



## EFEITO DOS PARÂMETROS DE CORTE NA USINAGEM DAS SEDES DE VÁLVULAS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA UTILIZANDO FERRAMENTAS DE CBN

**Cláudio Araújo Rocha**

[claudio.rocha@fiat.com.br](mailto:claudio.rocha@fiat.com.br) - FIAT Automóveis S.A. – Belo Horizonte, MG, Brasil.

**Clovis Sperb de Barcellos<sup>1</sup> e Wisley Falco Sales<sup>2</sup>**

(1) [clovis@pucminas.br](mailto:clovis@pucminas.br) e (2) [wisley@pucminas.br](mailto:wisley@pucminas.br) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas, Belo Horizonte, MG, Brasil.

**Resumo.** A qualidade da superfície produzida na região de assentamento das válvulas dos cabeçotes de motores a explosão é de fundamental importância no desempenho destes, o mesmo ocorrendo em relação às características dimensionais relacionadas aos desvios geométricos como oscilação e circularidade. Essas características influenciam diretamente na estanqueidade produzida pelo contato (assentamento) entre a válvula (móvel) e a sede (fixa). A sede da válvula é de aço, obtido pela metalurgia do pó com dureza Vickers 300 kgf/mm<sup>2</sup>. Foram utilizadas ferramentas de CBN e velocidade de corte média de 161 m/min. Foram investigados os efeitos dos parâmetros de usinagem como velocidade e profundidade de corte e avanço, o máximo desgaste de flanco das ferramentas e os parâmetros de topografia de superfície. Foram medidos  $VB_{Bmáx}$ ,  $R_a$ ,  $R_t$  e  $W_t$ . Dentre os parâmetros avaliados o avanço, foi o que mais influenciou a rugosidade da sede, enquanto a velocidade de corte demonstrou que quanto maior o seu valor melhor a qualidade da superfície usinada. Quanto ao desgaste, a combinação entre o maior avanço e menor velocidade de corte foi a condição mais crítica. Nessa situação, foi verificada a presença do desgaste de flanco e de cratera.

**Palavras-chave:** Motores de combustão, Sede de válvulas, CBN, Topografia da superfície.

### 1. INTRODUÇÃO

A concorrência é a palavra de ordem do mercado automobilístico e para sobreviver a essa competição a redução de custo e garantia da qualidade dos produtos são fundamentais.

O cenário atual do mercado automobilístico indica que, nos próximos anos, o diferencial entre as montadoras se dará nos custos de produção e comercialização dos produtos, pois no campo da tecnologia e da qualidade dos veículos existe uma tendência à equiparação entre essas fábricas. Além do mais, é cada vez mais crescente a necessidade da melhoria da durabilidade e desempenho dos motores automotivos.

Dessa forma, o conhecimento da influência dos parâmetros de usinagem na performance dos motores de combustão interna passa a ter uma importância realçada, pois existe uma série de teorias sobre o comportamento da região onde ocorre o assentamento da válvula no

cabeçote motor. Porém, não temos ampla literatura que explique claramente o que os erros de formas e parâmetros de rugosidade provocados pela variação desses fatores da usinagem contribuem para o desempenho da potência.

Em sistema de múltiplas válvulas, os diâmetros das válvulas são menores e os materiais a serem usinados cada vez mais duros. Essas condições e a necessidade por velocidades de corte mais altas exigem, cada vez mais, maiores esforços sobre as ferramentas empregadas no processo de fabricação.

O objetivo deste trabalho é mostrar a influência dos parâmetros de corte, avaliando-se as características dimensionais (parâmetros superficiais e erros de forma) na sede de válvulas, sobre o desempenho dos motores de combustão interna. Com isso, mediu-se os parâmetros de topografia de superfície, avaliada por meio de  $R_a$ ,  $R_t$  e  $W_t$ . Analisou-se também o desgaste das ferramentas, por meio de  $VB_{Bmáx}$  e com base nestes parâmetros, buscou-se encontrar o conjunto que propiciasse as melhores características da superfície e de produção.

## 2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O experimento foi realizado em cabeçotes de motores 1.3 16V FIRE, produzido pela *FIAT Automóveis S/A.* As sedes de válvulas de admissão são fabricadas de um material obtido pela metalurgia do pó, especificação M657BA.12T, conforme norma de produção FIAT Itália. A Tabela 1 mostra a composição química percentual, densidade e dureza. As sedes são montadas no cabeçote motor através de um processo de resfriamento a base de nitrogênio líquido, à temperatura de  $-196^{\circ}\text{C}$ .

Tabela 1- Composição química média do material da sede de válvula

%C	%Mo	%Ni	%Cu	%S	%Cr	%W	%Fe	% outros	Densidade $\text{g/cm}^3$	Dureza HB
0.80~1.2	0.30~0.6	0.30~0.7	8.0~12.0	0.20~0.5	-----	-----	Restante	2.0% $\geq$	$\geq 7.0$	220~320

Os testes de usinagem foram realizados em uma linha *Transfer*, da célula de manufatura do cabeçote motor FIRE 16V em regime de produção normal.

As ferramentas foram fornecidas pela De Beers na forma de plaquetas de 1,5 mm de espessura brasadas sobre um substrato de metal duro. Apresenta dureza Knoop de  $2750 \text{ kg/mm}^2$ , com percentual de CBN aproximadamente em um volume de 50% e da classe DBC50. Os demais elementos são: 40% TiC, 6% WC e 4%  $\text{AlB}_2 / \text{AlN}$ .

O teste consistiu em examinar os parâmetros superficiais das sedes de válvulas de admissão após estas serem submetidas a diversas condições de usinagem. Os parâmetros de corte avaliados foram: avanço ( $f$ ), profundidade de corte ( $a_p$ ) e velocidade de corte ( $v_c$ ).

Toda a investigação experimental foi dividida em duas etapas distintas:

### 2.1. Primeira etapa - profundidade de corte fixa em 0,1 mm

Na primeira etapa, fixou-se a profundidade de corte em 0,1 mm. Foram usinadas 45 peças separadas em grupos de 5 peças. Cada grupo foi usinado segundo uma combinação entre o avanço e a velocidade de corte. Os valores de  $f$  utilizados foram: 0,0495; 0,055 e 0,0605 mm/rev, enquanto que as  $v_c$  foram: 129; 161 e 193 m/min. Para cada sub-grupo de peças, a ferramenta utilizada era nova e a cada peça fabricada era medida a evolução do desgaste de flanco,  $VB_{Bmáx}$ , até o fim da vida útil, cujo critério estabelecido foi baseado nos parâmetros superficiais e de estanqueidade da sede estabelecidos em projeto.

O instrumento utilizado para medição do desgaste de flanco da ferramenta, foi o *Optical Measurement Inspection System* fabricado pela *RAM Optical Instrumentation INC.*

A topografia da superfície foi avaliada por meio da rugosidade média aritmética,  $R_a$ , da amplitude entre o pico mais alto e o vale mais profundo da superfície dentro de um comprimento de amostragem (Dagnall, 1998),  $R_z$ , e das ondulações  $W_t$ . Esses valores foram medidos com o Perfilômetro 58P 5.6 fabricado pela *Perthen Mahr* com *cut-off* de 0,25 mm. Todos os instrumentos são do laboratório de metrologia da FIAT Automóveis S/A.

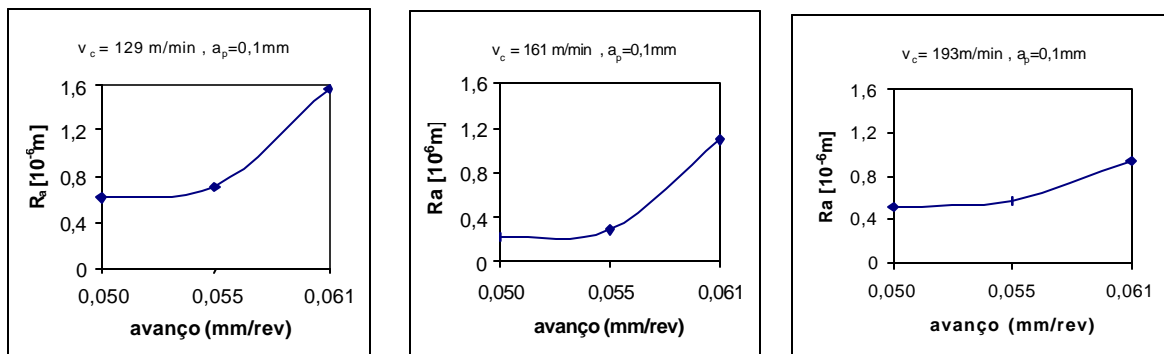
## 2.2. Segunda etapa – profundidade de corte fixa em 0,2 mm

A segunda etapa de testes, de usinagem consistiu em alterar o  $a_p$  para 0,2 mm e repetida a mesma seqüência de testes e equipamentos de controle utilizada na primeira etapa.

Foram observadas, nas ferramentas de corte, diversas formas e mecanismos de desgastes. A forma predominante foi o desgaste de flanco medido por meio de  $VB_{Bmáx}$ .

## 3. RESULTADOS

As Figuras 1 (a), (b) e (c) mostram o comportamento da rugosidade,  $R_a$ , com o avanço em três diferentes velocidades de corte, para a profundidade  $a_p = 0,1$ mm.



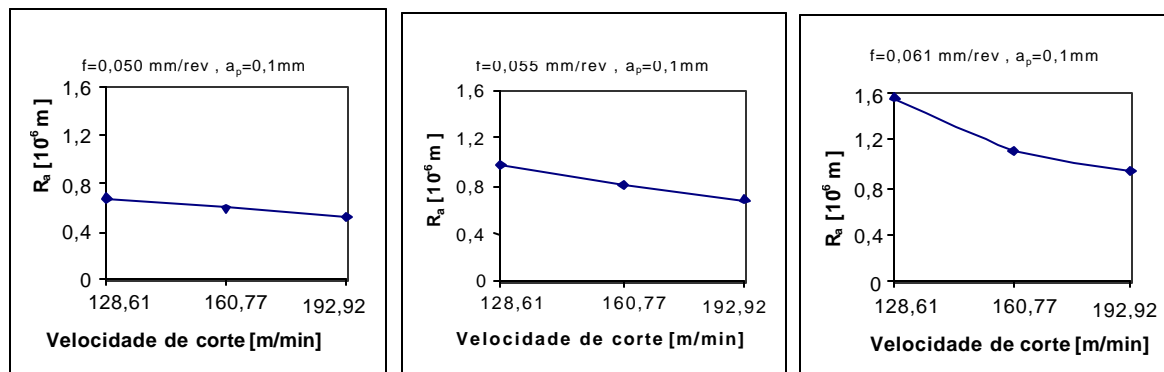
a)  $v_c = 129$  m/min

b)  $v_c = 161$  m/min

c)  $v_c = 193$  m/min

Figura 1–Comportamento de  $R_a$ , com o  $f$  em três diferentes  $v_c$ .

As Figuras 2 (a), (b) e (c) mostram o comportamento da rugosidade,  $R_a$ , com a velocidade de corte em três diferentes avanços, para a profundidade  $a_p = 0,1$ mm.



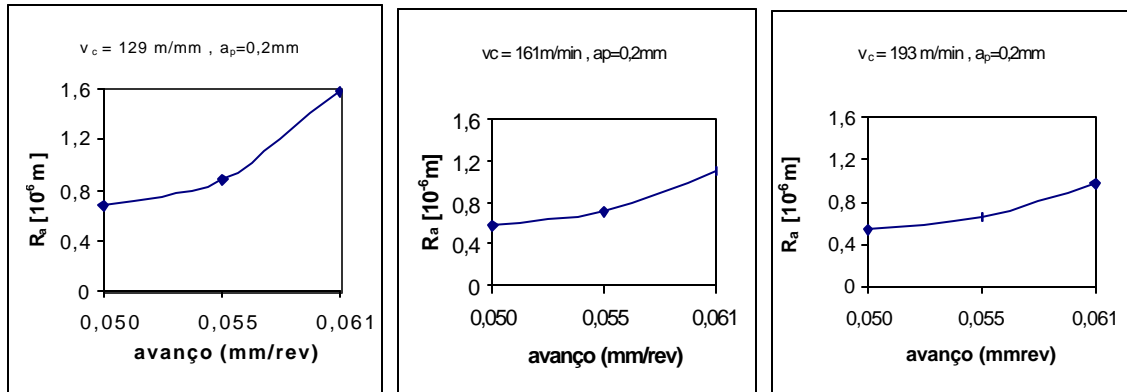
a)  $f = 0,05$  mm/rev

b)  $f = 0,055$  mm/rev

$f = 0,061$  mm/rev

Figura 2–Comportamento de  $R_a$ , com a  $v_c$  em três diferentes  $f$ .

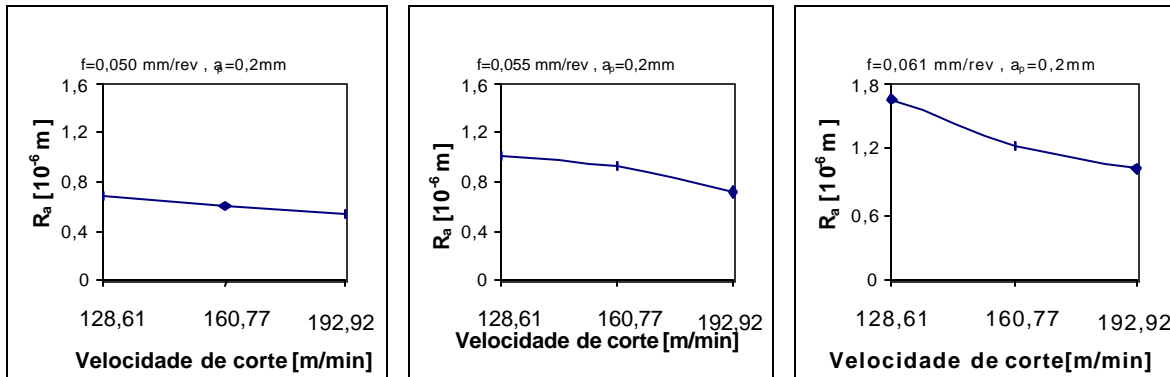
As Figuras 3 (a), (b) e (c) mostram o comportamento da rugosidade,  $R_a$ , com o avanço em três diferentes velocidades de corte, para a profundidade  $a_p = 0,2$ mm.



a)  $v_c = 129$  m/min      b)  $v_c = 161$  m/min      c)  $v_c = 193$  m/min

Figura 3 - Comportamento de  $R_a$ , com o  $f$  em três diferentes  $v_c$ .

As Figuras 4 (a), (b) e (c) mostram o comportamento da rugosidade,  $R_a$ , com a velocidade de corte em três diferentes avanços, para a profundidade  $a_p = 0,2$  mm.



a)  $f = 0,05$  mm/rev      b)  $f = 0,055$  mm/rev      c)  $f = 0,061$  mm/rev

Figura 4 - Comportamento de  $R_a$ , com a  $v_c$  em três diferentes  $f$ .

A Figura 5 mostra os resultados da evolução do desgaste de flanco da ferramenta,  $VB_{Bmáx}$ , de CBN e da rugosidade média aritmética,  $R_a$ , na condição de usinagem cujos os parâmetros de corte ( $f = 0,055$  mm/rev;  $v_c = 161$  m/min;  $a_p = 0,1$  mm) apresentaram os melhores resultados de desgaste e rugosidade.

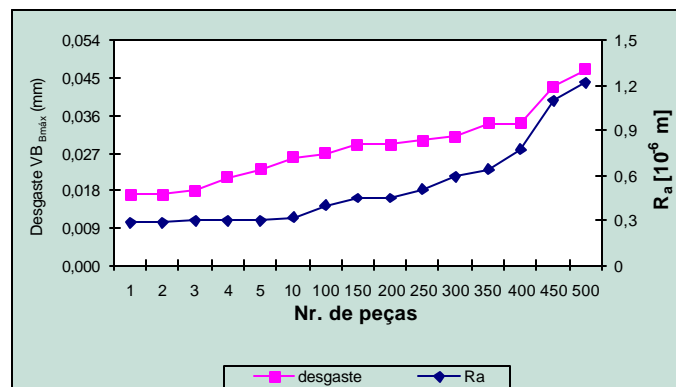


Figura 5 – Comportamento do desgaste de flanco da ferramenta ( $VB_{Bmáx}$ ) e da rugosidade da peça com o número de peças para  $f = 0,055$  mm/rev;  $v_c = 161$  m/min e  $a_p = 0,1$  mm.

A Figura 6 mostra os resultados da evolução do desgaste de flanco da ferramenta,  $VB_{Bmáx}$ , de CBN e da rugosidade média aritmética,  $R_a$ , na condição de usinagem cujos os

parâmetros de corte ( $f = 0,060$  mm/rev;  $v_c = 129$  m/min;  $a_p = 0,2$  mm) apresentaram os piores resultados de desgaste e rugosidade.

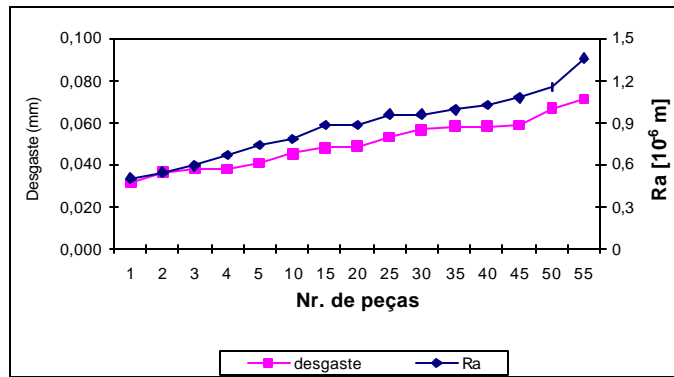
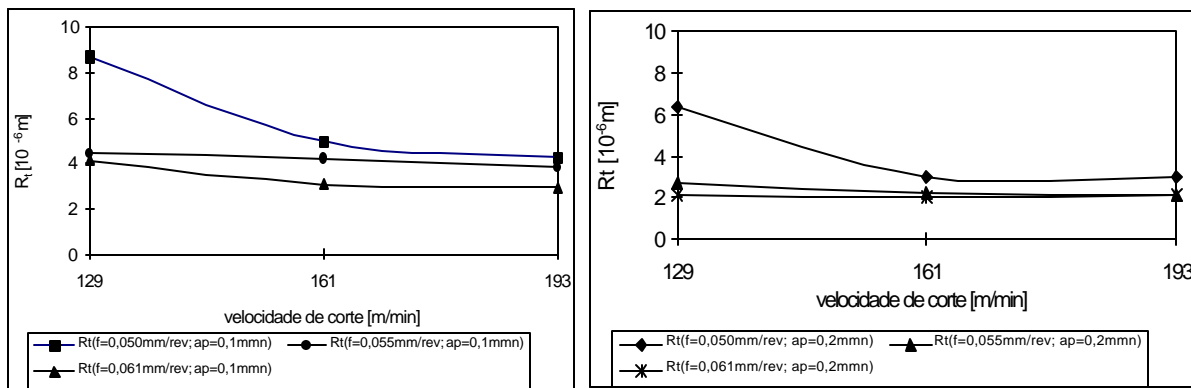


Figura 6 – Comportamento do desgaste de flanco da ferramenta ( $VB_{Bmáx}$ ) e da rugosidade da peça com o número de peças para  $f = 0,060$  mm/rev;  $v_c = 129$  m/min e  $a_p = 0,2$  mm.

As Figura 7 mostra o comportamento da  $R_t$  com a velocidade de corte em três diferentes avanços para as profundidades de corte de 0,1mm (a) e 0,2 mm (b), respectivamente.



a)  $a_p = 0,1$  mm

b)  $a_p = 0,2$  mm

Figura 7 - Comportamento da rugosidade,  $R_t$ , com a  $v_c$  em três diferentes  $f$ .

A Figura 8 mostra o comportamento das ondulações  $W_t$  (Mummery,1992), da superfície, com a velocidade de corte em três diferentes avanços e para profundidade de corte de 0,1 mm.

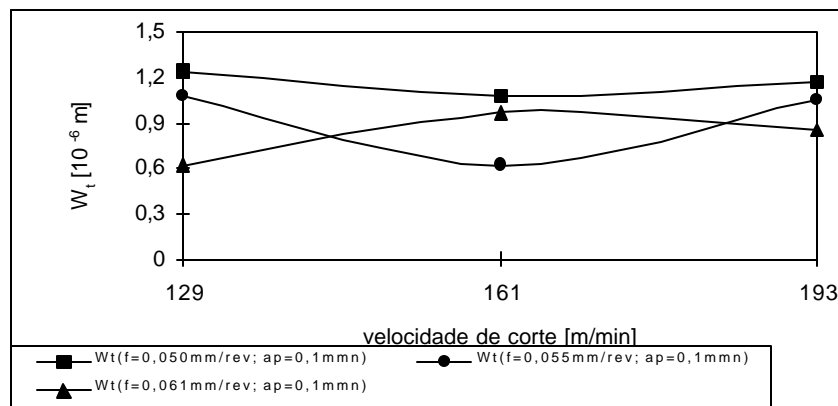


Figura 8 - Comportamento das ondulações,  $W_t$ , com a  $v_c$  em três diferentes  $f$ .

Com os parâmetros de corte  $a_p=0,2$  mm,  $v_c=128,61$  m/min e  $f=0,060$  mm/rev a ferramenta de corte apresentou evidências de desgaste de flanco e início de craterização

(Figura 9) e com os parâmetros de corte  $f= 0.055$  mm/rev,  $v_c=161$  m/min,  $a_p=0,1$  mm foi obtida a melhor condição de desgaste em relação a produtividade da ferramenta (Figura 10).

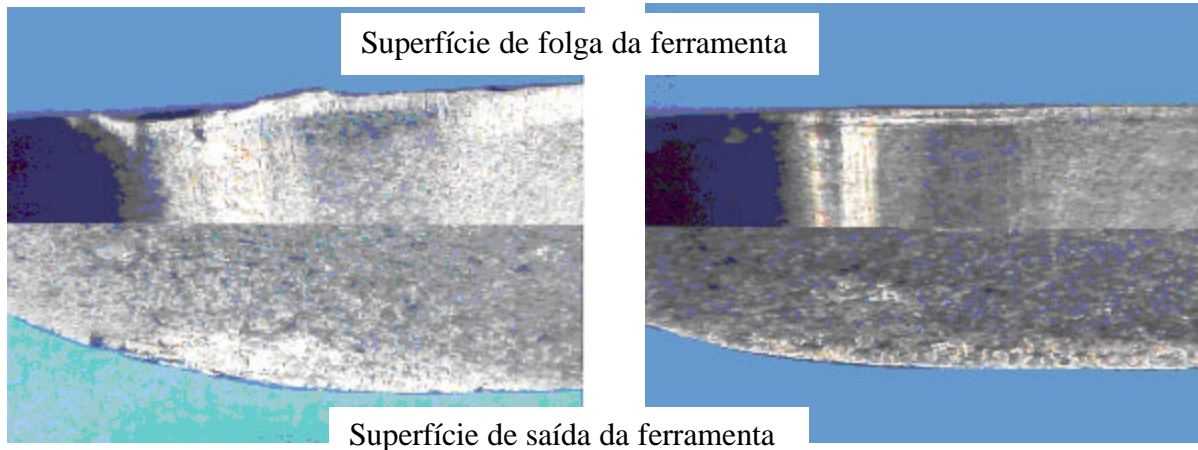


Figura 9 – Pior condição avaliada

Figura 10 - Melhor condição avaliada

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando os resultados dos grupos de peças para um mesmo valor de profundidade de corte (Figuras 1,2 e 3), observa-se que para a mesma faixa de velocidade de corte, quanto maior o avanço maior o valor da rugosidade da superfície usinada. Para a velocidade de corte de 129 m/min associada ao avanço mais alto temos os maiores valores de desgastes. Na faixa de velocidade de corte de 193 m/min quanto maior o avanço maior o desgaste, porém os valores encontrados são menores que os apresentados para  $v_c = 129$  m/min. Em termos de produtividade, quanto menor a velocidade de corte, menor a produtividade da ferramenta. Esse comportamento vale para qualquer faixa de velocidade de corte quando associada a valores de avanços mais altos. A melhor faixa de trabalho é uma combinação com velocidade de corte em torno de 161 m/min e avanço de 0,055mm/rev e profundidade de corte 0,1 mm o que resultou em uma produtividade de 500 peças e menor desgaste de ferramentas. Com esses parâmetros, para qualquer valor de avanço, a ferramenta atingiu a produtividade 500 de peças, porém quanto maior o avanço maior o desgaste.

Mantendo-se o mesmo avanço, quanto menor a velocidade de corte maior o desgaste da ferramenta. Essas análises realizadas têm o mesmo significado, independente dos valores de profundidade de corte, porém quando observamos para a mesma faixa de velocidade de corte, quanto maior a profundidade de corte, maior será o desgaste e, conseqüentemente, menor a produtividade da ferramenta. Na comparação entre os grupos com mesmos avanços e velocidade de corte, aquele que apresentou maior profundidade de corte teve maior desgaste e menor produtividade de ferramentas.

A análise dos resultados mostra que quando a velocidade de corte aumenta, há a tendência de melhorar o acabamento (Figuras 1, 2, 3 e 4). Em baixas velocidades de corte sugere a ocorrência da aresta postiça de corte (APC) que deixa microrebarbas, originadas das microtrincas responsáveis pela formação da APC, sobre a peça e elevados valores de rugosidade,  $R_a$ . O aumento de  $v_c$  promove a elevação da temperatura na interface cavaco-ferramenta, reduzindo a resistência ao cisalhamento do material da peça nos planos de cisalhamento primário e secundário, reduzindo as forças necessárias para prosseguir o cisalhamento. A partir de determinada  $v_c$ , o material se comporta como um fluido viscoso e necessita-se somente vencer a tensão de escoamento no cisalhamento do material no plano

secundário. A partir daí, a  $v_c$  não apresenta mais influência nas forças, vibrações e conseqüentemente no acabamento da superfície gerada (Trent, 1991).

O avanço é o que mais influência no acabamento superficial, pois a altura dos picos e a profundidade dos vales são marcas do avanço (Diniz et al, 1999 e Machado e Da Silva, 1999). À medida que se aumenta a profundidade de corte, há aumento das áreas dos planos de cisalhamento primário e secundário e conseqüente aumento das componentes da força de usinagem e dos níveis de vibrações. Nesse caso específico, a aresta de corte trabalha em balanço tornando a máquina operatriz altamente sensível a pequenas alterações nos níveis de vibrações auto-excitadas e conseqüentemente, nos parâmetros de topografia de superfície, piorando o acabamento da superfície usinada (Trent, 1991, Machado e Da Silva, 1999). As Figuras 1,2,3 e 4 mostram essas situações.

As Figura 5 e 6 mostram que o aumento do desgaste de flanco,  $VB_{Bmáx}$ , promove um aumento na rugosidade,  $R_a$ , da superfície da sede da válvula. Isto ocorre, devido à evolução do desgaste que desfigura a geometria da aresta cortante da ferramenta e conseqüentemente, influencia diretamente na área de contato cavaco-ferramenta, nas forças de corte e determina um possível aumento no nível de vibrações do conjunto ferramenta-peça. Tudo isso contribui fortemente para piorar o acabamento da superfície usinada e aumentando  $R_a$  (Shaw, 1984).

O comportamento do parâmetros de superfície  $R_t$  e  $W_t$  foram mostrados nas Figuras 7 e 8. Nessas figuras, observa-se que o aumento da velocidade de corte e do avanço apresentam a tendência de melhora do acabamento da superfície e reduzindo  $R_t$ . Nakayama e Shaw (1966), monitorando esses parâmetros com outros objetivos, chegaram a resultados similares. Os avanços utilizados na usinagem das sedes de válvulas são pequenos, quando comparados com as profundidades de corte. O avanço está entre 1,63 a 4 vezes menor.

O comportamento de  $W_t$  não mostrou uma tendência definida, conforme mostrado na Figura 8. Em pequenos avanços ( $f = 0,050$  mm/rev),  $W_t$  se manteve praticamente invariável com a  $v_c$ . Em médios avanços ( $f = 0,055$  mm/rev), houve uma pequena queda em  $v_c = 161$ m/min e voltou novamente a crescer com o aumento de  $v_c$  para 193m/min. Comportamento inverso foi observado para os maiores avanços ( $f = 0,061$  mm/rev).

A análise dos resultados de todos os testes, nas diversas condições de usinagem, mostrou que os parâmetros de corte que apresentaram comportamento mais favorável ao processo produtivo foram os seguintes:  $f = 0,055$  mm/rev,  $v_c = 160,77$  m/min,  $a_p = 0,1$  mm. Nessa situação, houve um aumento da produtividade da ferramenta em 100%, passando a usinar 500 peças a cada troca de ferramenta, conforme mostrado na Fig. 5.

A pior condição de usinagem foi com  $v_c = 129$  m/min,  $a_p = 0,2$  mm e  $f = 0,055$  mm/rev e com isso apresentou a menor produtividade, pois após a produção de 55 peças ocorreu um lascamento que impossibilitou a continuidade da fabricação das peças (Figura 6).

## 5. CONCLUSÕES

- ❑ O aumento do avanço e da profundidade de corte aumentaram a rugosidade,  $R_a$ , enquanto um comportamento inverso foi encontrado para a velocidade de corte.
- ❑ O aumento do avanço e da velocidade de corte reduziram a rugosidade máxima,  $R_t$ , enquanto as máximas ondulações,  $W_t$ , não mostraram uma tendência definida.
- ❑ O avanço foi o parâmetro de corte que mais influenciou no acabamento superficial.
- ❑ O comportamento mais desfavorável observado nos experimentos foi para:  $a_p = 0,2$ mm,  $v_c = 129$  m/min e  $f = 0,060$  mm/rev.
- ❑ O comportamento mais favorável ao processo produtivo foi encontrado com os parâmetros:  $f = 0,055$  mm/rev,  $v_c = 161$  m/min,  $a_p = 0,1$  mm. Isso proporcionou um

aumento da produtividade da ferramenta em 185%, passando a usinar 500 peças a cada troca de ferramenta.

- O desgaste de flanco foi a forma predominante de desgaste nas ferramentas de CBN. O aumento desse desgaste,  $VB_{Bmáx}$ , provocou o aumento da rugosidade da sede da válvula.

### ***Agradecimentos***

À FIAT Automóveis S.A., pela disponibilização e todo o suporte técnico-científico e liberação dos equipamentos e instrumentos necessários à realização deste trabalho e ao CNPq pelo apoio ao Projeto 523564/96-1.

### **REFERÊNCIAS**

- Dagnall, 1998, "Exploring Surface Texture", Taylor Hobson Limited, United Kingdom, UK.
- Diniz, A.E.; Marcondes, F.C.; Coppini, N.L., 1999, "Tecnologia da Usinagem dos Materiais", Aranda Editora.
- Machado, A.R. ; Silva, M.B., 1999, "Usinagem dos Metais", Universidade Federal de Uberlândia - MG, Brasil.
- Mummery, L., 1992, "Surface Texture Analysis: The Handbook", Hommelwerke, Printed by Schnurr Druck, West Germany.
- Nakayama, K. and SHAW, M.C., 1966, "Relationship Between Cutting Forces, Temperatures, Built-up Edge and Surface Finish", Annals of the CIRP, vol. XIV, pp. 211-223.
- Shaw, M.C., 1984, "Metal Cutting Principles", Oxford Science Publication, New York, ISBN - 19-859002-4.
- Trent, E.M. "Metal Cutting", 2 nd edition, Butterworths, 1991, ISBN 0-408-10856-8

### **THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON THE MACHINING OF SEAT VALVES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES USING CBN TOOLS**

***Abstract:*** *The surface quality of the head valve seating area, of internal combustion engines, is of paramount importance in the motor performance, as well as the geometric errors like surface oscillations and lack of roundness. Such characteristics affect the sealing obtained by the contact between the valve and the seat. The valve seat is produced by powder metallurgy with Vickers Hardness 300 kgf/mm<sup>2</sup>. The machining was performed with CBN cutting tools under an average speed of about 161 m/min. The effects of the cutting speed, depth of cut, and feed rate parameter on the seat tightness was the feed rate, while higher cutting speeds improve surface quality. As far as wear is concerned, the most critical situation arises with lower cutting speeds and greater feed rate, when both flank and crater wear are used.*

***Keywords:*** *Combustion engine, Valve seats, PCBN, Surface topography.*