



## ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE CBN NO FRESAMENTO DE BLOCOS MOTORES DE FERRO FUNDIDO GH190

**Antônio Maria de Souza Júnior**

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

**Wisley Falco Sales**

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

**Resumo.** Com a introdução de juntas metálicas nos motores automotivos, as quais conferem maior rigidez na junção entre o bloco motor e o cabeçote, evidenciou-se a necessidade da usinagem de um plano perfeito, onde a exigência do acabamento superficial e os erros de forma devem ser parametrizados com tolerâncias mais precisas. Este trabalho investigou a utilização de fresas com insertos de CBN com duas tecnologias de fixação. Foram também avaliados a geometria dos insertos nos sistemas alisadores e no sistema “octo”, onde intercala insertos alisadores com geometria “octo”. Variou-se a profundidade de corte ( $a_p$ ) e o avanço ( $f$ ) nos dois sistemas e avaliado o comportamento do desgaste ( $VB_{Bmáx}$ ), a rebarba na saída ( $h$ ), a rugosidade ( $R_a$  e  $R_t$ ), as ondulações ( $W_t$ ) e também correlacionado com dispersão encontrada no batimento radial dos insertos. Ficou evidenciado um melhor controle da rebarba com profundidade de corte maiores e um melhor controle de rugosidade com o sistema alisador.

**Palavras-chave:** Fresamento, Nitreto Cúbico de Boro (CBN), Rebarbas, Desgaste.

### 1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade de melhoria da vida e eficiência dos motores automotivos, foi introduzido uma nova tecnologia de junta para fazer a junção entre o cabeçote e o bloco motor. O ciclo térmico e as altas solicitações a qual é submetido o motor, contribui para o desgaste prematuro das juntas convencionais, provocando queima, erros de planicidade, perda da rigidez na junção e conseqüente perda de potência. Esta nova junta metálica promove uma rigidez maior na junção entre as duas peças (cabeçote e bloco do motor), não deformando com o tempo e mantendo a integridade da junção.

A necessidade de se elaborar um plano perfeito de apoio, com parâmetros de acabamento e ondulosidade, no bloco do motor ( $R_a=1,6 \mu\text{m}$ ;  $R_t=10 \mu\text{m}$ ;  $W_t=10 \mu\text{m}$  e rebarbas,  $h=0,5 \text{ mm}$ ), para adaptação da junta metálica, levou os fabricantes de máquinas e de ferramentas a investirem no desenvolvimento de um processo que garantisse a qualidade e a repetibilidade da usinagem feita em alta escala de produção.

Uma superfície fresada apresenta erros de perfil e rugosidade do material. Os erros de perfil normalmente são uma ondulação, que pode ser resultado de folgas da fresa montada na

face do fuso ou posição axial irregular dos cantos das arestas. As distâncias entre picos normalmente coincidem com o avanço por dente. Superposta à ondulação, está a rugosidade no material, provocada por fatores como: posicionamento individual de pastilhas irregulares no sentido axial; desgaste desigual das pastilhas; pastilhas com aresta irregulares quanto à afiação; fluxo de saída irregular do cavaco; condições operacionais da máquina ferramenta; fixação deficiente da peça; conformação e estabilidade da própria peça de trabalho (Marcondes, 1990).

Nos fresamentos de faceamento em superfícies onde a profundidade de corte é inferior a 1 mm, um melhor acabamento é obtido e o uso de insertos com uma face plana, promove o alisamento da superfície usinada e a aresta mais saliente alisa a superfície cortada pelas arestas anteriores. Assim somente uma parte das arestas da fresa geram a superfície acabada. Se o avanço por rotação é menor que a largura da fase plana, somente a aresta mais saliente fará o acabamento da superfície (Sandvik, 1994). No entanto os sistemas de fixação e ajustes destes insertos na fresa são de fundamental importância para se conseguir uma planicidade perfeita entre os insertos e um batimento radial com uma menor dispersão .

Este trabalho tem como principal objetivo, investigar a qualidade superficial, os erros de forma e a rebarba na saída da superfície fresada dos blocos motores, no plano de apoio do cabeçote do motor (Figura 1), com a utilização de dois sistemas de fresamentos existentes no mercado e lançados, a menos de 3 anos pelos fabricantes. Estes sistemas usam tecnologia de fixação, regulagens dos insertos, distribuição e geometria das arestas diferentes. O material usinado é o ferro fundido cinzento GH190, na norma UNI. O comportamento das variáveis de acabamento, erro de forma , rebarbas e desgaste, foram avaliados com levantamento de curvas comparativas.

## 2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O experimento foi feito em uma fresadora especial da linha de usinagem de bloco motor “FIRE 16V” da Fiat Automóveis. A unidade de fresamento efetua a usinagem através de um mono-mandril de fresamento Gr ISO130, pressurizado internamente e acionado por um motor assíncrono trifásico. Esta fresadora utiliza velocidade de corte ( $v_c$ ) constante e a rotação do cabeçote é fixa em 1270 rpm. Todo o teste foi feito em regime de produção normal e as variações possíveis de serem feitas na regulagem da máquina, foram no avanço ( $f$ ) e na profundidade de corte ( $a_p$ ).

O bloco motor, mostrado na Figura 1, é fabricado de ferro fundido cinzento GH 190 UNI, com a seguinte composição química: %C = 3,2 a 3,5; %Cr = 0,2; %S = 0,15; %P = 0,10 e  $H_V 200 \text{ kgf/mm}^2$ .

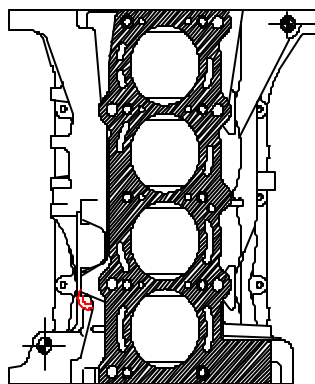


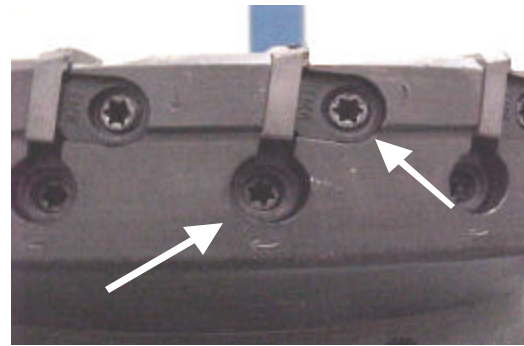
Fig. 1 – Vista superior do bloco motor.

Foram avaliadas duas diferentes tecnologias de ferramentas de corte e sistemas de fixação. Neste trabalho, não serão especificados os fabricantes e as tecnologias aqui são

denominadas de “A” e “B”. A tecnologia “A” possui 24 insertos, com característica de alisadores (Figura 2a), e sistema de fixação com regulagem axial em todos os insertos (Figura 2b).



Fig. 2 – (a) Ferramenta “A”.



(b) – Sistema de fixação e de regulagem “A”.

Estes insertos são na geometria SN com aresta em chanfro T 05X15, em base de metal duro e aresta cortante em CBN.

A outra tecnologia avaliada, aqui denominada de “B”, usa 36 insertos, sendo 30 com geometria ‘Octo’ OPHN 0504 ZZN – A27 e 6 com geometria do tipo alisadora OPHX 0504ZZR – A27, também em CBN na mesma classe (Figuras 3a e 3b).



Fig. 3. (a) - Ferramenta “B”



(b) - Sistema de fixação e de regulagem “B”.

O sistema de fixação da fresa “B” utiliza pino de apoio para os insertos “octo” e cápsula com regulagens axiais para os insertos alisadores.

A regulagem dos insertos foi realizada em uma mesa Ingersoll, com apalpador de ponta plana, para a fresa “A”, onde todos os insertos são de geometria alisadora e existe regulagem individualizada para todos os 24 insertos. O batimento axial fica com dispersão máxima de 3  $\mu\text{m}$  e o radial com 25  $\mu\text{m}$  (neste caso não há possibilidade de ajuste). No caso da fresa “B”, os Insertos ‘Octo’, são fixos sem possibilidade de regulagens. Com isto a dispersão no batimento axial é de 30  $\mu\text{m}$  e o radial é o mesmo da fresa “A”. Portanto para os 6 insertos alisadores da fresa “B”, a regulagem fica com dispersão máxima de 3  $\mu\text{m}$  e estes são colocados em um plano 25  $\mu\text{m}$  superior aos outros 30 insertos “Octo”. A Figura 3b, mostra o sistema de regulagem dos insertos “Octo” e alisadores da fresa “B”.

Para medição do desgaste das ferramentas, utilizou-se os microscópios óticos: Wild – Heerbrugg Mod 117.775 e OMIS MINI *Optical Measurement Inspection System*. As superfícies das ferramentas desgastadas foram avaliadas no microscópio eletrônico de varredura Carl Zeiss. Utilizou-se o perfilômetro Taylor Hobson MK3, para medições dos parâmetros de rugosidade e erros de forma. A medida da rebarba (*foot forming*), foi realizada

com um apalpador centesimal (resolução de 20  $\mu\text{m}$ ), sendo neste caso realizadas 5 medidas e retirado o valor médio (Lee et al, 1979) .

## 2.1. Metodologia.

Foram feitas 3 conjuntos de testes com a fresa “A” e 2 com a fresa “B” (conforme Tabela 1). Em todos os casos houve a preocupação de obedecer os parâmetros de rugosidade, erro de forma e rebarba admissível no projeto do bloco, pois caso contrário, toda peça fora das tolerâncias especificadas, seria refugo definitivo de produção, uma vez que é uma operação final de acabamento deste plano usinado.

Fresa	$a_p$ (mm)	$f_z$ (mm/z)	Batimento radial ( $\mu\text{m}$ ).
A	0,3	0,06	0,003
A	0,5	0,06	0,003
A	0,5	0,12	0,003
B	0,3	0,06	0,025/0,003
B	0,5	0,06	0,025/0,003

Tabela 1 – Parâmetros utilizados em cada sistema avaliado

A velocidade de corte utilizada foi de  $v_c = 1000$  m/min em todos os casos.

A cada conjunto de testes, foram medidos os parâmetros de rugosidade,  $R_a$ ,  $R_t$ , ondulação  $W_t$ , desgaste  $VB_{Bmáx}$  e rebarba ( $h$ ), nas 5 primeiras peças. Em seguida de 10 em 10 peças até a de nº. 100. Entre as peças de nº. 100 e 800, mediu-se cada 100 e a partir da peça nº. 800 a cada 200 peças, até a produção máxima que se pode atingir dentro dos parâmetros de qualidade exigido no projeto.

Os dados obtidos foram colocados na forma de gráficos e inicialmente comparados o comportamento dos parâmetros de qualidade investigados, com as variações de avanço e profundidade de corte de uma mesma fresa. Em seguida foram comparados os resultados entre as fresas “A” e “B”.

Além do desgaste de flanco observado nos inserts, foram também observadas outras formas de desgaste. As superfícies desgastadas das ferramentas foram avaliadas e fotografadas no microscópio eletrônico de varredura.

## 3. RESULTADOS

A fresa “A” usinou até 3000 blocos motores, a fresa “B” 350 blocos e o critério para interromper os testes foi estabelecido pela exigência de qualidade especificada no “Plano Operacional”, estabelecido para esta usinagem, na linha de produção da Fiat Automóveis, ou seja:  $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ ;  $R_t = 10 \mu\text{m}$ ;  $W_t = 10 \mu\text{m}$  e comprimento das rebarbas  $h$  (até o valor onde ela se desprende manualmente do bloco).

Os melhores resultados comparativos entre os dois sistemas de fresamento, ocorreu com a profundidade de corte  $a_p = 0,5 \text{ mm}$  e o avanço de 0,06 mm/z e os gráficos abaixo sintetizam estes resultados.

A Figura 4a ,apresenta os resultados dos desgastes  $VB_{Bmáx}$ , ocorridos nas fresas “A” e “B” até 350 peças entre as duas fresas, utilizando  $a_p = 0,5 \text{ mm}$  e  $f_z = 0,06 \text{ mm/z}$ .

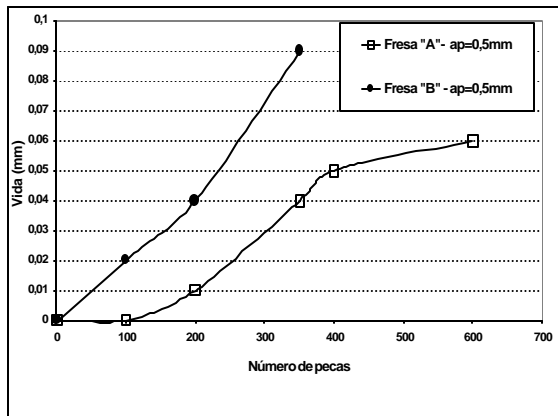


Figura 4a) Desgaste de flanco (mm), versus nº. de peça

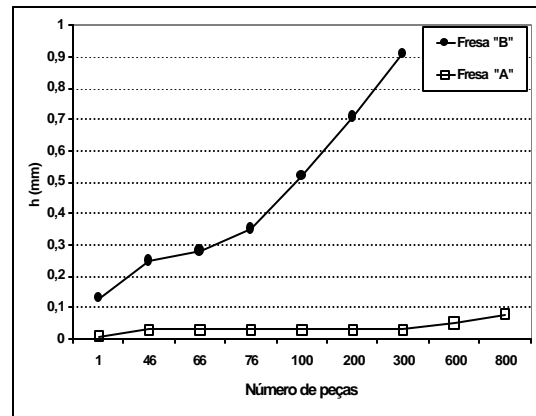


Figura 4b) Comprimento da rebarba (mm), versus nº. de peças

A Figura 4b, sintetiza os resultados alcançados, com o controle da rebarba na saída da fresa do bloco motor. O ponto de saída da fresa foi escolhido por ser seletivo, devido a sua maior área. A medida foi feita com dispositivo específico acoplado a um relógio apalpador de resolução (20  $\mu\text{m}$ ). O critério para definição da rebarba máxima permitida não foi relacionada com a medida de “h” e sim com a facilidade de desprendimento da mesma, após a operação de lavagem dos blocos motores, em uma lavadora específica na sequência da linha de usinagem, pois elas são separadas da peça com uma fratura negativa (Pekelharing, 1978) e em todos os casos, o desprendimento ocorreu.

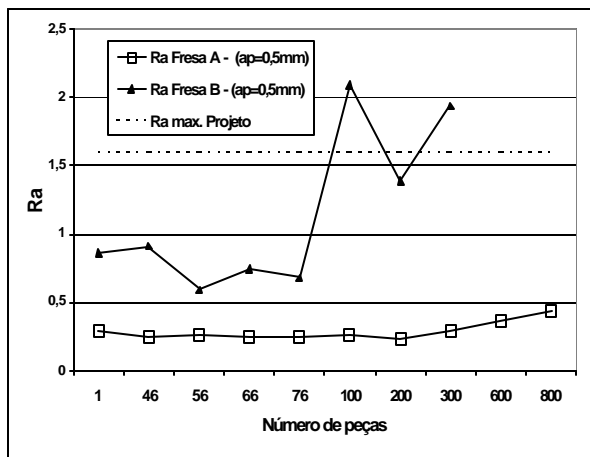


Figura 5a) -  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ), versus nº. de peças

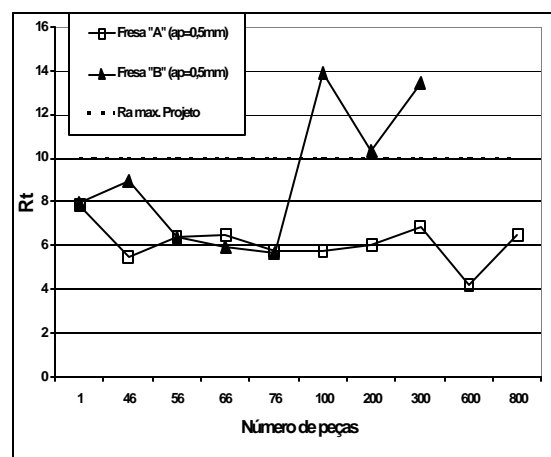


Figura 5b) -  $R_t$  ( $\mu\text{m}$ ), versus nº. de peças

Na figura 5a, observa-se os resultados encontrados com a medidas da rugosidade superficial da superfície usinada,  $R_a$  para as fresas “A” e “B”, com avanço de  $f_z=0,06 \text{ mm/z}$  e profundidade de corte,  $a_p=0,5 \text{ mm}$ .

Os resultados de rugosidade  $R_t$ , para as fresas, “A” e “B” são apresentados na Figura 5b.

A Figura 6 mostra o comportamento das ondulações  $W_t$ , para as fresas “A” e “B”, obedecendo a mesma frequência. O avanço utilizado foi o de  $f_z=0,06 \text{ mm/z}$  com uma profundidade de corte de  $a_p=0,5 \text{ mm}$ .

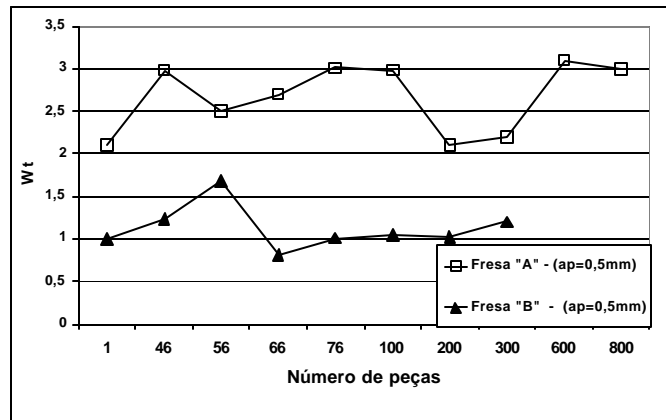


Fig. 6 -  $W_t$  ( $\mu\text{m}$ ), versus nº. de peças

As Figuras 7a e 7b mostram as superfícies desgastadas das fresas “A” e “B”, respectivamente.

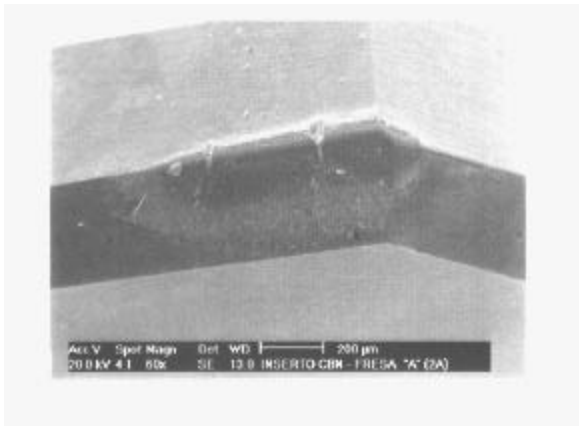


Figura 7a) - Superfície desgastada da fresa “A”.



Figura 7b) – Inserto alisador da fresa “B”.

Na Figura 7a (fresa A) verifica-se a ocorrência de desgaste de flanco e de trincas de origem térmicas, porém estas trincas foram observadas após 600 peças de bloco motor usinado. A Figura 7b (fresa B) mostra o desgaste do inserto alisador, sendo que no restante dos inserts houve a ocorrência do desgaste de flanco  $VB_{B\text{máx}}$ , como foi evidenciado na Figura 3a.

## 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. Fresa “A”

O comportamento desta fresa, permitiu usinagem de 3000 peças de bloco motor até que os parâmetros de rugosidade  $R_a$  e  $R_t$  fossem determinantes para a interrupção dos ensaios, onde começaram a ultrapassar o limite máximo permitido no projeto. Os testes iniciais foram feitos com profundidade de corte de  $a_p=0,3$  mm e coletados todos os dados referentes a  $R_a$ ,  $R_t$ ,  $W_b$ ,  $VB_{B\text{máx}}$  e *rebarbas* ( $h$ ). Em seguida a fresa foi novamente montada na máquina para um novo teste, porém com profundidade de corte  $a_p=0,5$  mm, sempre obedecendo os parâmetros de batimentos, mostrados na Tabela 1.

Após análise dos resultados, verificou-se que os parâmetros de *rebarbas*,  $R_a$  e  $R_t$ , tiveram um comportamento mais favorável com a profundidade de corte de  $a_p=0,5$  mm. O mesmo procedimento acima foi feito para um novo teste, porém com o avanço por inserto modificado

de  $f_z=0,06$  para  $f_z=0,12$  mm/z. Neste caso houve um aumento prematuro da rugosidade  $R_a$  e  $R_t$ , o que provocou a interrupção do teste com 600 peças.

## 4.2. Fresas “B” versus “A”

Nos primeiros testes realizados com a fresa “B”, foram utilizados os melhores parâmetros de corte conseguidos com a fresa “A”, ou seja  $a_p=0,5$  mm e  $f_z=0,06$  mm/z. Observa-se na Figura 4a, que o desgaste apresentado com a fresa “B” foi muito superior, comparando-se com a fresa “A”, já com 350 peças usinadas, sendo  $VB_{Bmáx}=0,09$  mm na fresa “B” contra  $VB_{Bmáx}=0,04$  mm na fresa “A”. Este desgaste ocorreu com as pastilhas “Octo” e pode ser justificado pela menor área de contato da aresta de corte com o material na mesma profundidade de corte, concentrando o calor numa restrita região de contato. Sabe-se que o desgaste está diretamente relacionado com a temperatura na zona de fluxo, portanto a temperatura da ferramenta depende da quantidade de trabalho realizado para cisalhar o material e da quantidade de material que passa pela zona de fluxo (Mills e Redford, 1983 e Machado e Da Silva, 1999). Quanto ao comportamento da rebarba nota-se na Figura 4b, que a fresa “A” apresentou uma rebarba muito inferior, em comparação com a fresa “B” ( $h=0,04$  mm contra  $h=0,9$  mm) até 350 peças usinadas. Este comportamento pode ser explicado devido a forma com que as pastilhas da fresa “A” (Dornfeld, 1998), em que todas são alisadoras, saem do material que está sendo cortado, ou seja de forma gradativa, evitando o dobramento do metal (Kamaruddin, 1984 e Colewill, 1954). Isto não ocorre com a fresa “B” em que o ângulo de saída é 45 graus e não existe fase alisadora nos insertos Octo.

A rugosidade pode ser observada nas Figuras 5b e 6 e nos dois casos ocorreram também o melhor desempenho da fresa “A”. Vale observar que com 100 peças usinadas, houve um salto nos parâmetros de  $R_a$  e  $R_t$  no caso da fresa “B”, o que pode ser explicado como o ponto em que os insertos alisadores, não fizeram o corte das extremidades dos picos deixados pelos insertos “Octo”, devido ao desgaste apresentado (Fig.7b), perdendo com isto sua principal função (Sandvik, 1994). No entanto a fase plana da pastilha alisadora, não eliminou a rugosidade deixada pelas outras pastilhas (Marcondes, 1990). Neste ponto como dito anteriormente, o desgaste nos insertos alisadores foram de  $VB_{Bmáx}=0,08$  mm, o que representa uma perda de altura de 0,05 mm, sendo portanto 33% a menos de sua altura regulada para esta função (0,015 mm).

O melhor desempenho, quanto ao parâmetro de ondulações foi observado na fresa “B”, onde com 350 peças usinadas apresentou um  $W_t=1,2$  mm contra  $W_t=2,3$  mm da fresa “A”, apesar dos dois casos estarem muito abaixo do máximo especificado. Este comportamento é devido às pressões de corte da fresa “A” serem superiores às da “B”, pois a área de contato dos insertos alisadores são muito superiores no caso da fresa “A” e a componente de força axial sobre o bloco motor, gera uma reação entre o bloco e a fresa no momento da usinagem.

## 5. CONCLUSÕES

- 1- A menor rebarba na saída da fresa foi observada na fresa “A”, que usa o sistema de todos os insertos alisadores. Este comportamento favorável pode determinar o prolongamento e a continuidade da usinagem proporcionando um maior número de peças usinadas com os mesmos parâmetros de corte, e conseguinte redução do custo peça.
- 2- Os insertos alisadores da fresa “B”, são de fundamental importância para a manutenção dos parâmetros de rugosidade superficial  $R_a$  e  $R_t$ , e o pequeno desgaste ocorrido, eliminou sua principal função que é o corte das cristas das asperidades deixadas pelos outros insertos “Octo”.

- 3- A menor pressão axial obtida, devido a geometria favorável dos insertos da fresa “B”, proporcionou menores variações de ondulações  $W_t$  e o sistema de insertos “Octo” foi determinante para conseguir este resultado.
- 4- A fresa “A”, obteve melhor desempenho e conseguiu manter os parâmetros de qualidade exigidos, conseguindo a continuidade do processo, usinando até 3050 blocos motores. Isto foi conseguido utilizando os parâmetros de  $a_p=0,5$  mm;  $f_z=0,006$  mm/z ;  $v_c=1000$  m/min.

## REFERÊNCIAS

- Colwell,L.D., 1954, Predicting the angle fo chip flow for single point cutting tools, Trans ASME,16,199-204.
- Dornfeld, D A, 1998, Research Reports by CODEF – Integrated Designs and Manufacturing for Milling Burr Minimization, Laboratory for Manufacturing Automation – University of California, Berkeley
- Kamarudding, A G., 1984, Tool life in interrupted cutting . PhD thesis . Departmente of mechanic Engineering, University of Machester Institute of Science and Technology,1984.
- Lee,M.; Horne,J.G.; Tabor,D, 1979, The Mechanism of Notch Formation at the Depth of Cut Line of Ceramic Tools Machining Nickel Base Superalloys, Proc. Int. Conf. On wear Materials, ASME, Darborn, Michigan, USA, 16-18 April, pp. 460-469
- Machado, A. R. e Da Silva, 1999, Usinagem dos Metais, Editora UFU, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlandia – MG, Brasil
- Marcondes, F. C., 1990, A historia do Metal Duro, Sandvik do Brasil – Ed. Marco.
- Mills, B.; Redford, AH., 1983, Machinability of Engineering, Applied Science Publications, ISBN 0-85-183-4.
- Pekelharing, A J. The exit failure uninterrupted cutting . Ann CIRP,1978,27(1),5-10.
- Sandvik Coromant, 1994, Modern Metal Cutting, 12-CMSK, S-811 81 Sandviken, Sweden

## *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.

## STUDY ON THE USE OF PCBN TOOLS IN THE MILLING OF GH190 CAST IRON MOTOR BLOCKS

**Abstract.** *Two face milling system has been studied in this work, to machining gray cast ion in high speed cutting. The difference between face milling with 24 wiper insert in all milling , and the face milling with 24 insert “Octo” and 6 wiper insert, were investigated . Were investigated the surface finish ( $R_a$  and  $R_t$ ), surface profile, waviness ( $W_t$ ), flank wear ( $VB_{Bmáx}$ ) and Foot forming ( $h$ ). The better result has been obtained when we used depth of cut = 0,5mm, and feed rate=0,06/teeth, on the face milling “A”, that use the wiper insert in all face milling. The face milling “A”, obtained the better performance, and maintained the parameter of the surface finish quality demanded , achieved the processes continuity, and machining the 3050 Cylinder Block. The milling burr minimization, was also obtained when machining with face milling “A”.*

**Keywords:** *Milling, Cubic Boron Nitride (CBN), Burr formation, Wear.*