

MINIMIZAÇÃO DO TEMPO DE CORTE COM DISCOS ABRASIVOS ATRAVÉS DA ANÁLISE E CONTROLE DA VELOCIDADE DE CORTE

Eduardo Carlos Bianchi*, Emerson Miranda Yokoyama*,
Odilson Coimbra Fernandes*, Ivan De Domenico Valarelli*,
Paulo Roberto de Aguiar**

BIANCHI, E.C.; YOKOYAMA, E.M.; FERNANDES, O.C.; VALARELLI, I.D.; AGUIAR, P.R. Minimização do tempo de corte com discos abrasivos através da análise e controle da velocidade de corte. / *The Cutting Time with Abrasive Discs Can be Minimized by the Analysis and Control of the Cutting Speed*. Revista Educação Gráfica, Bauru, v2, n.2, p153-171, 1998

ABSTRACT

This work presents an experimental study on the life of abrasive discs in cut-off type operations with two conditions of cutting speed. The cutting time is shown with a comparative analysis of the cutting speed.

Key Words: *Abrasive discs, cut-off type operations, cutting speed.*

Palavras-Chave: *Discos abrasivos, operações do tipo "cut-off", velocidade de corte.*

* Departamento de Engenharia Mecânica, *Mechanical Engineering Department* -

** Departamento de Engenharia Elétrica, *Electrical Engineering Department* - Faculdade de Engenharia - UNESP - Baurú - SP

INTRODUÇÃO

O corte com discos abrasivos é um dos métodos mais antigos e devido à sua simplicidade operacional, ainda é um dos mais utilizados na indústria que trabalha com materiais metálicos.

Atualmente, os discos abrasivos são disponíveis em todos os níveis de preço e qualidade. O segredo na obtenção do bom desempenho do disco abrasivo está em quando e como utilizar o disco abrasivo correto para o trabalho. Este desempenho pode ser determinado pelo volume de material que estes são capazes de remover, em relação ao volume de disco abrasivo gasto num determinado tempo e segundo determinadas condições de trabalho (Snee, 1991).

As diferenças de qualidade na fabricação de um mesmo tipo de disco abrasivo, pelos diversos fabricantes, e o desconhecimento de seu desempenho, agravam a determinação das condições ótimas de trabalho, tornando difícil a escolha de uma nova operação de corte, em função do tipo de disco abrasivo e do material a ser cortado. Estas dificuldades fazem com que os critérios para utilização de discos abrasivos no meio industrial, não estejam devidamente estabelecidos como na usinagem com ferramentas de arestas cortantes definidas, além de serem pouco estudados. Portanto, há pouca literatura formal sobre este assunto.

Muitos usuários utilizam discos abrasivos de forma inadequada por falta de informações técnicas sobre este processo, o que eleva, evidentemente, o custo do corte e prejudica seu desempenho. A avaliação do custo de discos abrasivos é difícil de ser feita e seu desempenho depende das condições de trabalho.

INTRODUCTION

Cutting with abrasive discs is one of the oldest methods and because of its operational simplicity, it is still one of the most used in the industries which work with metallic materials.

Nowadays, abrasive discs are available in all levels of price and quality. The secret in obtaining a good performance is in when and how to use the correct abrasive disc for the work. This performance can be determined by the material volume that they are able to remove in relation with the volume of the abrasive disc wasted in a certain amount of time and under determined conditions of work (Snee, 1991).

The differences of quality in the manufacturing of one same type of abrasive disc by the different manufacturers and the lack of information on its performance, aggravate the determination of the ideal conditions of work, making it difficult to choose a new cutting operation, on the basis of the type of abrasive disc and the material to be cut. These difficulties make the criteria for the use of abrasive discs in the industrial environment, not as properly established as in the mill with tools of defined cutting edge (turning, drilling, etc), besides that, they are not studied. So, there is little formal literature about the subject.

Many users apply abrasive discs in an inadequate way because of the lack of technical information about this process, and this evidently raises the cost of the cutting and decreases its performance. The evaluation of the abrasive discs cost is difficult to be done and its performance depends on the work conditions.

Normalmente, o corte em operações do tipo "cut off" são realizadas por máquinas com relação de transmissão única entre o motor de acionamento e o eixo árvore, que suporta o disco abrasivo. Desta forma a velocidade de corte V_s [m/s], quando o disco abrasivo é novo, é alta e diminui na mesma proporção que ocorre a perda diametral do disco abrasivo. Isto afeta substancialmente os fenômenos de corte, comprometendo a capacidade de remoção do disco abrasivo (Bianchi et al., 1996).

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados experimentais obtidos sobre a otimização do tempo de corte com discos abrasivos, quando submetidos a diferentes condições de velocidade de corte. Controlando-se a rotação do motor de acionamento, foram realizados dois ensaios. Em um deles manteve-se a velocidade de corte constante (aumentando-se a rotação do disco abrasivo proporcionalmente à sua perda diametral) e no outro utilizou-se a velocidade de corte variável e proporcional à perda diametral do disco abrasivo.

FENOMENOLOGIA DO CORTE COM DISCOS ABRASIVOS E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Para a constatação da otimização do tempo de corte com discos abrasivos em função da velocidade de corte, a análise de alguns parâmetros relacionados aos processos abrasivos facilitam a estimativa das vantagens econômicas que podem ser obtidas de acordo com as condições de trabalho utilizadas, além de mostrar a sua adequação no meio industrial. Por falta de literatura técnica específica sobre discos de corte, diversos conceitos utilizados no processo de retificação foram adequados a este trabalho.

Normally, the cutting in the "cut-off" operation is done by machines with only one transmission between the electrical motor and axle tree, which supports the abrasive disc. In this way, the cutting speed V_s [m/s], when the abrasive disc is new, is high and decrease in the same proportion that the abrasive disc diametrical loss occurs. It really affects the cutting phenomena, compromising the removal capacity of the abrasive disc (Bianchi et al., 1996)

This study seeks to show experimental results obtained for the best cutting time with abrasive disc, when submitting it to different cutting speed. Controlling the electrical driving motor two assays were done. In one case, the speed was kept constant (increasing the abrasive disc rotation proportionally to its diametrical loss), and in another case the cutting speed would be varied proportionally to the abrasive discs diametrical loss.

CUT PHENOMENOLOGY WITH ABRASIVE DISCS AND PARAMETERS FOR PERFORMANCE EVALUATION.

To report the best cutting time performance with abrasive disc due to the cutting speed, the analysis of some parameters related to the abrasive processes facilitates the estimation of the economic advantages that are obtained according to the working conditions used, as well as to show its place in the industrial environment.

The cutting of materials in the cut-off operations, consists of pressing one abrasive disc against the material to be cut, which is usually fixed in a vise. The penetration speed of the abrasive disc in the material is called

O corte de materiais em operações do tipo "cut-off" consiste em pressionar um disco abrasivo contra o material a ser cortado, usualmente fixado numa morsa. A velocidade de penetração do disco abrasivo no material é denominada taxa temporal de penetração do disco abrasivo no material V_f [m/s]. Na figura 1 é apresentado o desenho esquemático da fenomenologia de corte com discos abrasivos para operações do tipo "cut-off" e as principais variáveis envolvidas (Bianchi et al., 1996).

temporal penetration rate of the abrasive disc in the material V_f [m/s]. Figure 01 shows a schematic sketch of the cutting kinematics with abrasive discs for cut-off operations and the main involved variables (Bianchi et al., 1996).

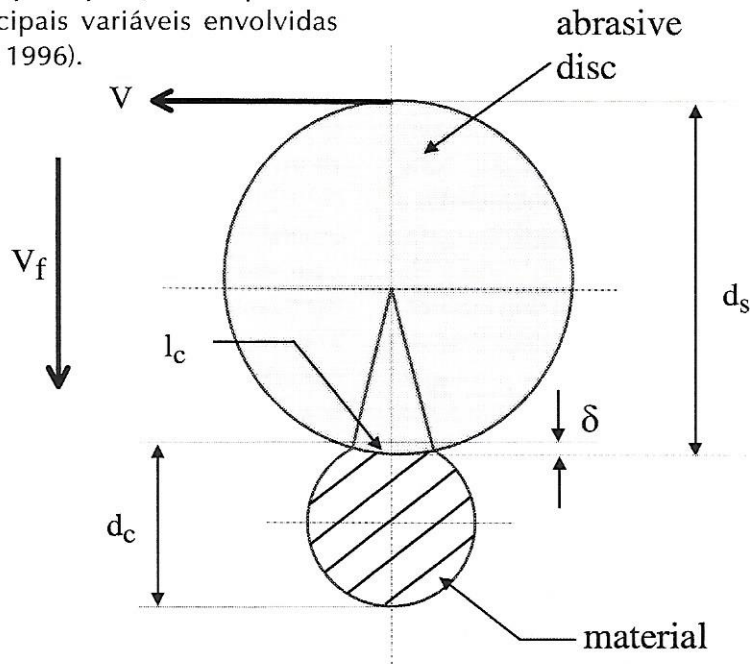


Figura 01 - Fenomenologia de corte para operações do tipo "cut-off" (Bianchi et al., 1996)
Figure 01 - Cutting phenomenology for cut-off operations.

A taxa de remoção de material no tempo Q_w [mm³/s] representa o volume de material removido por unidade de tempo, que é determinada pela equação:

$$Q_w = A \cdot V_f \quad (1)$$

onde A [mm²] é a área de contato num dado instante entre o disco abrasivo e o material.

The removal rate of the material in time Q_w (mm³/s) represents the volume of the removed material per time unit, shown by the equation:

$$Q_w = A \cdot V_f \quad (1)$$

where A (mm²) is the contact area, in a certain time, between the abrasive disc and the material.

A densidade de grãos abrasivos da superfície de corte do disco abrasivo, num determinado instante do corte, depende desta área de contato. No corte de materiais com secção transversal circular a área de contato varia com o diâmetro do disco abrasivo d_s [mm], diâmetro do material d_c [mm], largura do disco abrasivo t [mm] e com a penetração do disco abrasivo no material δ [mm], segundo a equação (Abrão, 1991):

$$A = 2 \cdot t \cdot \left(\frac{d_s}{2}\right) \cdot \arccos \left[\frac{\left[\left(\frac{d_s}{2}\right) + \left(\frac{d_c}{2}\right) - \delta \right]^2 - \left[\left(\frac{d_c}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_s}{2}\right)^2 \right]}{\left[2 \cdot \left(\frac{d_c}{2}\right) \cdot \left(\left(\frac{d_s}{2}\right) + \left(\frac{d_c}{2}\right) - \delta \right) \right]} \right] \quad (2)$$

O comprimento de contato l_c [mm], entre o disco abrasivo e o material, influencia no número de grãos abrasivos, que afetam a geometria e a remoção dos cavacos arrancados. O comprimento de contato é obtido pela relação entre a área de contato e largura do disco abrasivo, conforme a equação:

$$l_c = \frac{A}{t} \quad (3)$$

Sendo a largura do disco abrasivo constante, o comprimento de contato é diretamente proporcional à área de contato.

Durante o corte de materiais cilíndricos, a área de contato inicialmente tende a crescer proporcionalmente à penetração do disco abrasivo no material, até um comprimento de contato máximo. Posteriormente a área de contato decresce até o final do corte. O disco abrasivo tende progressivamente a desgastar-se, diminuindo seu diâmetro.

The density of the abrasive grains on the surface of the cutting disc, at a certain moment, depends on this contact area. In cutting materials with circular transverse section, the contact area varies with the abrasive disc diameter d_s (mm), the material diameter d_c (mm), the abrasive discs width t (mm) and with the abrasive disc penetration in the material símbolo δ (mm), according to the equation (Abrão, 1991) :

The contact length l_c (mm) between the abrasive disc and the material has a great influence in the number of abrasive grains, that affects the chips geometry and removal. The contact length is obtained by the relationship between the contact area and the abrasive disc width, according to the equation :

$$l_c = \frac{A}{t} \quad (3)$$

The contact length is directly proportional to the contact area if the abrasive disc width is constant.

During the cutting of cylindrical materials this area tends firstly to increase proportionally to the abrasive discs penetration in the material until the maximum contact length. Later, it decreases until the end of the cutting. The abrasive disc tends progressively to erode, reducing its diameter. This also provokes a diminution of the area and the contact length between the abrasive disc and the material.

No início do corte, quando o disco abrasivo ainda é novo, há uma maior densidade de grãos abrasivos ativos na superfície de corte deste, devido ao maior comprimento de contato. Desta forma, cada grão abrasivo remove menos material e o cavaco arrancado possui menor espessura.

O disco abrasivo desgasta-se durante a remoção de material, acarretando a diminuição do número de grãos ativos na sua superfície. Com menor densidade de grãos ativos, cada grão abrasivo remove um maior volume de material com espessura maior, comparativamente ao caso anterior.

Para um mesmo tipo de disco abrasivo, a manutenção do número de cavacos arrancados por unidade de tempo N [No/s] depende do número de grãos abrasivos por unidade de área C [No/mm²], largura do disco abrasivo e da velocidade de corte do disco abrasivo. O número de cavacos arrancados por unidade de tempo é obtido pela equação (Malkin, 1989):

$$N = C.t.V_s \quad (4)$$

Com a perda diametral do disco abrasivo, há uma diminuição contínua da velocidade de corte. Isto provoca também a diminuição progressiva do número de cavacos arrancados por unidade de tempo.

A espessura equivalente de corte h_{eq} [mm] representa a espessura da camada de material que é arrancada pelo disco abrasivo numa volta completa. Trata-se de um parâmetro que permite quantificar uma condição de trabalho. A espessura equivalente de corte é definida como sendo a relação entre a taxa de remoção específica de material no tempo Q_w' [mm³/mm.s] e a velocidade de corte do disco abrasivo, expressa por (Peters e Decneut, 1975):

In the beginning of a cutting series, when the abrasive disc is still new, there is a greater density of active abrasive grains on the cutting surface, due to a major contact length. This way, each abrasive grain removes less material and the expelled chips have less thickness.

The abrasive disc wears out during the material remotion, causing a diminution of the active grains on its surface. With less active grains density, each abrasive grain removes more material with bigger thickness, the contrary of the previous case.

For the same type of abrasive discs, the number of expelled chips per time unit N (No/s) depends on the number of grains per area unit C (No/mm²), on abrasive discs width and on the abrasive discs cutting speed. The number of expelled chips per time unit is determined by the equation :

$$N = C.t.V_s \quad (4)$$

With the abrasive discs diametrical loss, there is a continuous diminution of the cutting speed. This also provokes a continuous diminution of the expelled chips per time unit.

The cutting equivalent thickness h_{eq} (mm) represents the thickness of a layer of material that is removed by the abrasive disc in one complete turn. It is a variable that permits to see the quantity of work in a certain condition. The cutting equivalent thickness is defined as being a relationship between the specific removed material rate Q_w' (mm³/mm.s) and the abrasive discs cutting speed, expressed by (Peters and Decneut, 1975) :

$$h_{eq} = \frac{Q_w'}{V_s} \quad (5)$$

sendo taxa de remoção específica de material no tempo Q_w' obtida pela relação entre taxa de remoção de material Q_w [mm³/s] e a largura do disco abrasivo t . Dividindo-se equação (1) por t e combinando-a com as equações (3) e (5), a espessura equivalente de corte pode ser expressa por:

$$h_{eq} = l_c \cdot \frac{V_f}{V_s} \quad (6)$$

O parâmetro h_{eq} foi escolhido para que se possa realizar uma análise comparativa dos resultados entre as duas condições de trabalho (V_s constante e V_s variável).

A espessura teórica máxima do cavaco h_{max} [mm] é diretamente proporcional ao parâmetro espessura equivalente de corte, conforme a equação (Bianchi et al., 1992):

$$h_{max} = h_{eq} \cdot (2 \cdot L / l_c) = 2 \cdot L \cdot (V_f / V_s) \quad (7)$$

onde L [mm] é o espaçamento médio entre os grãos abrasivos.

Portanto, aumentando-se V_f ou diminuindo-se V_s há um aumento na espessura máxima do cavaco arrancado. Todavia, variando-se a espessura do cavaco arrancado, altera-se a força tangencial de corte num grão abrasivo F_{t1g} [N]. Esta força tangencial de corte pode ser expressa pela equação (Bianchi, 1992):

$$F_{t1g} = b \cdot h_{max} \cdot K_s + \mu \cdot b \cdot \pi \cdot K_n / 4 \quad (8)$$

sendo b [mm] a largura média do topo dos grãos abrasivos, K_s [N/mm²] a pressão específica de corte, μ o coeficiente de atrito

$$h_{eq} = \frac{Q_w'}{V_s} \quad (5)$$

The relationship between the removed material rate Q_w and the abrasive discs width t is obtained by the specific removed material rate Q_w' . If the equation (1) is divided by t and after combination with the equations (3) and (5), the cutting equivalent thickness can be expressed by :

$$h_{eq} = l_c \cdot \frac{V_f}{V_s} \quad (6)$$

The parameter h_{eq} has been chosen to make a comparative analysis of the results between the two working conditions (V_s constant and V_s variable).

The maximum theoretical chip thickness h_{max} (mm) is directly proportional to the cutting equivalent thickness parameter, determined by the equation (Bianchi et al., 1992):

$$h_{max} = h_{eq} \cdot (2 \cdot L / l_c) = 2 \cdot L \cdot (V_f / V_s) \quad (7)$$

Where L (mm) is the average spacing between the abrasive grains.

Therefore, if the V_f is increasing or V_s is decreasing, there will be a raise of the maximum expelled chip thickness. However, varying the thickness of the expelled chip, the cutting tangential power is changed in one abrasive grain. This cutting tangential power can be expressed by the equation (Bianchi, 1992) :

$$F_{t1g} = b \cdot h_{max} \cdot K_s + \mu \cdot b \cdot \pi \cdot K_n / 4 \quad (8)$$

Being b [mm] the average top width of the abrasive grains, K_s [N/mm²] the specific cutting pressure, μ the coefficient of friction

entre o grão e a peça e K_n [N/mm²] a tensão de escoamento do metal da peça.

Outro parâmetro utilizado para a determinação do comportamento de discos abrasivos é a relação G , definida como sendo a relação entre volume de material removido e volume de disco abrasivo gasto (ferramenta), determinada pela equação (Hahn, 1955):

$$G = \frac{Z_w}{Z_s} \quad (7)$$

sendo Z_w [mm³] e Z_s [mm³], o volume de material removido e o volume de disco abrasivo gasto, respectivamente.

Esta relação caracteriza o desgaste de um disco abrasivo sob determinadas condições de trabalho. Se o desgaste do disco abrasivo for grande, com relação ao desgaste de material, a relação G é pequena. Isto significa que a perda volumétrica do disco abrasivo é grande. Assim, o custo do corte é maior. No caso do disco abrasivo desgastar-se lentamente, a relação G é alta, sendo o desempenho do disco abrasivo melhor, tornando o corte mais econômico (Bianchi, 1992).

MECANISMOS DE DESGASTE EM DISCOS ABRASIVOS

Durante a operação de corte ocorre o macro e micro desgaste dos grãos abrasivos e ligante da superfície de corte do disco abrasivo, decorrentes da interação do disco abrasivo com a peça.

Na figura 02 são apresentadas as formas de ocorrência do macro e micro desgaste da superfície de corte dos discos abrasivos.

between the grain and the material and K_n [N/mm²] the tension of the drain of the metal.

Other parameters used to determinate the abrasive discs performance is the G relationship, defined as being a relation between the removed material volume and the spent abrasive disc volume (tool), which is determined by the equation (Hahn, 1955) :

$$G = \frac{Z_w}{Z_s} \quad (7)$$

So Z_w and Z_s (mm³) are, respectively, the removed material volume and the spent abrasive disc volume.

This relationship characterizes the abrasive disc use under certain work conditions. If the abrasive discs use is big, with regard to the material use, the G relationship is small. This means that the abrasive discs volumetric loss is big. So, the cost of the cutting is bigger. In case of slow wear out of the abrasive disc, the G relationship is high, so the abrasive disc performance is better, making the cutting more economic (Bianchi, 1992).

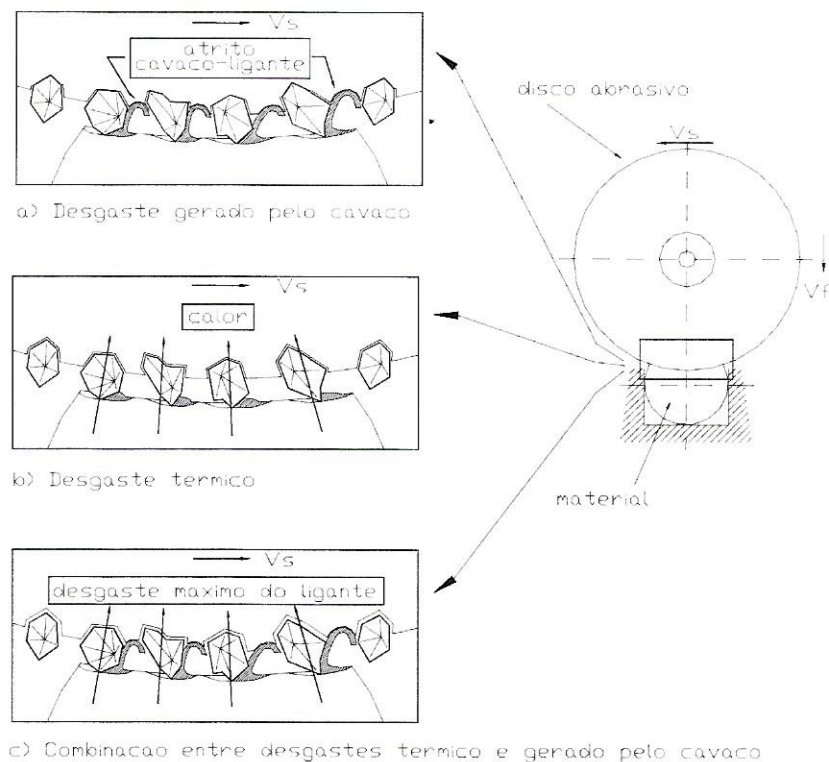


Figura 02 : Formas de ocorrência do macro e micro desgaste da superfície de corte dos discos abrasivos.

O micro desgaste corresponde ao desgaste das arestas ativas no topo dos grãos abrasivos durante o corte, em decorrência do atrito entre as arestas dos grãos abrasivos com o material. Durante o corte, os grãos abrasivos vão se desgastando e lentamente aumentando suas áreas de topo, aumentando as forças de corte e geração de calor.

O macro desgaste ocorre pelo desgaste do ligante, que retém os grãos abrasivos na superfície de corte do disco abrasivo. O desgaste do ligante pode ocorrer termicamente, pela geração do cavaco arrancado ou pela combinação entre ambos.

O desgaste térmico (figura 2b) ocorre pela ação do micro desgaste. As arestas no topo dos grãos abrasivos vão se desgastando e, conseqüentemente, há o aumento das forças de corte e temperatura na região de

contato. Uma parte desta energia térmica é conduzida em direção ao centro do disco abrasivo, passando pelos grãos abrasivos e ligante. Quando a temperatura de trabalho é elevada, há a deterioração térmica do ligante que perde parte de sua capacidade de retenção dos grãos abrasivos. Assim, a força máxima de retenção, que o ligante exerce sobre o grão abrasivo, diminui. No instante em que as forças de corte são maiores que o de retenção do ligante sobre o grão abrasivo, há a liberação deste. Os discos abrasivos utilizados neste trabalho, são confeccionados com ligante resinóide, que é muito sensível à ação da erosão do ligante pelo cavaco.

O cavaco arrancado, pela interação do grão abrasivo com o material, incide, ao sair, na parte do ligante que está a frente do grão

abrasivo, na direção de movimento do disco abrasivo (figura 2a).

O atrito entre o cavaco e o ligante provoca, continuamente, o desgaste do ligante e este desgaste diminui a capacidade de retenção do grão abrasivo.

O macro desgaste combinado com o micro desgaste (figura 2c) é a combinação entre os tipos de desgaste já descritos.

DESCRIÇÃO DO BANCO DE ENSAIOS

O banco de ensaios desenvolvido é composto de uma máquina de corte do tipo "cut-off", com capacidade para discos abrasivos de até 254,0 mm de diâmetro, montada sobre uma base rigidamente fixada ao solo. Foi utilizado um motor de indução trifásico com potência de 2 cv e rotação nominal de 3.480 rpm (frequência 60 Hz). A rotação do motor é transmitida ao eixo árvore, com relação de transmissão de 2,2:1 para a obtenção das rotações necessárias, de acordo com as condições de trabalho.

Um sistema de polia e peso foi montado para auxiliar o controle da força aplicada do disco abrasivo contra o material a ser cortado. A força aplicada era controlada manualmente pelo operador de tal forma que a rotação do motor fosse mantida constante durante o corte. Este sistema é constituído por um peso que traciona um cabo de aço, ligado a máquina através de uma polia.

O controle da rotação do disco abrasivo foi realizado por um conversor de frequência digital, que indicava a frequência instantânea do motor em todos ensaios. A força de corte aplicada, do disco abrasivo sobre o material, foi controlada de tal forma que a rotação do motor, para uma determinada velocidade de corte, ficasse mantida constante. Assim, as forças de corte

DESCRIPTION OF THE TEST BENCH

The testing bench used is made up of a machine for cut-off type cuttings, with capacity for abrasive discs of less than 254.00 mm of diameter, which is set up on a base that is fixed rigidly to the ground. A three phase electrical driving motor of 2 cv was used with nominal rotation of 3,480 rpm (frequency 60Hz). The rotation of the engine is transmitted to the axletree, that supports the abrasive disc, with a transmission ratio of 2.2:1, to obtain the rotations needed according to the work conditions.

A weight and pulley system was set up to assist the control of the applied force on the abrasive disc against the material to be cut. The applied force was controlled manually by the operator in such a way that the motor rotation was maintained constant during the cut. This system is established by a weight which puts tension to a steel cable, tied to the machine by a pulley.

The control of the abrasive disc rotation was done by a digital frequency converter, which indicated the instantaneous frequency of the engine in all tests. The cutting power applied, from the abrasive disc to the material, was controlled in a way that the engine rotation would be constant on a

foram controladas para que não houvesse perda volumétrica do disco abrasivo pela ação de sobrecarga nos grãos abrasivos, que poderiam provocar a liberação antecipada destes. Este fato é indesejável uma vez que pretende-se analisar a influência da velocidade de corte no desempenho do disco abrasivo e não submetê-lo às forças que provoquem a expulsão do grão abrasivo da superfície de corte do disco abrasivo. Isto provocaria uma perda diametral maior do disco abrasivo pelo aumento da espessura do cavaco arrancado (aumento V_p) alterando a relação G , principalmente por se tratar de discos abrasivos confeccionados com ligante resínóide, que é sensível ao desgaste provocado pela erosão do cavaco arrancado sobre o ligante e a ação da temperatura na região de corte.

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dois discos abrasivos idênticos (AR 302) e barras de aço trefilado ABNT 1045 (com diâmetro de 12,7 mm e 1 metro de comprimento), como material a ser cortado.

No primeiro ensaio manteve-se constante a rotação do disco abrasivo, variando-se assim sua velocidade de corte através da perda diametral do disco abrasivo.

No outro ensaio houve aumento na rotação do disco abrasivo, proporcionalmente à perda diametral do disco abrasivo, mantendo-se constante a velocidade de corte.

Em ambos os casos, foram realizadas séries de 10 cortes e em cada uma delas cronometrado o tempo de corte. No final de cada série, foi medida a perda diametral do disco abrasivo e calculado o tempo de corte médio.

Sendo constante o espaço percorrido pelo disco abrasivo durante o corte, este foi dividido pelo tempo de corte médio para a

certain cutting speed. Thus, the cutting powers were controlled so there was not abrasive discs volumetric loss by the action of the excess load on the abrasive grains, that could provoke them to discharge. This fact is not wanted because the claim is to analyze the influence of the cutting speed on the abrasive discs performance and not to submit it to efforts that could provoke the expulsion of the abrasive grain from the disc cutting surface. It would provoke a bigger diametrical loss of the abrasive disc by the increase of the expelled chips thickness (increasing V_p), which would change the G relationship, mainly because the abrasive discs are constructed with bonding resins, that are sensitive to the use provoked by the expelled chip erosion on the bond and the action of the temperature in the cutting region.

Two identical abrasive discs were used (AR 302) and several drawn steel bars ABNT 1045 (with diameter of 12.70 mm and 1 m of length) were used as the material to be cut.

In the first test the abrasive disc rotation was kept constant, only the cutting speed was varied through the abrasive disc diametrical loss.

In the other test there was an increase in the abrasive disc's rotation, proportionally to the abrasive disc diametrical loss, and the cutting speed was kept constant.

In both cases, 10 cutting series were done and in each one the cutting time was timed. At the end of each series, the abrasive disc loss was measured and the average cutting time was calculated.

As the distance traveled by the abrasive disc was constant during the cutting,

determinação da taxa temporal de penetração do disco abrasivo no material (V_p).

Estas séries foram repetidas até que o diâmetro do disco abrasivo chegasse a 170,00 mm, que corresponde à máxima utilização possível do disco abrasivo para cortar o material.

A relação G foi determinada medindo-se o volume de disco abrasivo gasto, a partir da perda diametral, e o volume de material removido, pelo número de cortes.

this was divided by the average cutting time to determinate the temporal penetration rate of the abrasive disc in the material (V_p).

These series were repeated until the diameter of the abrasive disc become 170.00 mm, which corresponds to the maximum possible use to cut the material.

The G relationship was determined by measuring the volume of the spent abrasive disc, from the diametrical loss, and the volume of the removed material, by the number of cuts.

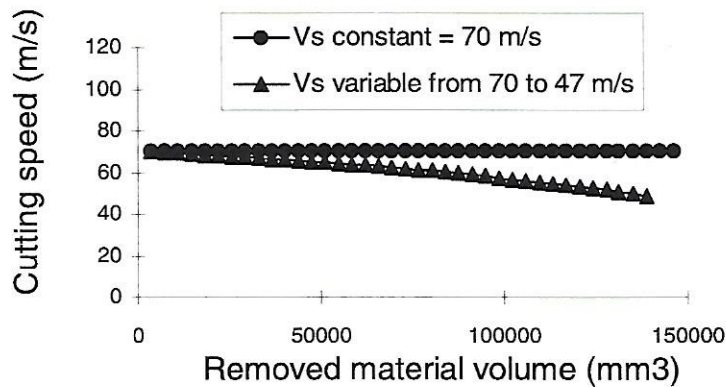


Figure 02 : Relation between cutting speed and the removed material volume.

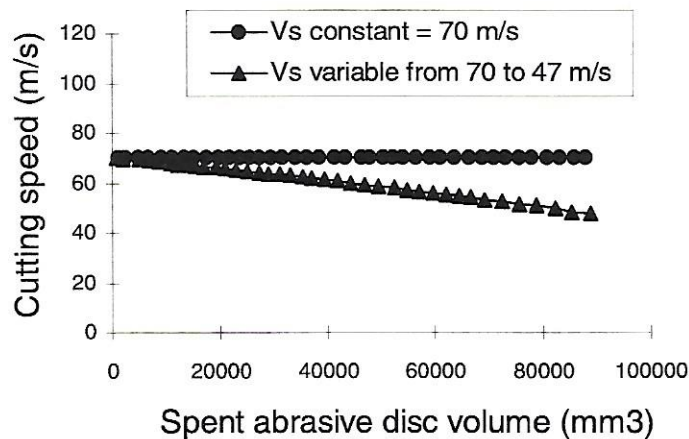


Figure 03 : Relation between cutting speed and the spent abrasive disc volume.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 03 apresenta as relações entre velocidade de corte e volume de material removido e disco abrasivo gasto durante os ensaios.

RESULTS AND DISCUSSION

The figures 02 and 03 present the relationships between the cutting speed and removed material volume and abrasive disc during the tests.

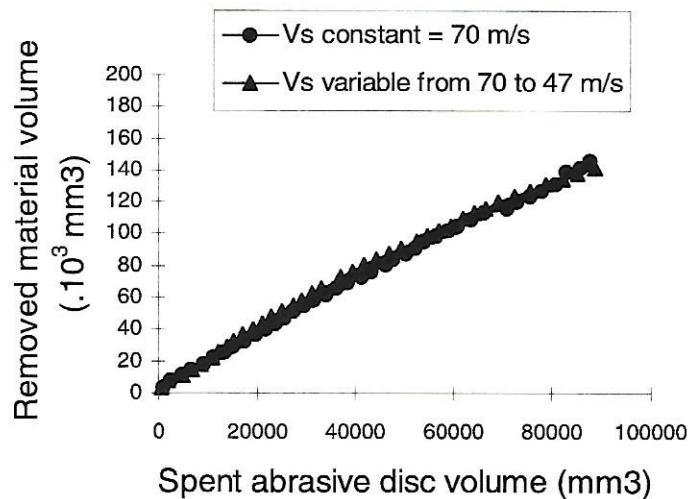


Figura 04: Relação entre volume de material removido e volume de disco abrasivo gasto
Figure 04: Relation between the removed material volume and the spent abrasive disc volume.

Nesta figura, pode-se notar que o volume de material removido e volume de disco abrasivo gasto são praticamente iguais quando utilizou-se velocidade de corte constante ou variável. Quando a velocidade de corte é variável, há uma tendência de decréscimo das curvas de forma quase linear, tanto de material removido como de disco abrasivo gasto. A relação G é obtida através da tangente das curvas, que corresponde ao coeficiente angular das retas.

Observa-se um comportamento crescente e quase sobreposto para ambas as curvas, mostrando uma semelhança muito próxima na relação do volume de material removido com o volume dos discos abrasivos gastos, mesmo sendo os discos abrasivos submetidos à diferentes velocidades de corte.

In these figures it can be noted that the removed material volume and the spent abrasive disc volume are quite identical whether it is used with constant or variable cutting speed. When the cutting speed is decreasing, there is a tendency to decrease linearly, both in the removed material and in the spent abrasive disc.

This relationship between the cutting speed and the removed material volume and the spent abrasive disc (figures 02 and 03) can be confirmed through the analysis of Figure 04, that shows the relationship between the removed material volume and the spent abrasive discs volume. The G relationship is obtained by the curves tangent, which corresponds to the angular coefficient of the lines.

O fato da velocidade de corte ser variável, não afetou a relação entre o volume de material e disco abrasivo gasto.

Os coeficientes angulares das retas da figura 03 são praticamente os mesmos, significando que os desgastes (material e disco abrasivo) são proporcionais e o comportamento da relação G é constante e idêntica para ambos os casos. Desta forma, não houve influência da velocidade de corte no comportamento da relação G , quando foram controladas as forças de corte pela rotação do motor de acionamento. Este fato já era esperado pois não houveram sobrecargas nos grãos abrasivos que proporcionassem a liberação antecipada destes da superfície de corte do disco abrasivo.

Com velocidade de corte variável, o número de cavacos arrancados por unidade de tempo é progressivamente diminuído. Um número menor de grãos abrasivos remove menos cavacos com maior espessura. Portanto, o volume de material removido diminui com o tempo de corte.

Quando a velocidade de corte é mantida constante, o número de cavacos arrancados por unidade de tempo também é constante e com espessura de cavacos menor. Desta forma o tempo de corte é menor e as forças por grão abrasivo são melhor distribuídas. Isto pode ser confirmado através da análise da figura 04, onde o volume de material removido na unidade de tempo é maior quando a velocidade de corte é constante.

O comportamento da velocidade é idêntico até o diâmetro do disco abrasivo (254 mm inicial) chegar a 241 mm. A partir deste valor, o tempo de corte passou a sofrer alterações pela ação das modificações nos fenômenos de corte. A diferença no tempo de corte entre as duas situações ensaiadas

An increasing behaviour and almost agreement can be seen for both curves. This shows a very close similarity between the relationship of the removed material volume and with the spent abrasive discs volume, even as the abrasive discs are being submitted to different cutting speeds. The fact of the decreasing cutting speed does not affect the relationship between the material and spent abrasive disc volumes.

The angular coefficients of the lines on Figure 04 are almost the same. It means that the wearing out (material and abrasive disc) are proportional and the behaviour of the G relationship is constant and identical for both cases. So, there is no influence of the cutting speed on the G relationship behaviour, when the cutting efforts are controlled by the electrical driving motor. This fact, was expected, because there were no overload on the abrasive grains, that could anticipate the release of them from the cutting surface of the abrasive disc.

With variable cutting speed, the number of cut-out chips is progressively reduced. A smaller abrasive grains number removes less chips with bigger thickness. Therefore, the removed material volume reduces with the cutting time.

When the cutting speed is kept constant, the number of chips produced per time unit is also constant and with chips thickness smaller. So, the cutting time is smaller and the powers per abrasive grains are better distributed. This can be confirmed by the analysis on Figure 05, where the total cutting time is smaller when the cutting speed is constant.

The speed behaviour is identical until the disc diameter reaches 241 mm. From this value on, the cutting time starts to suffer some changes because of the modifications actions in the cutting phenomena.

(velocidade de corte constante e variável) é de 49,63%.

Na figura 06 é apresentada a relação entre V_f/V_s com o tempo de corte.

Pode-se notar que para ambos os casos as curvas tendem a ser crescentes, porém de formas distintas. Diminuindo-se progressivamente o diâmetro dos discos abrasivos, o número de grãos abrasivos ativos, no comprimento de contato, diminui.

The difference in the cutting time in these two different situations (constant and variable cutting speed) is about 49.63%. Figure 06 shows the relationship between V_f/V_s within the cutting time.

In both cases can be noted that the curves tend to be increasing, however in different ways. If the abrasive discs diameter reduces progressively, the active abrasive grains number reduces in the contact

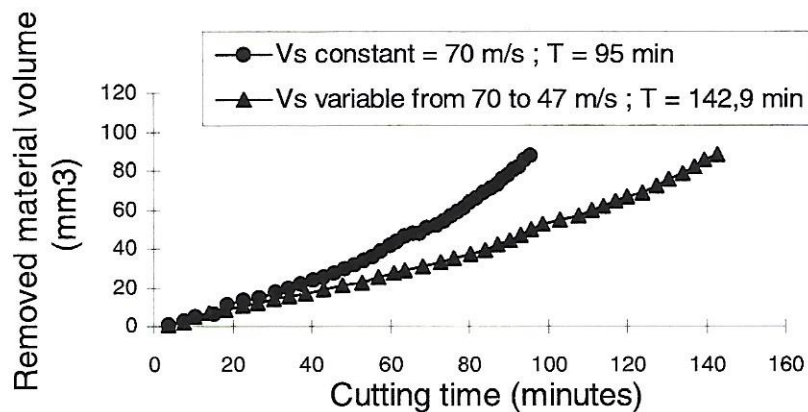


Figura 05: Relação entre volume de material removido e tempo de corte
 Figure 05: Relation between the removed material volume and cutting time.

Ocorre então a geração de cavacos com maior espessura. Desta forma, as relações V_f/V_s tendem a ser crescentes para ambos os casos pelo aumento da espessura do cavaco, em consequência da perda diâmetral.

Quando a velocidade de corte é variável, a inclinação da curva é menor e o tempo para remover um determinado volume é maior. Isto ocorre pelo menor número de cavacos arrancados por unidade de tempo. A relação V_f/V_s cresce

length. Then there is a generation of bigger thickness chips. So, the relations V_f/V_s tend to be increasing in both cases because of the raise in the chips thickness and of the diametrical loss.

When the cutting speed is decreasing, the curve inclination is smaller and the time to remove a certain volume is bigger. This occurs because of the smaller number of expelled chips per time unit. The relationship V_f/V_s increases by the decrease of V_s . The thermal compromise of the cut material

predominantemente pela diminuição de V_s . O comprometimento térmico do material cortado é maior e a taxa temporal de penetração do disco abrasivo no material é menor.

Para velocidade de corte constante, a inclinação da curva é maior e o tempo de corte menor, pelo maior número de cavacos arrancados por unidade de tempo. Neste caso, a relação V_f/V_s cresce de forma mais acentuada. O crescimento da relação V_f/V_s ocorre somente pelo aumento de V_r , que proporciona o aumento da espessura equivalente de corte, e conseqüentemente da espessura do cavaco arrancado, e necessita de um menor tempo para a remoção de cavacos. Isto evita aquecimento excessivo da peça pelo menor tempo de contato.

Aumentando-se a taxa temporal de penetração do disco abrasivo no material, aumenta-se a espessura equivalente de corte, que é proporcional a espessura máxima do cavaco arrancado.

CONCLUSÕES

Deste trabalho pode-se concluir que o volume de material removido e a perda diametral dos discos abrasivos são praticamente iguais quando utiliza-se velocidade de corte constante ou variável.

A velocidade de corte influencia significativamente o tempo de corte, pelas modificações da fenomenologia de corte provocada pela superfície de corte do disco abrasivo no material. Para velocidade de corte constante, o número de cavacos arrancados por unidade de tempo é constante e com espessura menor. Para velocidade de corte variável, o número de cavacos arrancados diminui com o tempo de corte e a espessura do cavaco é maior.

is bigger and the temporal penetration rate of the abrasive disc in the material is smaller.

For constant cutting speed, the curve inclination is bigger and the cutting time is smaller, because of the bigger cut-out chips number per time unit. In this case, the relationship V_f/V_s increases in a more accentuated way. The growth of the relationship V_f/V_s occurs only because by the increase of V_r , that offers the increase of the cutting equivalent thickness, and consequently the cut-out chip thickness, and needs less time to remove the chips. This avoids the excessive heating of the piece by the smaller contact time.

If the abrasive discs temporal penetration rate of the abrasive disc in the material increases, the cutting equivalent thickness is also raised, that is proportional to the maximum cut-out chip thickness.

CONCLUSIONS

From this study, we can conclude that the removed material volume, spent abrasive disc volume and diametrical loss of the abrasive disc are practically the same when using constant or variable speed.

The cutting speed influences significantly the cutting time because of the cutting phenomenology modifications provoked by the abrasive disc cutting surface in the material. For constant cutting speed, the cut-out chips number per time unit is constant and with reduced thickness. For variable cutting speed the cut-out chips number reduces. With smaller cutting time the chip thickness is bigger.

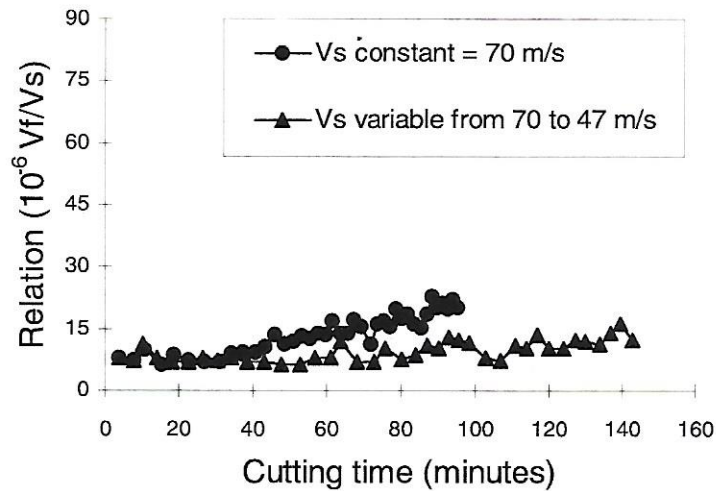


Figura 06: Relação entre V_f/V_s e tempo de corte

Figure 06: Relation between V_f/V_s and cutting time.

A velocidade de corte não influencia no volume de material removido e volume de disco abrasivo gasto, mas afeta diretamente o número de cavacos arrancados por unidade de tempo.

A espessura equivalente de corte h_{eq} , que está diretamente relacionada com a espessura do cavaco arrancado pelo disco abrasivo, foi observada durante os ensaios através de relação V_f/V_s . Portanto, trata-se de uma relação que, neste trabalho, foi analisada experimentalmente e pode-se verificar que exerce influência no comportamento do disco abrasivo.

A relação V_f/V_s aumenta com o tempo de corte para as duas condições de velocidade de corte. Para velocidade de corte variável, a relação V_f/V_s aumenta de forma lenta. O tempo de corte é maior, aquecendo mais a peça pelo maior tempo de contato. Para velocidade de corte constante, a relação V_f/V_s cresce de forma mais acentuada, que corresponde ao aumento de V_f . Neste caso os danos térmicos são menores.

The cutting speed does not influence the removed material volume and the spent abrasive disc volume, but it directly affects the number of cut-out chips per time unit.

The cutting equivalent thickness h_{eq} , which is directly related to the cut-out chip thickness by the abrasive disc, was observed during the trial using the relation V_f/V_s . Therefore, it is a relation that, in this study, was experimentally analysed and it is possible to verify that it has influence on the behaviour of the abrasive disc.

The relationship V_f/V_s increases with the cutting time for both cutting speed conditions. For variable cutting speed, the relationship V_f/V_s increases in a slow way. The cutting time is bigger and the piece gets great heating because of the longer contact time. For constant cutting speed the relationship V_f/V_s raises in a great accentuated way, corresponding to the increase of V_f . In this case thermal damages are smaller.

A otimização da vida dos discos abrasivos, controlando-se a rotação do motor de acionamento, é de fácil implementação no meio industrial e permite ganhos significativos no tempo de corte (49,63%).

Usualmente as máquinas utilizadas em operações do tipo "cut-off" não possuem controle da rotação do eixo árvore. Isto faz com que a velocidade de corte seja sempre variável, aumentando o tempo de corte. Isto torna o corte oneroso pela diminuição do número de cavacos arrancados por unidade de tempo. Uma análise financeira específica, para cada caso industrial, pode ser útil para economia e melhoria no desempenho de discos abrasivos, já que para a utilização de velocidade de corte constantes são necessários investimentos na aquisição de um conversor de frequência e equipamentos de proteção para a máquina e, principalmente, seu operador.

AGRADECIMENTOS

Manifestamos nossos agradecimentos ao **CNPq** (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento), **FUNDUNESP** (Fundação Para o Desenvolvimento da UNESP) e as empresas **NORTON** e **KOHLBACH** pelo apoio material e técnico gentilmente cedido para a realização deste trabalho.

NOMENCLATURA

A = área de contato num dado instante entre o disco abrasivo e o material [mm²]

b = largura média do topo dos grãos abrasivos [mm]

C = número de grãos abrasivos por

The analysis of the abrasive disc's behaviour by controlling the electrical motor is an easy method to control and it permits significant gains in cutting time (49,63%).

Usually the machines used in cut-off operations do not have a tree shaft rotation control. This makes the cutting speed always variable, increasing the cutting time. It makes the cutting more expensive because of the reduction in the cut-out chips number per time unit. A specific financial analysis for each industrial case could be very helpful for economy and performance improvement of the abrasive discs, since for the use of constant cutting speed, investments are necessary to get a frequency converter and protective equipment for the machine and, of course, for its operator.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank the **CNPq**, **FUNDUNESP** and all the **KOHLBACH** and **NORTON** Companies for the material and technical support which they have kindly given to this study.

unidade de área [N°/mm^2]

d_s = diâmetro do disco abrasivo [mm]

d_c = diâmetro do material [mm]

F_{11g} = força tangencial de corte num grão abrasivo [N]

G = relação $\frac{Z_w}{Z_s}$ [—]

Q_w = taxa de remoção de material no tempo [mm^3/s]

Q_w' = taxa de remoção específica de material no tempo [$mm^3/mm.s$]

h_{eq} = espessura equivalente de corte [mm]

h_{max} = espessura teórica máxima do cavaco [mm]

K_s = pressão específica de corte [N/mm^2]

K_n = tensão de escoamento do metal da peça [N/mm^2]

l_c = comprimento de contato entre o disco abrasivo e o material [mm]

L = espaçamento médio entre os grãos abrasivos [mm]

N = número de cavacos arrancados por unidade de tempo [N°/s]

t = largura do disco abrasivo [mm]

V_s = velocidade de corte [m/s]

V_f = taxa temporal de penetração do disco abrasivo no material [m/s]

Z_w = volume de material removido [mm^3]

Z_s = volume de disco abrasivo gasto [mm^3]

δ = penetração do disco abrasivo no material [mm]

μ = coeficiente de atrito entre o grão e a peça [—]

em retificação. São Carlos: EESC, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).

BIANCHI, E.C. Ação da geometria teórica do cavaco no desgaste de rebolos de CBN com ligante resinóide. São Carlos: EESC, 1992. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica).

BIANCHI, E.C.; YOKOYAMA, E.M.; SANCHEZ, L.E.A.; GONÇALVES, G.M.B.; KOBAYASHI, Y.; FERNANDES, O.C.; VALARELLI, I.D.D.; AGUIAR, P.R. Otimização do processo de corte com discos abrasivos. Congresso Norte Nordeste de Engenharia Mecânica, IV. Recife/PE, de 17 a 20 de junho de 1996. p 301 - 306.

HAHN, R.S. The effect of wheel-work conformity in precision grinding. Transaction of the ASME, v.77, 1955.p.13-25.

MALKIN, S. Grinding technology: theory and applications of machining with abrasives. England: Ellis Horwood limited, 1989. 275p.

PETERS, J.; DECNEUT, A. L'espaisseur de coupe equivalente, parametre determinat in rectification. Mechaniques Materiaux eletricité, v.58, n. 310, 1975. p. 22-30.

SNEE, J. Are You Making the Most of Your Cut-Off Operation?. Welding Journal, February, 60-62, 1991

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, A.M. Sistema para avaliação de desempenho térmico de pares rebolo - peça