tăiere care inițial scade. Cu toate acestea, acest lucru poate fi explicat că în timpul experimentului, frezarea epruvetelor din lemn s-a făcut în direcția de bază. Densitatea periferiei secțiunii transversale a lemnului de plop este mai mare, și se reduce în direcția de bază. Prin urmare, pierderea puterii de tăiere la începutul procesului de frezare indică faptul că schimbările de densitate a lemnului pe secțiunea transversal influențează puterea de tăiere mai mult decât o creștere a uzurii cuțitului. Când lungimea traiectoriei de tăiere depășește 6000m, situația este diferită, deoarece liniile caracteristice arată o creștere a capacității. Acest lucru înseamnă că, la acest punct impactul uzurii cuțitului asupra puterii de tăiere devine mai important decât impactul modificărilor densității asupra secțiunii transversale, determinând creșterea puterii de tăiere. Afirmația de mai sus nu respectă numai linia caracteristică, care indică modificări ale puterii de tăiere, prin efectuarea frezării la unghiul de degajare de 15 grade. Aici la începutul frezării, puterea de tăiere nu este în scădere, dar lungimea traiectoriei de tăiere crește treptat pe toată lungimea.

For this experiment, where the length of the cutting trajectory is bigger than 20 000m, distribution of cutting trajectory was made analogically – after reaching 200 milling cycles, its number was continued to be increased by 10 units.

For performing analysis of obtained results and determination of length of cutting trajectory, at which wear-characteristic parameters sharply increase, showing critical wear of cutter, the data, obtained in experiments, were referred to.

RESULTS AND DISCUSSION

When looking at changes in cutting power, which is shown in Fig. 2., can be found that in the beginning of milling process of aspen wood the cutting power decreases, but afterwards it gradually increases. Such changes of cutting power in relation to length of cutting path trajectory show definite development of cutter wear – along with increase of cutting trajectory, initially it decreases. However, it can be explained by the fact that during the experiment milling of wood samples were made in core direction. Aspen wood density of cross-sectional periphery is greater, and in the direction of the core it reduces. Therefore, cutting power loss at the beginning of the milling process indicates that the changes of cross-sectional wood density influence the cutting power more than increase of cutter wear. When cutting path length exceeds 6000m, the situation is different, because the characteristic lines show an increase in capacity. It means that, at this point the impact of cutter wear on cutting power becomes more important than cross-sectional wood density impact of the changes, causing the increase of cutting power. The above statement does not comply only with characteristic line, which indicates changes in the cutting power, by performing milling at the rake angle of cutter 15°. Here at the beginning of milling the cutting power is not declining, but the cutting trajectory length is gradually increasing in whole length.



Lungimea traiectoriei de tăiere/Length of cutting trajectory, m

Fig. 2.

Variația puterii de tăiere la frezarea lemnului de plop cu cuțite din oțel rapid / Changes of cutting power when milling aspen wood with cutter knives of high speed steel:

◆ $\gamma = 10^\circ$; ■ $\gamma = 15^\circ$; ▲ $\gamma = 20^\circ$; × $\gamma = 30^\circ$.

$$y = -10^{-11}x^3 + 5 \cdot 10^{-7}x^2 - 0.0041x + 111.3$$

$$R^2 = 0.667$$

$$y = -2 \cdot 10^{-12}x^3 + 6 \cdot 10^{-8}x^2 + 0.0004x + 76.4$$

$$R^2 = 0.669$$

$$y = -2 \cdot 10^{-11}x^3 + 7 \cdot 10^{-7}x^2 - 0.0053x + 71.2$$

$$R^2 = 0.671$$

$$y = -10^{-11}x^3 + 5 \cdot 10^{-7}x^2 - 0.0036x + 52.2$$

$$R^2 = 0.647$$

În Fig. 2. se poate vedea, de asemenea, impactul unghiului de degajare asupra puterii de tăiere. Acest lucru indică faptul că la frezarea lemnului de plop cu freze din oțel rapid prin creșterea unghiurilor de degajare, de la 10 grade la 30 grade, puterea de tăiere scade. Aceste constatări sunt în concordanță cu literatura de specialitate, precum și rezultatele studiilor anterioare efectuate la Universitatea de Agricultură din Letonia, Departamentul de prelucrare a lemnului (Slengis ș.a. 2009). Astfel de modificări ale puterii de tăiere, în funcție de unghiul de degajare, pot fi explicate prin deformațiile așchii tăiate. Așchiile tăiate în timpul procesului de frezare, alunecă de-a lungul suprafeței frontale a tăieturii, și se îndoaie la mișcarea continuă a cuțitului de-a lungul traiectoriei. Dacă unghiul de degajare crește, atunci așchia tăiată trebuie să fie îndoită din ce în ce mai puțin. Astfel, rezistența la tăiere scade, iar ca rezultat puterea de tăiere, scade de asemenea. O explicație suplimentară pentru o astfel de observație este că, prin creșterea unghiului de degajare, scade de asemenea componenta forței rezultante a cuțitului, care operează perpendicular pe tangenta circumferinței de tăiere. Prin urmare forța rezultantă a cuțitului este din ce în ce mai mult îndreptată în paralel cu tangenta circumferinței de tăiere, ceea ce ajută ridicarea așchii și fisurarea lemnului în fața tășului cuțitului. Astfel, rezistența lemnului scade, ca și consecință scade puterea de tăiere.

Comparând valorile puterii de tăiere, care sunt prezentate în Fig. 2., se poate concluziona că pe întreaga lungime a traiectoriei nu are loc creșterea substanțială, care ar putea mări de asemenea uzura tășului. De exemplu, prin frezare la un unghi de degajare de 30 grade, valorile puterii de tăiere mai întâi sunt aproximativ 50W și apoi scad. Când lungimea traiectoriei de tăiere ajunge la 5000m, puterea de tăiere atinge valoarea minimă, care este aproximativ 45W. Apoi, puterea de tăiere crește din nou și la sfârșitul experimentului ajunge la 75W. Diferența între începutul și la sfârșitul experimentului este doar 25W. Nu este suficient pentru a dovedi realizarea perioadei critice de uzură a tășului. Celelalte linii caracteristice arată evoluția similară a puterii de tăiere, cu excepția acesteia, care a fost obținută prin frezare la unghiul de degajare de 10 grade. Aici, creșterea valorii reale a puterii de tăiere, comparative cu începutul și sfârșitul experimentului, nu a fost deloc observată. Din cele menționate mai sus se poate concluziona că variațiile puterii de tăiere nu identifică durata perioadelor de uzură ale tășului din oțel rapid, pentru că lungimea traiectoriei de tăiere este prea mică.

Modificarea rugozității suprafeței Rz, prin frezarea lemnului de plop, cu freze din oțel rapid sunt prezentate în Fig. 3. În această figură se poate vedea că schimbările rugozității suprafeței, în funcție de lungimea traiectoriei de tăiere, sunt foarte

In Fig. 2. can be seen also concrete regularity related to the impact of cutter rake angle on the cutting power. It indicates that the milling of aspen wood with high speed steel cutters and by increasing the rake angles of cutter in range from 10° to 30°, cutting power decreases. These findings are consistent with the literature (Амалицкий & Санев 1992), as well as findings of previous studies conducted in Latvia University of Agriculture, Wood-processing department (Slengis et al. 2009). Such changes of cutting power, depending on the cutter's rake angle, can be explained by the bending changes of cut off chip. Chip, cut off during milling process, slides along front surface of cutter, and, when cutter continuous movement along cutting trajectory, it is bent. If rake angle of cutter increases, then cut off chip should be bent less and less. Thereby cutting resistance decreases, in result of which the cutting power also decreases. One more explanation for such observation is that by increasing rake angle of cutter decreases also component of resulting force of cutter, which operates perpendicularly to tangent of cutting circumference. Thereby resulting force of cutter more and more is pointed in parallel to tangent of cutting circumference, what promote lifting of cut off chip and occurrence of gap in front of cutting edge of cutter. When the gap occurs, the wooden resistance decreases, in result of which also cutting power decreases.

Comparing values of cutting power, which are shown in Fig. 2., can be concluded that in whole length of cutting trajectory, substantial increase does not take place, which could identify also increase of cutter's wear. For example, by milling at rake angle of cutter 30°, cutting power values at first are approximately 50W, and afterwards it decreases. When length of cutting trajectory reaches 5 000m, cutting power reaches the lowest value, which is approximately 45W. Afterwards cutting power increases again and at the end of experiment it reaches 75W. Difference between the beginning and the end of experiment is only 25W. It is not sufficient to prove achievement of critical wear period of cutter. The other characteristic lines show similar development of cutting power, excluding this one, which was obtained by milling at rake angle of cutter 10°. Here the increase of actual cutting power value, in comparison with beginning and end of experiment, was not observed at all. From above mentioned can be concluded that changes of cutting power do not identify duration of separate wear periods of high speed steel cutters, because the length of cutting trajectory is too small.

Changes of surface roughness Rz, by milling aspen wood with high speed steel cutters, are shown in Fig. 3. In this figure can be found that changes of surface roughness, depending on length of cutting trajectory, are very fluctuating. Especially it is observed for characteristic lines, which correspond

fluctuante. În special se observă acest lucru pentru liniile caracteristice care corespund frezării la unghiurile de degajare de 15 grade, 20 grade, 30 grade. Prin frezare cu unghiul de degajare de 15 grade, rugozitatea suprafeței de lemn prelucrate inițial este cea mai mare- aproximativ 15μm. Cu toate acestea, la alte unghiuri, rugozitatea suprafeței este numai cu câțiva μm mai mică, astfel nu se poate considera fără echivoc că la unghiul de degajare de 15 grade suprafața frezată este cea mai rugoasă. În continuare, în procesul de frezare, atunci când lungimea traiectoriei de tăiere ajunge la aproximativ 1000m, situația se schimbă rapid, pentru că rugozitatea suprafeței lemnului prelucrat crește substanțial prin efectuarea frezării cu unghiul de degajare de 10 grade. În același timp, la celelalte unghiuri, rugozitatea suprafeței scade, excluzând unghiul de degajare de 30 grade, caz în care se observă o creștere mică a rugozității. După ce ajunge la o lungime de frezare de 10000 metri, rugozitatea suprafeței prelucrate cu unghi de degajare de 15 grade și 20 grade, crește din nou și continuă în acest fel până la sfârșitul experimentului. Pentru unghiul de degajare de 30 grade, creșterea rugozității suprafeței, care continuă până la sfârșitul experimentului, are loc numai după ce ajunge la lungimea traiectoriei de tăiere de 15000 m. Dacă la începutul procesului de tăiere la un unghi de degajare mai mare, rugozitatea suprafeței de lemn prelucrate a fost de asemenea mai mare, atunci la sfârșitul experimentului se poate observa că la un unghi de degajare mai mare, rugozitatea suprafeței este mai mică. Acest lucru nu este în conformitate cu ceea ce s-a identificat în literatură de specialitate (Амалицкий & Санев 1992), pentru că, împreună cu creșterea unghiului de degajare, rugozitatea suprafeței lemnului de prelucrat ar trebui să crească.

Astfel de modificări ale rugozității la unghiul de degajare de 15 grade, 20 grade și 30 grade pot fi explicate, de asemenea, prin structura eterogenă a lemnului prelucrat.

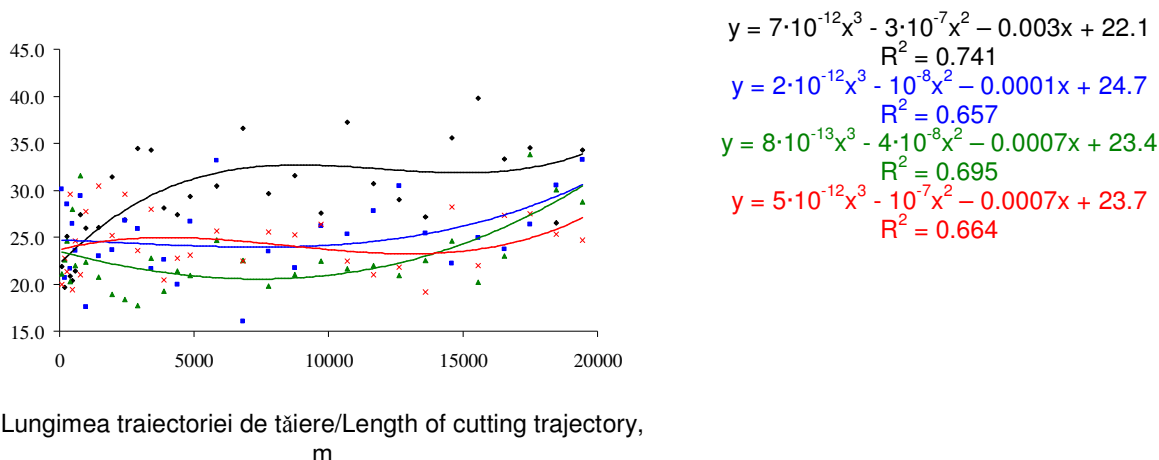
Modificări ale rugozității suprafeței (Fig. 3.) la unghiul de degajare de 15 grade, 20 grade și 30 grade sunt prea neregulate, astfel că, la fel ca în cazul puterii de tăiere, nu prezintă relevanță asupra separării clare a perioadelor de uzură. Excepția este doar linia de caracteristică, care reprezintă schimbări ale rugozității suprafeței, prin frezarea cu unghiul de 10 grade (Амалицкий & Санев 1992) deoarece respectă diagrama dată pentru parametrii caracteristici ai cuțitului.

Prin analiza acestei linii caracteristice, se poate ajunge la concluzii definitive privind durata perioadelor de uzură ale tășului. Perioada de uzură a tășului este în conformitate cu traiectoria de tăiere în intervalul de la 0m la aproximativ 7000m. Acesta este dovedit de faptul că intensitatea rugozității suprafeței, în această perioadă crește brusc, dar după ce ajunge la 7000m, scade. Timpul de tăiere, în acest caz este de 2,5 ore.

to milling at rake angle of cutter 15°, 20° and 30°. By milling at rake angle of cutter 15°, roughness of processed wood surface initially is the biggest one – approximately 15μm. However at other angles the roughness of surface is only by some μm smaller, thereby it cannot be unequivocally considered that at rake angle of cutter 15° the milled surface is the roughest. In the further milling process, when length of cutting trajectory reaches approximately 1 000m, the situation quickly changes, because the roughness of processed wood surface substantially increases by performing milling at rake angle of cutter 10°. At the same time at other angles the roughness of processed wood surface decreases, excluding at front angle of cutter 30°, where is seen small increase of roughness. After reaching 10 000m length of cutting trajectory the surface roughness, by milling at rake angle of cutter 15° and 20°, increases again, and it continues in this way up to the end of experiment. At front angle of cutter 30°, the increase of surface roughness, which continuous up to the end of experiment, takes place only after reaching 15 000m length of cutting trajectory. If at the beginning of cutting process at bigger rake angle of cutter also the roughness of processed wood surface was bigger, then at the end of experiment can be observed that at the bigger rake angle of cutter is the smallest roughness of surface. It does not comply with what is identified in literature (Амалицкий & Санев 1992), because along with increase of rake angle of cutter also the roughness of processed wood surface should increase. Such changes of surface roughness at rake angle of cutter 15°, 20° and 30° can be explained also with heterogeneous structure of processed wood.

Changes of the surface roughness (Fig. 3.) at rake angle of cutter 15°, 20° and 30° are too irregular, thereby they in the same way as cutting power do not show durability of separate wear periods. Exception is only characteristic line, which represents changes of surface roughness, by milling at rake angle of cutter 10°, because it complies with diagram (Амалицкий & Санев 1992), given for characteristic parameters of cutter's wear.

By looking at this characteristic line it can be made definite conclusions on duration of cutter's wear periods. Wear-in period of cutter is in range of cutting trajectory from 0 m to approximately 7 000m. It is proved by the fact that intensity of surface roughness in this period sharply increases, but after reaching 7 000m cutting path it decreases. Cutting time in this case is 2.5 hours. After decrease of surface roughness intensity the monotone wear period of cutter begins. However the end limit of this period was not observed, although characteristic line at the end of experiment shows small increase of surface roughness.



Lungimea traiectoriei de tăiere/Length of cutting trajectory, m

Fig. 3.
Variația rugozității suprafeței la frezarea lemnului de plop cu cuțite din oțel rapid / Changes of surface roughness when milling aspen wood with cutter knives of high speed steel:
◆ $\gamma = 10^\circ$; ■ $\gamma = 15^\circ$; ▲ $\gamma = 20^\circ$; × $\gamma = 30^\circ$.

După scăderea intensității rugozității suprafeței, începe perioada de uzură a tăișului. Cu toate acestea, nu a fost observată limita maximă a acestei perioade, deși linia caracteristică la sfârșitul experimentului arată o creștere ușoară a rugozității suprafeței.

La frezarea lemnului de plop, cu cuțite din oțel înalt aliat, schimbările puterii de tăiere prezentate în fig. 4. sunt similare cu cele din Fig. 2. Cu toate acestea, spre deosebire de cuțitele din oțel rapid, la unghiul de degajare de 20 grade, consumul de putere la tăiere este mai mare decât la unghiul de degajare de 15 grade și nu se observă scăderea puterii de tăiere la începutul procesului. Acesta arată că impactul uzurii tăișului din oțel înalt aliat asupra puterii de tăiere devine un factor mai determinant decât schimbările densității lemnului pe secțiune transversală încă de la începutul procesului de tăiere.

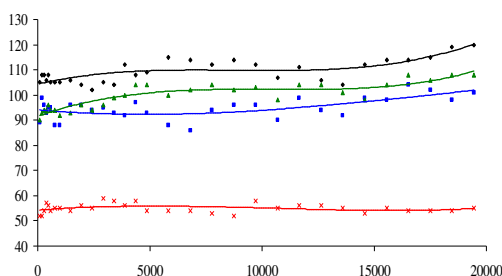
Liniile caracteristice ale procesului de frezare, în care sunt folosite cuțite din oțel înalt aliat, diferă de ceea ce este prezentat în Fig. 2., de asemenea cu faptul că sunt aproape una de cealaltă în intervalul de 90W la 1200W, excepția fiind numai linia caracteristică a puterii de tăiere, care se obține la unghiul de degajare de 30 grade. La acest unghi, puterea de tăiere este semnificativ mai mică decât la unghiul de 10 grade, 15 grade și 20 grade, unde puterile sunt aproape egale. Prin compararea valorilor puterii de tăiere (Fig. 4.), se poate observa pe întreaga lungime a traiectoriei de tăiere o mică creștere a acestora. În plus, aici se poate constata respectarea liniei caracteristice de uzură a tăișului, care este dată în literatură de specialitate. De exemplu, prin efectuarea frezării cu unghiul de degajare de 10 grade, valorile puterii inițiale de tăiere sunt în jurul valorii de 105W și crește în continuare. Când lungimea traiectoriei ajunge la 6000m, puterea

Milling aspen wood with highly alloyed tool steel cutter knives, the changes of cutting power shown in Fig. 4. are similar to what is seen in Fig. 2. However, unlike high speed steel cutter knives, here at rake angle of cutter 20°, the consumption of cutting power is bigger than at angle 15°, and there is not observed decrease of cutting power at the process beginning. It shows that impact of cutter wear of highly alloyed tool steel on cutting power becomes more determinant than changes of wood cross-sectional wood density already at the beginning of cutting process.

Characteristic lines of milling process, where are used highly alloyed tool steel cutter knives, differs from what is shown in Fig. 2. also with the fact that they are focused closely one to another in range from 90W to 120W. exception is only characteristic line of cutting power, which is obtained by milling at rake angle of cutter 30°. At this angle the cutting power is substantially smaller than at rake angle of cutter 10°, 15° and 20°, where they are almost equal. By comparing cutting power values (Fig. 4.), it can be observed that in whole length of cutting trajectory is small increase of them. In addition, here the compliance with characteristic line of cutter's wear, which is given in literature, can be found. For example, by performing milling at rake angle of cutter 10°, the values of cutting power initially are around 105W, and further the power increases. When length of cutting trajectory reaches 6 000m, cutting power reaches definite value, which is approximately 110W. Afterwards cutting power does not change almost at all. After reaching approximately 14 000m of cutting length, cutting power again begins to increase and at the end of experiment reaches 120W. However, regardless to evident compliance to characteristic line of wear (Амалицкий & Санев 1992) what is shown in literature, these changes of cutting power

de tăiere atinge valoarea finală, care este aproximativ 110W. Ulterior puterea de tăiere nu se schimbă aproape deloc. După ce ajunge la aproximativ 14000m din lungimea de tăiere, puterea începe să crească din nou și la sfârșitul experimentului ajunge la 120W. Cu toate acestea, indiferent de respectarea evidentă a liniei caracteristică de uzură, care este prezentată în literatură de specialitate, aceste schimbări ale puterii sunt foarte mici. Diferența dintre începutul și sfârșitul experimentului este de doar 15W, ceea ce este prea puțin pentru a dovedi realizarea perioadei de uzură critică a tăișului. Celelalte linii caracteristice arată dezvoltarea similară a puterii de tăiere, cu excepția celei care a fost obținută prin frezare cu unghiul de degajare de 30 grade, deoarece creșterea nu este respectată deloc. Cele menționate mai sus arată că, de la schimbările puterii de tăiere nu se poate determina durata perioadelor de uzură separate pentru cuțite din oțel înalt aliat, deoarece lungimea traiectoriei de tăiere este prea mică.

are very small. The difference between beginning and end of experiment is only 15W, which is too less for proving achievement of critical wear period of cutter. The other characteristic lines show similar development of cutting power, with exception of that one, which was obtained by milling at rake angle of cutter 30°, because here the increase is not observed at all. Above mentioned shows that from changes of cutting power cannot be determined duration of separate wear periods for highly alloyed tool steel cutters, because length of cutting trajectory is too small.



Lungimea traiectoriei de tăiere/Length of cutting trajectory, m

$$y = 9 \cdot 10^{-12} x^3 - 2 \cdot 10^{-7} x^2 + 0.002x + 104.4$$

$$R^2 = 0.592$$

$$y = 10^{-11} x^3 - 3 \cdot 10^{-7} x^2 + 0.0032x + 91.5$$

$$R^2 = 0.826$$

$$y = -2 \cdot 10^{-12} x^3 + 9 \cdot 10^{-8} x^2 - 0.0008x + 94.2$$

$$R^2 = 0.690$$

$$y = 3 \cdot 10^{-12} x^3 - 8 \cdot 10^{-8} x^2 + 0.0007x + 54.3$$

$$R^2 = 0.697$$

Fig. 4.

Variația puterii de tăiere la frezarea lemnului de plop cu cuțite din oțel înalt aliat / Changes of cutting power when milling aspen wood with cutter knives of highly alloyed tool steel:

◆ γ = 10°; ■ γ = 15°; ▲ γ = 20°; × γ = 30°.

Modificările rugozității suprafeței, în funcție de lungimea traiectoriei de tăiere, prezentată în Fig. 5., la frezarea lemnului de plop, cu cuțite din oțel înalt aliat, arată că prin creșterea unghiului de degajare de la 10 grade la 30 grade rugozitatea suprafeței crește. Afirmația de mai sus nu respectă doar liniile caracteristice de rugozitate, care au fost obținute prin frezarea epruvetelor din lemn cu unghiul de degajare de 10 grade și 15 grade. În plus, modificările rugozității suprafeței prelucrate, în comparație cu Fig. 3. nu sunt atât de neregulate, deoarece prezintă un caracter aproape egal. Totuși, acestea nu respectă liniile caracteristice de uzură ale tăișului, care sunt prezentate în literatura de specialitate (Амалицкий & Санев 1992), prin urmare, nu se poate determina durata perioadelor de uzură distincte.

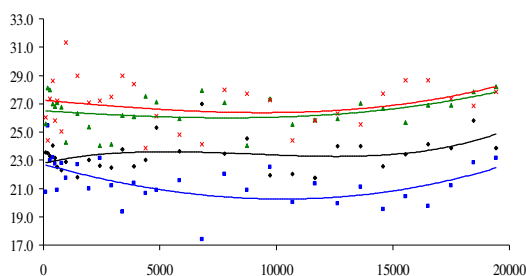
În niciunul din experimentele analizate, nu s-a atins la sfârșitul procesului de frezare creșterea rapidă a puterii de tăiere și rugozității suprafeței

Changes of surface roughness, depending on length of cutting trajectory, shown in Fig. 5., by milling aspen wood with highly alloyed tool steel cutters, show that by increasing rake angle of cutter from 10° to 30° the surface roughness increases. Above mentioned statement does not comply only with surface roughness characteristic lines, which were obtained by milling wooden samples at rake angle of cutter 10° and 15°. In addition, changes of processed surface roughness in comparison with Fig. 3., is not so irregular, because they show almost equal character. However they do not comply with characteristic lines of cutter's wear what is shown in literature (Амалицкий & Санев 1992), thereby here cannot be determined duration of separate wear periods.

In none of considered experiments at the end of milling process was reached fast increase of cutting power and roughness of processed wooden surface, which could identify beginning of critical

prelucrate din lemn, care ar putea identifica începutul perioadei de uzură critică a tăişului. Variația razei rotunjirii tăişului în aceste experimente a fost în intervalul de la 2,5...4 μm, dar după atingerea lungimii de 20000m a traiectoriei de tăiere - 8...10μm. Raza rotunjirii tăişurilor uzate este 40μm (Амалицкий & Санев 1992), mult mai mare decât cea care a fost determinată în cadrul experimentelor. Așadar, modificările razei de rotunjire a tăişului nu prezintă atingerea uzurii critice. Acest lucru înseamnă că lungimea traiectoriei de tăiere, de la care începe uzura critică, prin frezarea lemnului de foioase moi, este mai mare de 20000m. Astfel cercetările proceselor de aşchiere au fost continuate prin creșterea lungimii traiectoriei de tăiere.

wear period of cutter. Rounding radius of cutting edge of cutter in these experiments were in the range from 2.5...4μm, but after reaching 20 000m length of cutting trajectory - 8...10μm. Rounding radius of worn cutters is 40μm (Амалицкий & Санев 1992), what is bigger than that one, which was determined in experiments, thereby also changes of rounding radius of cutting edge of cutter do not show achievement of critical wear. It means that length of cutting trajectory, at which the critical wear begins, by milling soft deciduous trees, is bigger than 20 000m. Thereby researches of cutting processes were continued by increasing length of cutting trajectory.



Lungimea traiectoriei de tăiere/Length of cutting trajectory, m

$$y = 4 \cdot 10^{-13} x^3 + 2 \cdot 10^{-9} x^2 - 0.0002x + 27.3$$

$$R^2 = 0.766$$

$$y = 3 \cdot 10^{-13} x^3 + 4 \cdot 10^{-9} x^2 - 0.0001x + 26.5$$

$$R^2 = 0.631$$

$$y = 2 \cdot 10^{-12} x^3 - 5 \cdot 10^{-8} x^2 - 0.0004x + 22.8$$

$$R^2 = 0.639$$

$$y = 2 \cdot 10^{-13} x^3 + 2 \cdot 10^{-8} x^2 - 0.0005x + 22.7$$

$$R^2 = 0.613$$

Fig. 5.

Variația rugozității suprafețelor la frezarea lemnului de plop cu cuțite din oțel înalt aliat / Changes of surface roughness when milling aspen wood with cutter knives of highly alloyed tool steel:

◆ γ = 10°; ■ γ = 15°; ▲ γ = 20°; × γ = 30°.

Modificările rezultate ale rugozității suprafeței Rz, în funcție de lungimea traiectoriei de tăiere, care sunt prezentate în Fig. 6. au prezentat conformitatea cu linia caracteristică a uzurii tăişului, dată în literatură de specialitate (Амалицкий & Санев 1992). În acest caz, epruvetele de lemn de plop au fost frezate cu cuțite din oțel înalt aliat, cu unghiul de degajare de 10 grade. Din rezultatele obținute se poate concluziona că uzura tăişului este în intervalul traiectoriei de tăiere de la 0m la 11000m, care respectă timpul de tăiere de 4 ore. Ulterior, intensitatea creșterii rugozității suprafeței prelucrate din lemn scade. Acesta prezintă începutul perioadei monotone de uzură a tăişului, care continuă pentru a ajunge la lungimea de 44000m a traiectoriei de tăiere cu timpul de tăiere corespunzător de 15 ore. Această perioadă de uzură a tăişului diferă de datele din literatură de specialitate, prin aceea că nu se realizează creșterea treptată a rugozității suprafeței, dar aproape nu schimbă perioada de uzură. După sfârșitul perioadei de uzură monotonă a tăişului, rugozitatea suprafeței Rz crește brusc, arătând începutul perioadei de uzură critică a tăişului. Aceasta înseamnă că, în acest caz, reascuțirea tăişului ar trebui să fie efectuată după o funcționare de 15 ore.

Resulting changes of surface roughness Rz depending on length of cutting trajectory, which are shown in Fig. 6., showed compliance with characteristic line of cutter's wear, given in literature (Амалицкий & Санев 1992). In this case aspen wood samples were milled with cutter, which was manufactured from highly alloyed tool steel, at rake angle of cutter 10°. From obtained results can be concluded that cutter's wear is in range of cutting trajectory from 0m to 11 000m, which comply with cutting time 4.00 hours. Afterwards the intensity of processed wooden surface roughness decreases. It shows beginning of monotone wear period of cutter, which continuous up to reaching 44 000m length of cutting trajectory with corresponding cutting time 15.00 hours. This cutter's wear period differs from literature data with that there is not gradual increase of surface roughness, but it almost does not change in whole wear period. After end of monotone cutter's wear period, surface roughness Rz sharply increases again, showing beginning of critical wear period of cutter. It means that in this case re-sharpening of cutter should be organized after work of 15.00 hours.

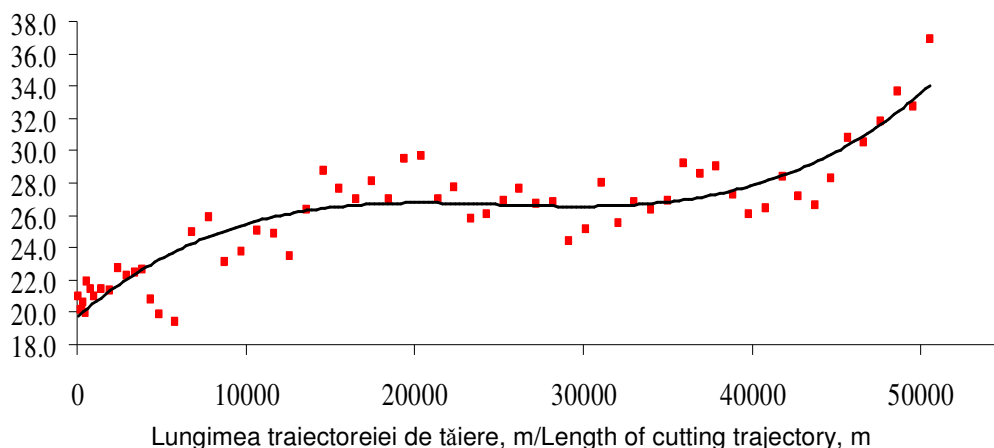


Fig. 6.

Variația rugozității suprafeței la frezarea lemnului de plop cu cuțite din oțel înalt aliat cu unghiul de degajare de 10 grade / Changes of surface roughness, when milling aspen wood with cutter knife of highly alloyed tool steel at rake angle 10°.

Partea de început a liniei caracteristice a rugozității suprafeței R_z prezentate în Fig. 6. este aproape la fel cum se vede în Fig. 3. Ambele linii caracteristice arată modificări ale rugozității suprafeței, în funcție de lungimea traiectoriei de tăiere prin frezare cu unghiul de degajare de 10 grade. Astfel se dovedește că, prin tăierea repetată la același unghi de degajare, este posibil să se obțină rezultate similare.

Prin frezare cu un cuțit din oțel înalt aliat, rugozitatea suprafeței R_z , este de aproximativ 27 μm , dar prin frezarea cu un cuțit din oțel rapid – 33 μm .

CONCLUZII

1. Prin frezarea lemnului de plop, cu cuțite din oțel înalt aliat, cu unghiul de degajare de 10 grade, creșterea rugozității suprafeței prelucrate, a fost observată după atingerea lungimii traiectoriei de tăiere de 44000m, care corespunde cu timpul de tăiere de 15 ore.
2. Prin frezarea lemnului de plop cu cuțite din oțel rapid și prin creșterea unghiului de degajare în intervalul 10 grade la 30 grade, puterea consumată în procesul de tăiere scade, dar rugozitatea suprafeței lemnului prelucrat crește.
3. Prin frezarea lemnului de plop, lungimea traiectoriei de tăiere poate depăși 20000m fără a atinge uzura critică a tăișului.
4. În timpul începutului procesului de tăiere, prin frezarea lemnului de plop cu cuțite din oțel de mare viteză, puterea de tăiere scade, dar după aceea crește treptat.
5. Cercetările trebuie continuate pentru a permite determinarea unui impact mai specific al mărimii unghiului de degajare asupra calității suprafeței prelucrate.

The beginning part of characteristic line of surface roughness R_z , shown in Fig. 6., is almost the same that is seen in Fig. 3. Both characteristic lines show changes of surface roughness depending on length of cutting trajectory by milling at rake angle of cutter 10°. Thereby it proves that by repeated cutting at the same rake angle of cutter, it is possible to obtain similar results.

By milling with highly alloyed tool steel cutter, the surface roughness R_z is approximately 27 μm , but by milling with high speed steel cutter – 33 μm .

CONCLUSIONS

1. By milling aspen wood with highly alloyed tool steel cutter knives at rake angle of cutter 10°, the increase of processed wooden surface roughness was seen after reaching 44 000m length of cutting trajectory, which correspond to cutting time of 15 hours.
2. By milling aspen wood with high speed steel cutter knives and increasing rake angle of cutter in range from 10° to 30°, the amount of power, consumed in cutting process decreases, but the roughness of processed wooden surface increases.
3. By milling aspen wood, the length of cutting trajectory can exceed 20 000m without reaching the critical wear of cutter.
4. During beginning the process of cutting, by milling aspen wood with high speed steel cutter knives, the cutting power decreases, but afterwards it gradually increases.
5. Researches should be continued for allowing determining more specific impact of rake angle with different sizes to quality of processed surface.

MULȚUMIRI

Partea de cercetare finanțată de către Uniunea Europeană în cadrul Fondului Social European 2007-2013.

ACKNOWLEDGEMENT

Research part-financed by the European Union within the European Social Fund 2007–2013.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

Амалицкий ВВ, Санев ВИ (1992) Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий, Москва, 1992.

Billatos SB, Bayoumi AE, Kendall A, Saunders SC (1986) Un model statistic de uzură pentru anumite materiale pentru scule cu aplicații la prelucrare, *Uzura* 112:257-271 / A statistical wear model for certain tool materials with applications to machining, *Wear* 112:257-271.

Darmawan W, Rahayu I, Nandika D, Marchal R (2011) Caracteristica de uzură a sculelor de tăiere a lemnului cauzată de materiale abrazive și extractive în unele păduri tropicale. *Jurnalul de Știința pădurilor tropicale* 23(3):345-353 / Wear characteristic of wood cutting tools caused by extractive and abrasive materials in some tropical woods, *Journal of Tropical Forest Science* 23(3):345-353.

Fotin A, Cismaru I, Salcă EA, Cismaru M (2009) Influence of variable parameters of machining regimes. *Journal PRO LIGNO Vol.5 N°4:53-63*. Influența parametrilor variabili ai regimurilor de prelucrare. *Journal PRO LIGNO Vol.5 N°4:53-63*.

Klamecki BE (1979) O revizuire a literaturii de specialitate privind uzura sculei așhietoare, *Holz als Roh- und Werkstoff* 37:265-276. / A review of Wood Cutting Tool Wear Literature, *Holz als Roh- und Werkstoff* 37:265-276.

Milner JL, Roth JT (2010) Monitorizarea stării frezelor cu coadă cu tășuri schimbabile prin folosirea accelerometrelor, *Știința și Tehnologia prelucrării mecanice*, pp 63-80. / Condition monitoring for indexable carbide end mill using acceleration data, *Machining Science and Technology*, pp. 63-80.

Nordström J, Bergström J (2005) Carburi cimentate și oțel de mare viteză pentru tăierea lemnului verde, Suedia, Universitatea din Karlstad / Cemented carbides and high speed steel in green wood cutting, Sweden, Karlstad University.

Ratnasingam J, Perkins MC (1998) Investigarea caracteristicilor de uzură a sculei pentru furnir laminat din lemn de cauciuc. *Holz als Roh- und Werkstoff* 56:31-35 / An investigation into the tool wearing characteristics of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) laminated veneer lumber, *Holz als Roh- und Werkstoff* 56:31-35.

Salcă EA, Fotin A, Cismaru I (2008) Evaluarea calității suprafeței, după frezarea profilată a lemnului de arin și mesteacăn *Journal PRO LIGNO Vol.4 N°2:57-68* / Evaluation of surface quality after profiled milling of alder and birch wood, *Journal PRO LIGNO Vol.4 N°2:57-68*.

Simonin G, Meausoone PJ, Rougie A, Triboulot P (2009) Caracterizarea carbunii pentru ferăstruirea molidului, *Journal PRO LIGNO Vol.5 N°2:49-57* / Carbide characterization for spruce rip-sawing, *Journal PRO LIGNO Vol.5 N°2:49-57*.

Traducere în limba română / Translated by:
Asist.dr.eng. Cosmin SPÎRCHEZ