



## UMA VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESGASTE DAS FERRAMENTAS NA USINAGEM DA MADEIRA DE "EUCALYPTUS GRANDIS"

**WILLI JOHANN GOTTLOB**

Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia - UNESP/ FE- Bauru,

CEP 17033-360 Bauru, Brasil E-mail: gottlob@azul.bauru.unesp.br

***Resumo.** Mediu-se o desgaste das arestas principais e secundárias, das superfícies de folga e de saída das cunhas de corte das ferramentas de metal duro, de aço rápido M-4, de aço AISI D-6 e do ABNT-01 (aço de serra), na usinagem da madeira "Eucalyptus Grandis" no estado verde. Os ensaios foram realizados numa tupia, com auxílio de um porta-ferramentas especial, com três ferramentas de cada material, cujas ferramentas tinham corte frontal, dispostas aleatoriamente. À tupia foi fixado também um sistema de avanço dos corpos de prova, cuja velocidade podia ser regulada continuamente. Todas as ferramentas foram medidas num projetor de perfis, usando-se a ampliação de 50X. Os gráficos de desgaste foram construídos em função do percurso de corte. No final do trabalho, conclui-se que, para medir o desempenho dos materiais das ferramentas, é suficiente medir o desgaste das arestas das cunhas das ferramentas e / ou os desgastes das superfícies de folga das mesmas.*

**Palavras-chave:** Trabalho da madeira, Usinagem da madeira, Desgaste de ferramentas

### 1. INTRODUÇÃO

Quando se pretende ensaiar o desempenho de um material para ferramenta possível de ser usado na usinagem da madeira, de início questiona-se qual é o elemento da ferramenta que vai ser tomado como indicador do desgaste ou desempenho da mesma.

Na usinagem das madeiras e aglomerados de madeira, o desgaste das cunhas de corte das ferramentas não ocorre como na usinagem dos metais, em que existe um grande desgaste da superfície de folga e um processo de crateramento na superfície de saída das ferramentas.

Na usinagem das madeiras, as cunhas de corte tornam-se arredondadas, ocorrendo o desgaste simultâneo da aresta de corte, da superfície de folga e da superfície de saída, conforme se pode constatar neste trabalho e nos trabalhos de KLAMECKI 1978, MCKENZIE & KARPOVICH 1975, SUGIHARA 1979.

A fim de solucionar a dúvida, mediu-se o desgaste das arestas principais e secundárias, das superfícies de folga e de saída das cunhas de corte das ferramentas de

metal duro, de aço rápido M4, de aço AISI D-6 e do aço AISI-01, na usinagem das madeira "Eucalyptus Grandis", no estado verde ou saturado.

As condições de usinagem usadas nos ensaios assemelham-se às das serrarias, com corte interrompido da madeira e velocidade de corte da ordem de 50 m/s .

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1.Porta-Ferramentas



O porta-ferramentas possui doze alojamentos axiais para as ferramentas, com forma de fresa de corte misto frontal e tangencial (figura nº1). As ferramentas neste dispositivo são presas radialmente por um sistema de abraçadeiras múltiplas e travadas por baixo para evitar o giro das mesmas.

Figura 1 - Fotografia do porta-ferramentas.

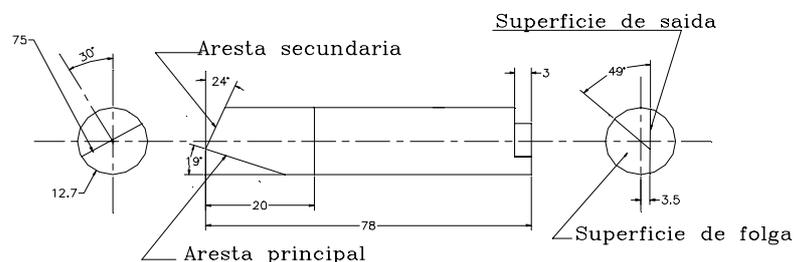


Figura 2 - Desenho da ferramenta de corte, mostra da esquerda para a direita, vista inferior, vista em perfil e vista superior.

### 2.2.Acionamento do porta-ferramentas

Para acionar o porta ferramentas foi usada uma tупia com motor elétrico de 5 cv com rotações de 4000 e 6000 rpm.

### 2.3.Sistema de avanço do corpo de prova

Para avançar o corpo de prova de madeira foi usado um sistema mecânico continuamente regulável (PIV), que permitia variar o avanço por dente da ferramenta entre 0,3 a 1,5 milímetros. Esse sistema de acionamento é ligado ao tambor de avanço ranhurado de 164 mm de diâmetro; esse tambor encontra-se acoplado a um outro tambor de avanço (transmissão por corrente), afastado cerca de 700 mm.

## **2.4.Sistema de medição dos desgastes das ferramentas**

Para medir o desgaste das ferramentas foi usado um projetor de perfis marca Nikon com tela de 300 mm de diâmetro, equipado com mesa de coordenadas com dois fusos micrométricos, com resolução de 0,001mm. Todas as ferramentas foram alojadas e fixadas no porta-ferramentas e foram cuidadosamente medidas no projetor de perfis, usando-se a ampliação de 50X. Mediu-se o afastamento do gume de corte (aresta) segundo a bissetriz do ângulo de cunha da ferramenta a partir de seu vértice com auxílio dos traços em cruz da tela do projetor de perfis, e também o afastamento do ponto de concordância entre a curvatura da ponta e a superfície de folga da ferramenta (originalmente plana), em relação ao vértice da ponta da ferramenta, através dos fusos micrométricos da mesa de coordenadas.

Para medir a ponta frontal da ferramenta, as medidas dos afastamentos da ponta e o ponto de início da aresta secundária em relação ao vértice da ponta da ferramenta, foram tomadas na projeção da ponta frontal da ferramenta na tela do projetor de perfis, que se encontra ampliado de 50X, utilizando-se uma lupa com divisões de 0,1 mm.

## **2.5.Sistema de verificação de concentricidade das ferramentas**

Para conferir a concentricidade das ferramentas e também para verificar se, no giro do porta-ferramentas, as alturas das ferramentas são constantes, foi usado um relógio comparador centesimal fixado a um suporte com base magnética, o que foi realizado montando-se o porta-ferramentas na tupa.

## **2.6.Materiais para ferramentas**

Pastilhas de metal duro, com 94% de WC e 6% de Co e aços ferramentas: aço rápido M-4 (1,3% C, 4,25 % Cr, 4,50 % Mo, 8,0% W, 2,70 % V, 10,0 % Co), aço AISI- D6 ( 2,10 % C, 11,5 % Cr, 0,70 % W, 0,20 % V ), aço carbono AISI- 01 ( 0,95 % C, 0,50 % Cr, 0,50 % W, 0,12 % V, 1,25 % Mn). As ferramentas de aço foram todas temperadas com a mesma dureza, 58 a 59 Rockwell C, sendo a dureza da pastilha de metal duro 91.2 HRA.

## **2.7.Madeiras para ensaio**

Foram usadas vigotas de madeira da espécie "Eucalyptus Grandis", desdobradas nas dimensões médias de 80 mm x 60,7 mm x 2074 mm..

## **2.8.Sistema de ensaios**

Nesta pesquisa, além de se verificar o desgaste das arestas principais, secundárias e o desgaste da superfície de folga e da ponta frontal, comparou-se o desempenho (desgaste) de quatro materiais de ferramentas diferentes. Para a comparação ser válida, é necessário que os quatro materiais ferramentas cortem (usinem) a mesma madeira, pois a madeira é um material ortotrópico, com propriedades mecânicas variáveis, como afirma CHARDIN (1971); a variação das propriedades de usinagem dentro de uma mesma espécie pode variar de uma a cinco vezes. Além disso, estas propriedades podem variar dentro da madeira da mesma árvore, pois a madeira do cerne é mais densa e mais dura que a madeira do alburno, existindo também variação das propriedades da madeira de uma árvore desde a base até sua ponta, existindo também uma variação de concentração dos extratos da madeira entre o cerne e alburno FARMER (1962).

## 2.9. Afição das ferramentas

Todas as ferramentas alojadas no porta-ferramentas foram cuidadosamente afiadas com os mesmos ângulos de cunha ( $49^\circ$ ), de folga ( $16^\circ$ ) e de saída ( $25^\circ$ ), usando-se na afiação de acabamento o rebolo diamantado de granulação fina, em forma de prato com corte frontal.

## 2.10. Condições de usinagem

As condições de usinagem usadas foram as seguintes: profundidade de corte 1,7 mm, avanço por dente de 0,3 mm, velocidade de corte 48,7 m/s. O tipo de corte das ferramentas foi tangencial e frontal. O corte tangencial assemelha-se ao corte periférico de uma serra, e o corte frontal, ao corte lateral da serra.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Gráficos

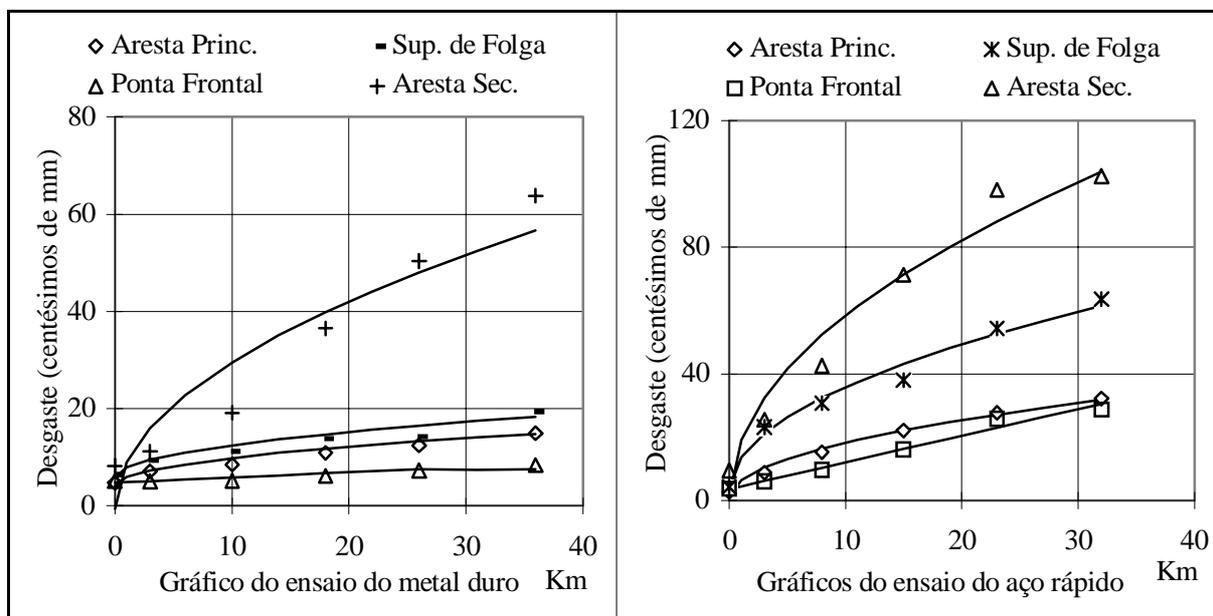


Figura 3 - Afastamento da aresta principal, da superfície de folga, da ponta frontal e da aresta secundária das ferramentas de metal duro e aço rápido, em função do percurso de corte, na usinagem da madeira "Eucalyptus Grandis", no estado verde.

### 3.2. Análise dos resultados

Os gráficos das figuras 3 e 4 e a tabela 5 apresentam os resultados obtidos nos ensaios. De posse dos gráficos dos desgastes das ferramentas em função do percurso de corte e das equações de regressão, tiram-se as conclusões do experimento. Salienta-se aqui, que as curvas que se apresentam traçadas nos gráficos das figuras 3 e 4 foram obtidas, usando-se as próprias equações de regressão, determinadas pelo método dos mínimos quadrados, que se encontram nas tabelas 1, 2, 3, e 4.

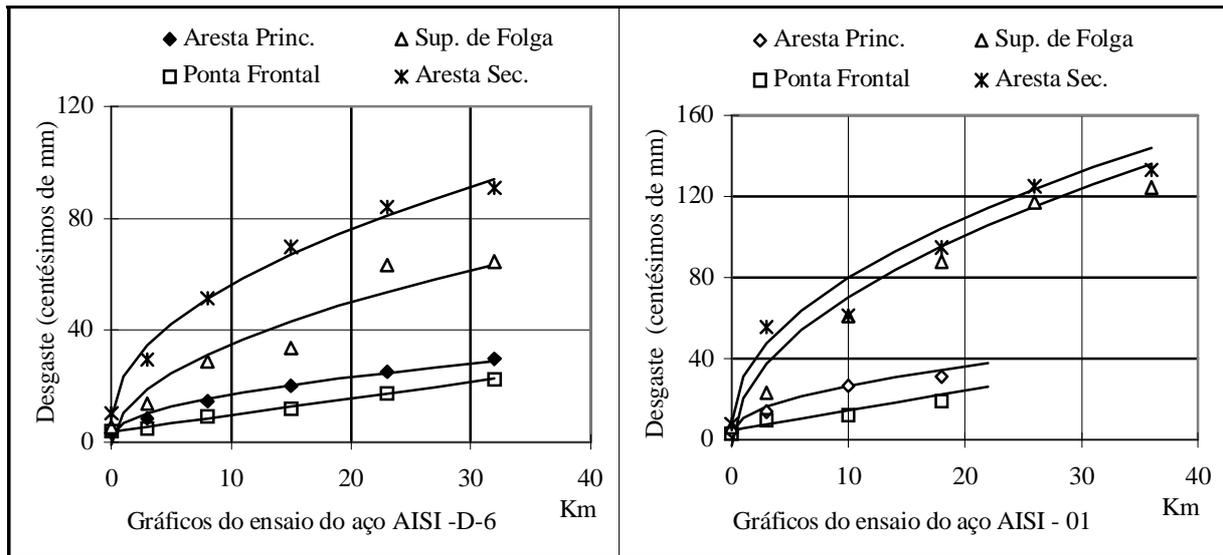


Figura 4- Afastamento da aresta principal, da superfície de folga, da ponta frontal e da aresta secundária das ferramentas de aço AISI-D6 e AISI -01 em função do percurso de corte, na usinagem da madeira "Eucalyptus Grandis" no estado verde.

### 3.3. Tratamento Estatístico

Com os dados de desgaste de cada material ferramenta, obtidos na usinagem da madeira "Eucalyptus Grandis" no estado verde para: aresta principal, superfície de folga, ponta frontal e aresta secundária, foram determinadas as equações de regressão que melhor se ajustam aos pontos experimentais. Essas equações de regressão são do tipo  $A = B + C \cdot \sqrt{pc}$ , sendo (A) o afastamento do vértice, (B) e (C) constantes e (pc) o percurso de corte em quilômetros.

Tabela 1-Equações de regressão obtidas com ferramentas de metal duro.

Material - <b>metal duro</b>	Equação de regressão	Coefficiente de correlação
Aresta princ.	$A = 4,21 + 1,78 \sqrt{pc}$	$r = 0,9907$
Sup. de folga	$A = 5,88 + 2,08 \sqrt{pc}$	$r = 0,9666$
Ponta frontal	$A = 4,73 + 0,11 \cdot pc$	$r = 0,9737$
Aresta sec.	$A = -0,61 + 9,54 \sqrt{pc}$	$r = 0,9432$

Tabela 2-Equações de regressão obtidas com ferramentas de aço rápido M-4.

Material - <b>aço rápido</b>	Equação de regressão	Coefficiente de correlação
Aresta princ.	$A = 1,02 + 5,43 \sqrt{pc}$	$r = 0,9938$
Sup. de folga	$A = 3,55 + 10,21 \sqrt{pc}$	$r = 0,9608$
Ponta frontal	$A = 3,68 + 0,84 \cdot pc$	$r = 0,9895$
Aresta sec.	$A = 1,06 + 18,14 \sqrt{pc}$	$r = 0,9782$

Tabela 3 -Equações de regressão obtidas com ferramentas de aço AISI D-6.

Material – AISI D-6	Equação de regressão	Coefficiente de correlação
Aresta princ.	$A = 2,02 + 4,75\sqrt{pc}$	$r = 0,9931$
Sup. de folga	$A = -0,79 + 11,36\sqrt{pc}$	$r = 0,9572$
Ponta frontal	$A = 3,80 + 0,59. pc$	$r = 0,9972$
Aresta sec.	$A = 8,37 + 15,14\sqrt{pc}$	$r = 0,9943$

Tabela 4-Equações de regressão obtidas com ferramentas de aço AISI 01.

Material – AISI 01	Equação de regressão	Coefficiente de correlação
Aresta princ.	$A = 3,49 + 7,31\sqrt{pc}$	$r = 0,9856$
Sup. de folga	$A = -2,59 + 23,06\sqrt{pc}$	$r = 0,9839$
Ponta frontal	$A = 4,63 + 0,98. pc$	$r = 0,9694$
Aresta sec.	$A = 8,53 + 22,57\sqrt{pc}$	$r = 0,9883$

Tabela 5- Valores das diferenças de desgastes em centésimos de milímetro dos diversos elementos da ferramenta em análise, entre os percursos de corte de 10 km e 30 km, calculados com auxílio das equações de regressão correspondentes.

Material	Elementos da cunha de corte			
	Aresta principal	Superfície de folga	Ponta frontal	Aresta secundária
<b>Metal Duro</b>	4,13	4,80	2,18	36,4
<b>AISI M-4</b>	12,57	23,63	16,80	42,0
<b>AISI D-6</b>	11,0	26,29	11,75	35,05
<b>AISI- 01</b>	16,9	53,38	19,52	52,25

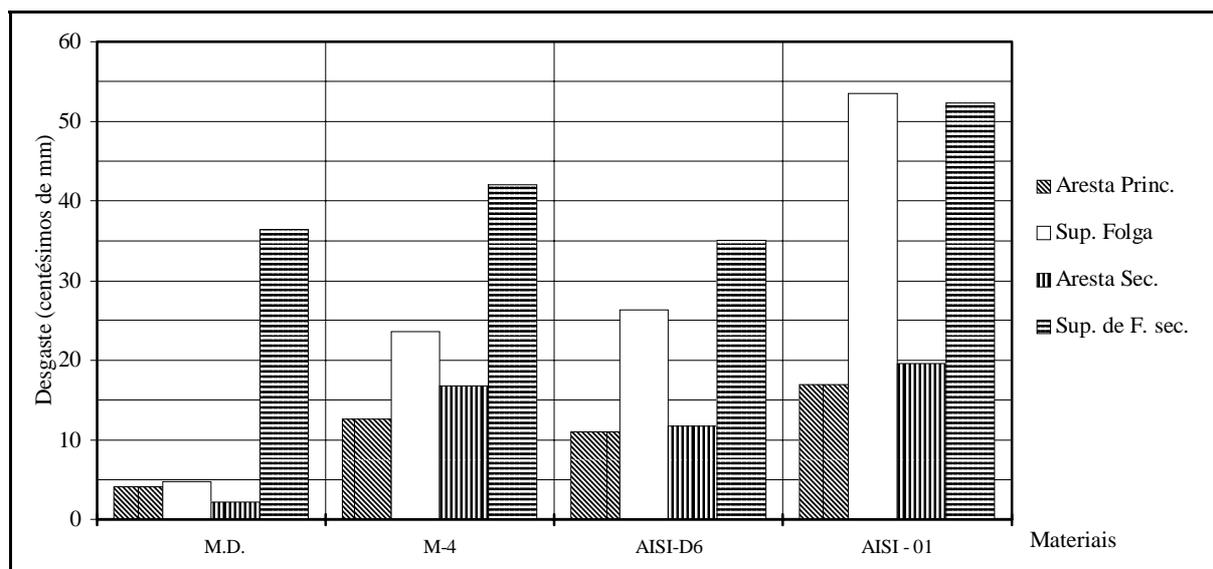


Figura 5- Gráfico dos desgastes, gráfico esse obtido através das equações de regressão entre os percursos de corte de 10 Km a 30 Km, para: aresta principal, superfície de folga, ponta frontal e aresta secundária, para os quatro materiais ferramentas ensaiados na usinagem da madeira "Eucalyptus Grandis no estado verde.

## 4. DISCUSSÃO

Analisando-se a figura 5, onde se encontram representados os gráficos dos desgastes, observa-se que os maiores desgastes, que ocorreram no intervalo de 10 Km a 30 Km de percurso de corte, foram na superfície de folga e na superfície de folga secundária. Tanto a aresta secundária como a superfície de folga encontram-se inclinadas em relação às pontas das ferramentas; um pequeno desgaste nas pontas das ferramentas corresponde a um valor numérico bem maior nestes elementos. Essa figura mostra que é perfeitamente possível avaliar os desgastes das ferramentas, considerando-se apenas os desgastes inerentes à cunha de corte ou os desgaste da ponta da ferramenta, não sendo necessária a análise dos quatro desgastes ensaiados neste trabalho.

### 4.1. Considerações sobre as equações de regressão

A maioria das equações de regressão determinadas são do tipo  $A = B + C \cdot \sqrt{pc}$ , e apresentaram alto coeficiente de correlação. Este tipo de correlação indica fisicamente que o desgaste (afastamento) dos elementos de corte das ferramentas, à medida que vai aumentando seu desgaste, aumenta também a área de contato de seus elementos, contra a madeira que está sendo usinada, tornando o processo de desgaste mais lento.

As equações de regressão relativas às superfícies de folga e das arestas secundárias também são do mesmo tipo, valendo as considerações feitas no item anterior.

As pontas frontais das ferramentas, nestes experimentos, equivalem ao corte lateral das serras. As equações de regressão são lineares em relação ao percurso de corte, sendo do tipo  $A = B + C \cdot pc$ , e indicam que este desgaste é mais pronunciado que os outros três desgastes ensaiados.

## 5. CONCLUSÕES

Para medir o desgaste das ferramentas, é suficiente medir o afastamento das pontas das cunhas ou melhor os desgastes das arestas principais das ferramentas, embora seu valor numérico seja menor.

A medida do desgaste das superfícies de folga é mais difícil de ser realizada e é menos precisa.

O método ótico de medida dos desgastes é satisfatório, mas é demorado, sendo necessários dispositivos especiais de sustentação da ferramenta e sua precisão depende, acima de tudo, da habilidade do laboratorista. Se possível, deve-se usar um método de medição direta, por exemplo um relógio com resolução de 0,001 mm e indicação digital.

## 6- BIBLIOGRAFIA

- Bayoumi, A. E. & Bailey, J. A. Comparison of the wear resistance of selected steels and cemented carbide cutting tool material in machining wood. *Wear*, 105: 131-144, 1985.
- Chardin, A. Saw tooth performance: variables affecting tooth wear. In: *Proceedings Of the third Wood Machining Seminar*, Richmond. 1971, California, Forest Products Laboratory, University of California, 1971, 1-14.
- Farmer, R.H. Corrosion of metals in association with wood: Part 2. corrosion of metals in contact with wood. *Wood*, 11: 443-446, 1962.

- Gottlob, W. J. Os materiais das ferramentas usados na usinagem da madeira. São Carlos, USP, 1991. 116p. Dissertação de mestrado. E.E.S.C.U.S.P.
- Gottlob, W. J. , Ruffino, R. T. Ensaio comparativo de desempenho dos materiais de ferramenta ABNT-01, T5 (HSS), D6 (AISI) e metal duro no processamento da madeira. XIII Congresso Brasileiro e II Congresso Ibero Americano de Engenharia Mecânica, 1995 .
- Koch, P. Wood machining processes. New York, Ronald Press, 1964. 530p.
- Kollmann, F. & Coté, W. Principles of wood science and technology, Vol. 1, New York, Springer-Verlag, 1984, 592p.
- Mckenzie, W.M. & Karpovich, H. Wear and blunting of the tool corner in cutting a wood-based material. Wood Science and Technology, 9: 59-73, 1975.

### **A CUTTING TOOL WEAR EXPERIMENTAL TEST DURING THE MACHINING OF THE “EUCALIPTUS-GRANDIS” WOOD**

***Abstract.** We have measured the wear of the rake face, of the clearance face and of the cutting edge of cutting tools, which have been manufactured with tungsten-carbide tips, with a high speed steel M4, with an AISI-D6 steel and with an ABNT (AISI.01) steel , during the machining of the “Eucaliptus-Grandis” wood, with high moisture content. The wood machining tests were carried out with a special device, in order to hold the tools, similar to a face milling cutter, to which twelve cutting knives were fixed, being three tools of each material aleatory disposed. The test was carried out in a molding machine, on which we set up a built tool holder and attached a feeder for the wood test piece with stepless regulation speed. We have measured the wear with a profil projector with a 50X enlargement and we have drawn its wear graphs in regard to the cutting length. We inferred that it is enough to measure the wear of the cutting edges of the tools and / or the wear of the clearance face of the tools.*

**Keyword** - Wood working, Wood machining, Tool wear