

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO CENTERLESS NO DESBASTE DE HASTES DE AMORTECEDORES

Alessandro Rascalha, arascalha@hotmail.com¹
Flávio Bonato Pereira, flavio.bonato@marellicofap.com.br¹
Everaldo Araújo Dias, everaldo.dias@marellicofap.com.br¹
Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br²

¹Magnetti Marelli Cofap - Rua Rosa Kasinski, 865 - Distrito industrial de lavras

²Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ – Praça Frei Orlando, 170 - centro

Resumo. *O processo de retificação é um dos mais complexos processos de usinagem devido ao fato de apresentar uma ferramenta abrasiva com diversos grãos que são distribuídos aleatoriamente em toda circunferência e superfície do rebolo. Os processos de retificação podem ser classificados em retificação plana, cilíndrica e centerless sendo o último o que apresenta mais complexidade durante a usinagem. Esse trabalho tem como objetivo estudar o aumento da vida útil de rebolos no processo de retificação centerless de desbaste na fabricação de hastes de amortecedores. Foram utilizados rebolos resinóides com duas estruturas distintas, a primeira era formada por uma ferramenta com dois anéis e a segunda uma ferramenta formada por cinco anéis paralelos. Hastes de amortecedores de aço C45K endurecidas com diâmetro de 12,8 mm e comprimento médio de 320 mm foram usadas como amostras. Como variável de resposta avaliou-se o desempenho da ferramenta em relação ao número de peças produzidas. Pode-se constatar que a segunda ferramenta apresentou desempenho de 10,6% no aumento de peças produzidas, sendo que para os dois processos foi desconsiderado o processo de dressagem, devido ao fato da alta remoção de material torná-lo autodressável. Além disso, o maior número de anéis proporcionou uma facilidade na montagem do conjunto de rebolos com uma condição ergonômica mais favorável.*

Palavras chave: *Retificação Centerless, Produtividade de Rebolos, Dressagem, Granulometria.*

1. INTRODUÇÃO

As indústrias de autopeças representam um segmento importante dentro do cenário automobilístico mundial. A crescente competitividade requer constantes esforços para viabilizar os negócios e os trabalhos referentes à redução de custos, melhoria de produtividade e otimização de processos se tornando indispensáveis para melhorar a lucratividade e o fluxo de caixa das empresas. Os processos produtivos bem como os equipamentos necessitam do maior tempo possível de utilização para melhorar a rentabilidade. A busca da melhor relação custo/benefício é imprescindível para garantir a participação no mercado. Dentro deste contexto se destaca o processo de retificação centerless (Hafenbraedl e Malkin, 2001).

Uma grande atenção tem sido dada para descrever mais efetivamente e adequadamente o processo de retificação. O processo de retificação é completamente diferente de processos como torneamento e fresamento, por exemplo. As arestas de corte não têm uniformidade e atuam de forma diferenciada sobre a peça retificada (Kwak et al., 2006). Além disso, o processo de retificação tem seis elementos básicos que influenciam na qualidade do produto retificado como, por exemplo, a retificadora, o rebolo ou ferramenta de usinagem, a peça a ser retificada, o fluido de corte, atmosfera envolvente ao processo de retificação e o centelhamento provocado durante o processo de retificação (Marinescu et al. 2007).

Os esforços durante a retificação resultam de um número de forças individuais entre a aresta cortante do rebolo e a área de contato da peça. O grão do rebolo possui várias arestas de corte e as forças provenientes do contato da aresta de corte do grão e a superfície da peça resulta nas forças normais e tangenciais, sendo que podemos considerar estas forças como forças uniformemente distribuídas. Isso ocorre, devido ao fato de atualmente o número de parâmetros envolvidos no processo de retificação ainda é limitado e com poucas bases de referência. Normalmente os fatores conhecidos estão associados com a vida do rebolo, os tempos de ciclos, a qualidade da peça retificada. Entretanto, para demonstrar como esses parâmetros podem ser usados e entendidos na maioria das vezes esses parâmetros são estudados isoladamente (Marinescu et al., 2004; Malkin, 1989).

A observação direta das forças normais e tangenciais na retificação é interessante para compreender o comportamento estático e dinâmico da máquina e do processo. Observou-se também que dependendo da dureza do rebolo ocorre um desgaste da aresta efetiva de corte não provocando um comportamento assintótico na força normal.

Neste caso de alta remoção, as forças constantes após a fase de ruptura resultam no efeito de auto-dressagem ou que o desgaste da aresta de corte é menor (Hahn, 1984).

Por esta razão o rebolo, em algumas aplicações industriais, é considerado auto-dressável como ocorre no processo de desbaste de hastes na retificação centerless. Como foi citado anteriormente, dependendo da dureza do rebolo, ocorre um desgaste na aresta de corte no grão abrasivo. Ao verificar o processo de fabricação do rebolo foi dada a sugestão de ser realizada uma comparação entre um jogo de rebolo com dois anéis e um jogo com cinco anéis. O objetivo deste trabalho foi aumentar a vida útil dos rebolos através da otimização do processo de fabricação do mesmo. Dentre as etapas do processo de fabricação do rebolo podemos destacar a compactação e queima que são responsáveis pela dureza da peça verde, obtida após a compactação, e pela dureza final obtida após o tratamento térmico.

Dentro do contexto de otimização do processo de retificação centerless, é importante salientar que o processo é normalmente utilizado na etapa final da cadeia produtiva. Este processo confere à peça características dimensionais de alta precisão, como por exemplo, circularidade e acabamento superficial com rugosidade baixa em larga escala produtiva; condições dificilmente obtidas por outros tipos de processo como torneamento, fresamento ou furação (Hitchiner e McSpadden (2005). Pode-se considerar de acordo com Souza et al. (2004) o erro geométrico na superfície é afetado por efeitos térmicos e rigidez da máquina ferramenta. Condições empíricas são convencionalmente validadas na prática para definir parâmetros de usinagem. Entretanto, essas condições tornam o processo com alto custo e sem condição de determinar o ponto ótimo de trabalho dos equipamentos (Kwak, 2005; Shaji e Radhakrishnan, 2003). Por ser um processo com alto custo de investimento em equipamentos, instalações e mão de obra qualificada, qualquer perda produtiva pode, em alguns casos, inviabilizar a sua utilização.

A complexidade deste processo, conforme pode ser observado na Fig. (1) exige dos profissionais responsáveis pela sua utilização um alto grau de conhecimento para garantir o desempenho esperado. Observando algumas empresas do ramo de fabricação e desenvolvimento de amortecedores verificou-se oportunidades de melhoria nas linhas de produção de hastes retificadas. É importante salientar que as exigências de qualidade por parte da indústria automobilística devem ser analisadas antes de implantar qualquer alteração no processo. A necessidade de agilidade na definição, implantação e utilização dos equipamentos para atender aos prazos de fornecimento impossibilita, em muitos casos, estudos mais profundos de determinados problemas. A carência de comprovações científicas nas empresas pode gerar grandes desperdícios e diminuir a margem de lucro.

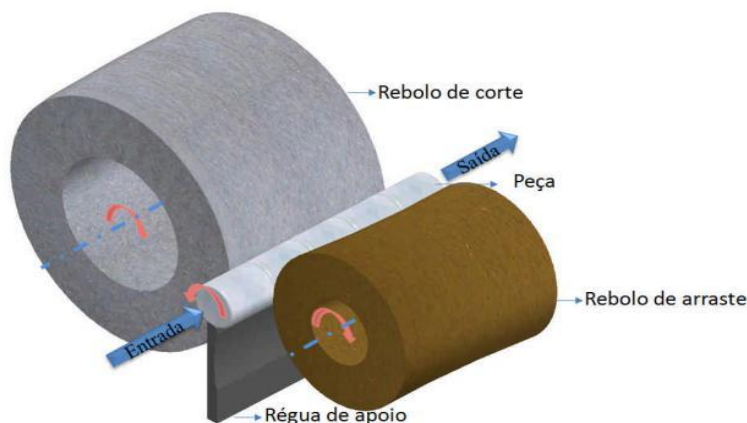


Figura 1. Exemplo de rebolo de corte no processo de retificação centerless (Gonçalves e Miranda, 2007)

2. METODOLOGIA

2.1. Nas linhas de produção de retificação de passagem de hastes de amortecedores o processo de fabricação é dividido em quatro etapas principais sendo:

- 1- O processo de têmpera das hastes, onde normalmente esse processo é realizado por indução no sentido horizontal;
- 2- A correção da retilidade do corpo da haste através de equipamento de desempenho;
- 3- O processo de desbaste (1º passe de retificação) onde o rebolo de corte não é dressado pelo fato desse apresentara uma característica auto-dressável;
- 4- O processo de acabamento (2º passe de retificação responsável pelo diâmetro final e rugosidade) nessa etapa o rebolo tem um sistema de dressagem com dressador conglomerado.

2.2. Os testes de retificação tiveram como objetivo verificar o aumento da vida útil do rebolo comparando-se rebolos com dois anéis e com cinco anéis. Foram efetuados experimentos em uma retificadora centerless de passagem marca CINCINNATI modelo TWIN GRIP 350-20 RK com 75 Hp de potência. A operação foi refrigerada por uma solução de

óleo solúvel emulsionável marca FUCHS-ECOCOOL P1978 com vazão de 130 l/min e faixa de concentração entre 6% a 8%. A Figura (2) mostra um esquema básico das grandezas básicas de uma retificadora centerless de passagem e suas grandezas elementares que são controladas para manter o processo de retificação dentro de parâmetros exatos de produção.

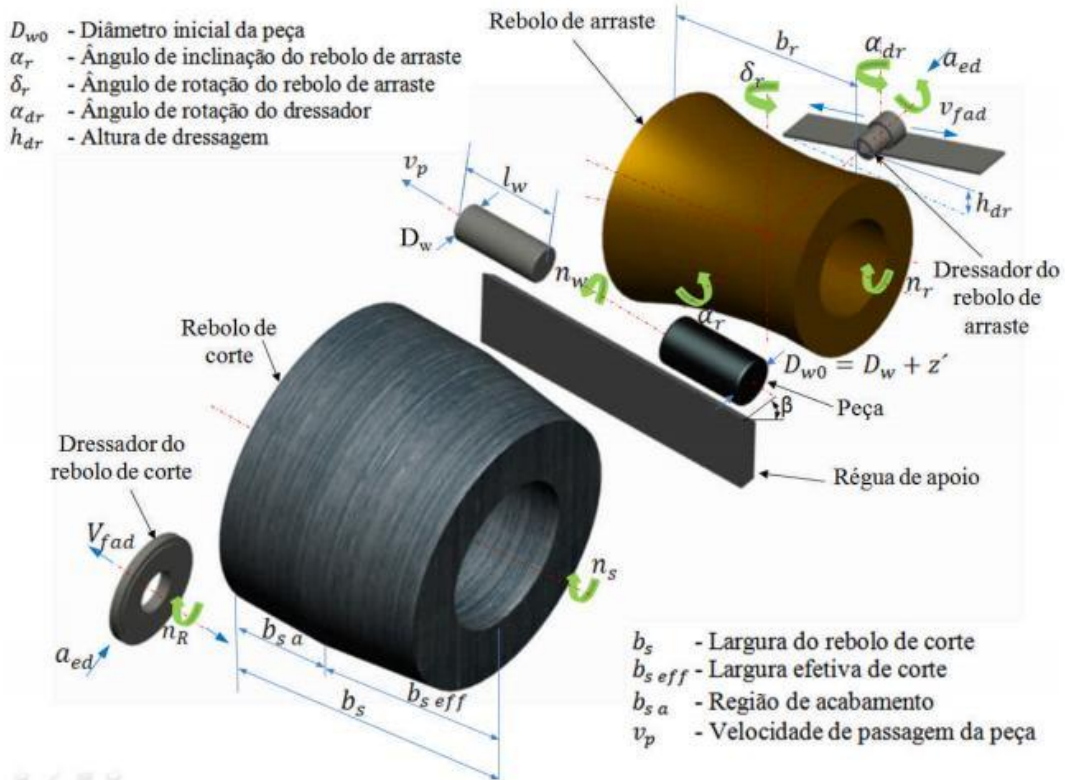


Figura 2. Grandezas elementares de uma retificadora centerless de mergulho (Gonçalves e Miranda, 2007)

2.3. O tipo de reboło utilizado para esta operação é classificado como resinóide e codificado como ART A80 RB24 e dimensões de $\varnothing 609,6 \times 508 \times 304,8$ mm da marca Saint-Gobain Norton. Esse tipo de reboło possui maior índice de friabilidade do grão abrasivo, sendo essa condição o principal fator para contribuir para a auto-dressagem. A velocidade de passagem utilizada foi de 5500 mm/min e a rotação do reboło de 40 m/s. Estes parâmetros foram fixados para serem empregados em todas as etapas experimentais com os dois tipos de rebolos. O processo de dressagem do reboło foi efetuado uma única vez após a substituição do mesmo no início da sua utilização. A velocidade de dressagem utilizada foi de 3,1 m/min em todos os experimentos.

Os experimentos foram realizados efetuando-se quatro réplicas para que se pudesse aplicar um estudo de análise de experimentos (ANOVA). Foram comparados oito jogos de rebolos sendo quatro jogos com dois anéis de 254 mm de largura e quatro jogos com cinco anéis de 101,6 mm de largura. O primeiro passe de retificação definido como desbaste, remove elevada quantidade de material do diâmetro da haste sendo este passe em torno de 0,25mm. Os corpos de prova utilizados foram hastes de aço tipo C45K com a seguinte composição química C=0,45%, Mn=0,50%, Si=0,15%, P=0,045% máximo e S=0,045% máximo e tamanho de grão ferrítico de 5 a 8 – homogêneo (ASTM E112). Os corpos de prova foram temperados com dureza de 75 HRA e a profundidade efetiva de têmpera foi de 500 HV na espessura que varia de 0,5 mm a 1,0 mm da face da haste. O diâmetro de 12,8mm e comprimento médio de 320 mm completam as especificações dos corpos de prova. O período de realização do estudo foi de quatro meses sendo realizado sem interrupções e diretamente na linha de produção. Os jogos de reboło utilizados foram alternados quanto ao número de divisões e as características do equipamento e do lote de matéria-prima foram mantidas constantes no decorrer dos ensaios.

Devido à elevada remoção de material, o consumo deste reboło é bastante representativo no custo auxiliar de produção. A produção básica de rebolos de corte apresenta uma seqüência de fabricação conforme apresentado na Fig. (3). Nesse trabalho vamos considerar um estudo realizado com o modelo de reboło resinóide apresentado na Fig. (4), pelo fato desse ser um reboło típico na linha de produção e com o maior consumo no processo de retificação na etapa de desbaste.

2.4 - Seqüência de fabricação do reboło de corte:

- A) Preparação da mistura, B) Prensagem, C) Secagem e Cura D) Queima E) Controle, F) Acabamento, G) Balanceamento H) Teste de segurança, I) Controle, J) Embalagem e Expedição

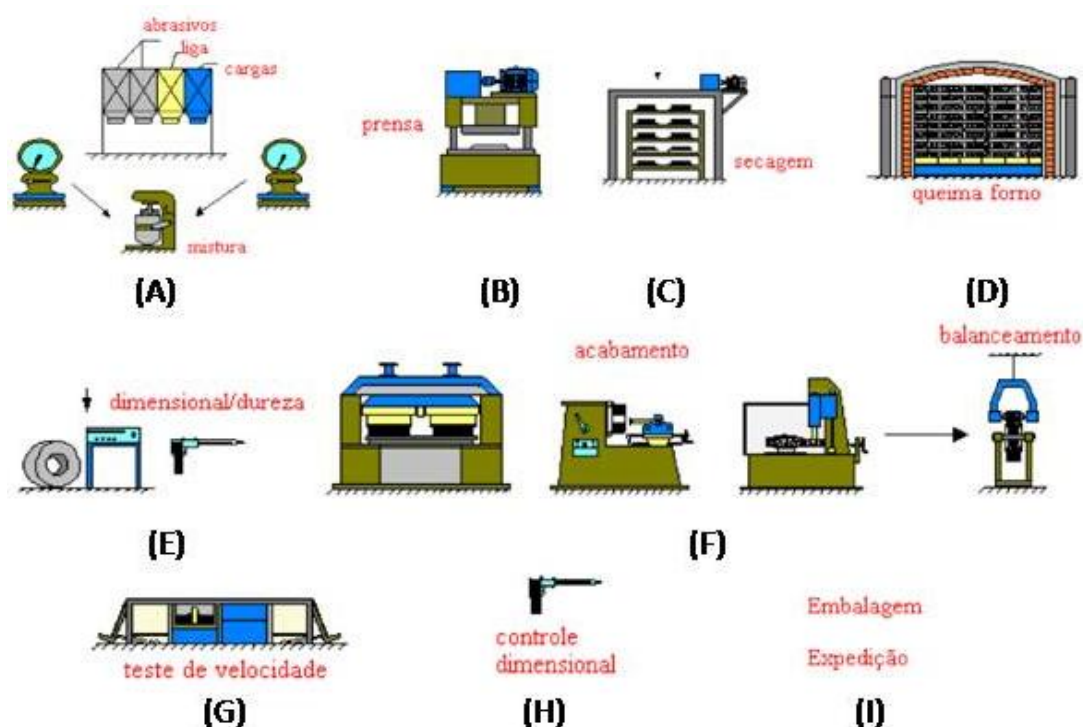


Figura 3. Fluxo do processo de fabricação do rebolo de corte

O processo de fabricação o rebolo originalmente fornecia a ferramenta em duas partes iguais. Ou seja, a compactação, secagem, queima, e demais etapas do processo eram executadas em dois anéis com 254 mm de largura cada. Estudou-se uma possibilidade de melhoria que foi efetuada dividindo-se o rebolo em cinco anéis com 101,6 mm de largura cada, conforme Fig. (4), pois após inúmeras observações foi percebido um desgaste maior próximo do diâmetro médio do rebolo com dimensão aproximada de 500 mm. Com a divisão do rebolo em cinco anéis o comportamento do desgaste do rebolo apresentou-se mais uniforme durante a vida útil.

Esta melhoria ocorre porque o processo de compactação foi efetuado com menor volume de pó no corpo do rebolo o que garante melhor relação de compactação e estrutura mais homogênea. A dureza da peça na condição a verde se manteve mais uniforme por todo o corpo do rebolo. Dentro desta linha de raciocínio foi observado que o processo de queima, que garante a dureza final do rebolo, também foi efetuado em rebolos com massas menores. Isso garante uma distribuição mais uniforme do calor pelo corpo do rebolo e mais uniformidade da dureza no corpo. Através do aumento da vida útil do rebolo houve um ganho de produtividade devido ao aumento do tempo de disponibilidade do equipamento. Com maior vida útil houve uma redução no número de trocas de rebolo por período de utilização.



Figura 4. Rebolo fornecido em 5 anéis

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

A Tabela 1 mostra o comportamento dos jogos de rebolo referente à quantidade de hastes retificadas. A variável de saída estudada foi a quantidade de hastes retificadas em relação ao número de divisões do rebolo. Como este rebolo é

caracterizado como autodressável, a rugosidade das hastes foi mantida dentro do padrão de aceitação das especificações atuais e dentro da qualidade necessária para que fosse efetuada a etapa posterior de acabamento. Foi realizado um estudo de ANOVA para a verificação e comprovação dos resultados. Os valores obtidos foram divididos por 1000.

Tabela 1. Quadro ANOVA

Tratamentos	Quantidades de hastes retificadas				Totais
	1	2	3	4	
1 (2 divisões)	237,300	224,810	249,789	222,320	934,219
2 (5 divisões)	262,279	248,480	276,092	244,997	1.031,848
				Y..	1.966,067
				Y ² ./N=483177,4	

SST=(S ² Y _{ij})-Y ² ./N
SST=485454,5-483177,4
SST=2277,029
SSTRAT=(S ² Y _i /N)-Y ² ./N
SSTRAT=484368,9-483177,4
SSTRAT=1191,428
SSE=SST-SSTRAT
SSE=2277,029-1191,428
SSE=1085,601
F0=(SSTRAT/A-1)/(SSE/N-A)
F0=1191,428/180,9335
F0=6,585
F _{TAB} =F005,1,6
F_{TAB}=5,99

Dessa forma, de acordo com a Tab. (1) pode-se observar que como $F_0 > F_{TAB}$, deve-se rejeitar H_0 , e assim pode-se definir com o método da ANOVA que o rebolo com 5 divisões possui maior vida útil com 95% de confiança. Assim, este método confirma que o tratamento térmico dos rebolos com anéis mais finos gera um produto mais resistente e que permite a produção de um maior número de peças.

3.1. Teste de contraste

Foi efetuado o teste de contraste para verificar a influência do número de divisões em relação às quantidades de hastes, Dessa forma, considerando as variáveis abaixo podemos dizer que:

$$H_0 \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 \mu_1 \neq \mu_2$$

$$S_{sc} = (\sum c_i y_i)^2 / \sum n_i c_i^2$$

$$S_{sc} = (1.1031,848 + (-1).934,219)^2 / 4.(1)^2 + (-1)^2$$

$$S_{sc} = 1191,428$$

$$F_0 = (S_{sc}/v) / S_{erro}/N-A$$

$$F_0 = 1191,428 / 180,93$$

$$\mathbf{F_0 = 6,585}$$

$$F_{TAB} = F_{0,05} 1,6$$

$$\mathbf{F_{TAB} = 5,99}$$

$F_0 > F_{TAB}$, portanto rejeita H_0

Assim, o teste de contraste acima confirma que o número de divisões do rebolo influencia na quantidade de hastes retificadas. Dessa forma, o processo de fabricação passou a ser executado em rebolos com largura de 101,6 mm e o balanceamento final passou a ser efetuado em cinco rebolos onde cada anel representa um rebolo. Antes o rebolo era fabricado e balanceado em apenas dois anéis de 254 mm de largura cada. Nesta largura fornecida anteriormente a

dureza não era uniforme em todo o corpo do rebolo devido ao processo de compactação e queima serem efetuados em corpos com maior volume de material a ser processado. A análise dos resultados mostra que o rebolo com 5 anéis tem maior produtividade, ou seja, uma vida útil maior que o rebolo usado anteriormente com dois anéis. A espessura do rebolo de 101,6 mm foi o fator importante para que se tivesse um controle dos parâmetros durante o tratamento térmico do rebolo influenciando diretamente na dureza. Desta forma, o rebolo com menor espessura apresentou uma dureza média mais homogênea e permitiu que a montagem com 5 anéis tornasse o processo mais produtivo. Neste ensaio a rugosidade média obtida nos corpos de prova foi 5,0 Rz por se tratar de operação de desbaste. Essa operação prepara a haste para o acabamento final onde a rugosidade objetivo é 0,9 Rz.

4. CONCLUSÕES

Conforme os resultados no estudo do processo de retificação centerless usando hastes de amortecedores como corpos de prova, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

- 1 – Ao dividirmos o rebolo em cinco anéis e não em dois anéis como fornecido anteriormente, o processo de queima, que determina a dureza do rebolo, se tornou mais uniforme endurecendo uma quantidade menor de massa de rebolo possibilitando assim, que a dureza permanecesse mais homogênea radialmente e axialmente;
- 2 – A compactação do rebolo que determina a dureza da peça verde também se tornou mais homogênea por compactar menos massa de rebolo.
- 3 – O aumento da vida útil do rebolo foi da ordem de 10,6%. Assim, as trocas de rebolos também foram reduzidas na mesma proporção possibilitando aumento de produtividade.
- 5 – A utilização do rebolo dividido em cinco anéis tornou as trocas mais rápidas por se tornarem mais leves e ergonomicamente mais correto.
- 6 – Em função dessas observações torna-se conveniente a alteração de dois para cinco anéis do rebolo de desbaste para aumentar a vida útil do rebolo e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das linhas de retificação de hastes de amortecedores.

5. REFERÊNCIAS

- Gonçalves, L.M.; Miranda, G.W. 2007, “Software Paramétrico para o Processo de Retificação Centerless de Passagem”. In.: Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica - CIBIM 8º, Cusco – Peru.
- Hafenbraedl, D.; Malkin, S. 2001, “Tecnologia ambientalmente correta para retificação cilíndrica interna”. Revista Máquinas e Metais, p. 40-55, julho.
- Hahn, R. S., 1984, “Application of Force-Adaptive Grinding”, SME Technical Paper MR 84-530.
- Hitchiner, M.P. and McSpadden, S.B. 2005. “Evaluation of Factors Controlling CBN Abrasive Selection for Vitrified Bonded Wheels.” Annals of CIRP.v. 54, 1, G.3.
- Kwak, J.S. 2005. “Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process”. International Journal of Machine Tools & Manufacture. v.45, pp. 327–334.
- Kwak, L.S.; Sim, S.B.; Jeong, Y.D. 2006 “An analysis of grinding power and surface roughness in external cylindrical grinding of hardened SCM440 steel using the response surface method”. International Journal of Machine Tools & Manufacture, v.46, pp. 304–312.
- Malkin, S. 1989. “Grinding Technology Book”. Ellis Horwood, New York.
- Marinescu, I.D.; Hitchiner, M.; Uhlmann, E.; Rowe, W.B.; Inasaki, I. 2007. “Handbook of Machining with Grinding Wheels”. Taylor & Francis Group, 629 pp.
- Marinescu, I.D.; Rowe, W.B.; Dimitrov, B.; Inasaki, I. 2004. “Tribology of Abrasive Machining Processes”. William Andrew Publishing, Norwich, NY.
- Shaji, S.; Radhakrishnan, V. 2003 “Analysis of process parameters in surface grinding with graphite as lubricant based on the Taguchi method, Journal of Materials Processing Technology. v.141(1), pp.51–59.
- Souza, C.N., Catai, R.E., Aguiar, P.R., Salgado, M.H., Bianchi, E.C., 2004, “Analysis of Diametrical Wear of Grinding Wheel and Roundness Errors in the Machining of Steel VC 131”, Journal of The Brazilian Society of Mechanical Science, Vol. 24, N. 2, pp. 209-212.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

OPTIMIZATION OF CENTERLESS GRINDING PROCESS IN ROUGHING OF RODS OF SHOCK ABSORBERS

Alessandro Rascalha, arascalha@hotmail.com¹
Flávio Bonato Pereira, flavio.bonato@marellicofap.com.br¹
Everaldo Araújo Dias, everaldo.dias@marellicofap.com.br¹
Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br²

¹Magnetti Marelli Cofap - Rua Rosa Kasinski, 865 - Distrito industrial de lavras

²Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ – Praça Frei Orlando, 170 - centro

Resumo. Grinding process is one of the most complex machining processes because it presents an abrasive tool with several grits, which has a randomly distribution in the circumference and area of the wheel. Grinding process can be classified into plane, cylindrical, and centerless with the last being that has more complexity during machining. This study aims to evaluate the increase of the life of grinding wheels in the centerless grinding process of roughing in the manufacture of shock absorber rods. Resinoid grinding wheels with two distinct structures were tested, the first tool was formed with two rings, and a second consisted of five rings. Rods of shock absorber of C45K steel with 12.8 mm of diameter and 320 mm of length were used as specimen. The output parameter was the performance of tool related with the number of specimens grinded. It can be observed that the tool show an increase of 10.6% in the produced specimens, being that for both process was dismissive the dressing operation because the high material removal rate make it autodressing. Moreover, the high number of rings generated an easiest assembly with an ergonomic condition more favorable.

Key-words: Centerless Grinding, Grinding Wheel Productivity, Dressing, Grit Size.