



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO DA FERRAMENTA SOBRE A QUALIDADE DE ANÉIS E GUIAS DE VÁLVULAS EM AÇO SINTERIZADO

Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@br.fptpowertrain.com¹

Luís Henrique Andrade Maia, luishmaia@gmail.com²

Querlem Saraiva, querlem.saraiva@br.fptpowertrain.com¹

Arnaldo Silva, arnaldo.silva@br.fptpowertrain.com¹

José Rubens Gonçalves Carneiro, joserub@pucminas.br²

Paulo Sérgio Henrique, pauloshenrique@ig.com.br¹

Jánes Landre Júnior, janes@pucminas.br²

Wisley Falco Sales, wisley.sales@gmail.com³

¹Fiat Powertrain, Av. Do Contorno da Fiat, 3455 CEP: 32530-490 Betim – MG.

²PUC Minas, Av. Dom José Gaspar 500, prédio 10, Coração Eucarístico CEP: 30535-401 Belo Horizonte - MG

³UESC, Campus Soane Nazaré de Andrade - Rodovia Ilhéus-Itabuna, km 16 CEP: 45662-900 - Ilhéus, BA.

Resumo: Os componentes usados na composição do cabeçote-motor requerem ferramentas adequadas para a sua usinagem. Guias e anéis de válvulas têm fundamental importância no desempenho e no bom funcionamento de motores de combustão interna. Erros de concentricidade entre os componentes podem acarretar em excessivo ruído no funcionamento dos motores e prejudicar seu desempenho. A qualidade dos furos mandrilados e a superfície de apoio do anel de válvula são de fundamentais importância. Assim, desvios de batimentos são monitorados para que consiga precisão das condições geradas pela ferramenta. Neste trabalho avaliaram-se os erros de batimentos comparando dois tipos de ferramentas. Os testes foram realizados com os seguintes parâmetros de corte: para as guias de válvula, velocidade de corte (v_c) de 95m/min, avanço de 0,450mm/rev e rotação de 6000rpm, com fluido de corte. Para a usinagem dos anéis usou uma velocidade de corte de 95m/min, rotação de 900rpm e avanço de 45mm/rev, também com fluido de corte. O fluido utilizado um tipo emulsionável com concentração de 8% e pressão de 30 bar. Os testes foram feitos utilizando dois tipos de ferramentas. Após completar os testes, as peças foram resfriadas até a temperatura ambiente e medidas no laboratório. Essas medições foram comparadas entre as ferramentas. Notou-se que a ferramenta com insertos de CBN e alargador de metal duro utilizado na usinagem dos anéis e guias de válvulas apresentou melhores resultados.

Palavras-chave: Usinagem, Aço Sinterizado, Mandrilamento, Qualidade Superficial

1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, a demanda por materiais mais resistentes sobre diversos pontos de vista é cada vez maior na engenharia.

Dentro desse contexto, o aço sinterizado é uma aposta. Constituído através da metalurgia do pó, segue uma linha parecida ao da constituição do metal duro. Pós dos diversos materiais constitutivos (geralmente os mesmos do aço rápido) são misturados, depois sinterizados e podem ainda passar por um tratamento térmico para que ele adquira certas propriedades.

Segundo Campos (2004), o processo de fabricação de uma peça de aço endurecido convencionalmente inicia-se com a usinagem da mesma a partir da matéria prima no estado recozido. A peça é usinada próxima de sua forma final, temperada e revenida para a dureza escolhida, e então novamente usinada para as dimensões e tolerâncias finais por meio do processo de retificação. O advento de ferramentas de nitreto cúbico de boro policristalino (PCBN) a partir dos anos 70 resultou em um rápido avanço na tecnologia de usinagem de materiais endurecidos. Sua alta dureza a quente e relativamente baixa solubilidade no ferro torna o PCBN adequado para o corte de aço endurecido. Com isso rotas alternativas de processamento podem ser utilizadas. A matéria prima da peça pode ser tratada termicamente para se obter dureza e propriedades mecânicas desejadas, e então usinada para sua forma final, eliminando operações subsequentes de retífica.

Válvulas de motores de combustão interna de ciclo Otto têm a função de controlar o fluxo de mistura ar-combustível (válvulas de admissão) e dos gases provenientes da combustão (válvula de descarga). Elas precisam estar perfeitamente encaixadas para se obter a máxima eficiência do motor. A confecção das sedes de válvulas é feita em aço sinterizado a fim de garantir o máximo desempenho do motor, uma vez que precisam ter uma alta resistência mecânica e térmica.

Segundo Siqueira *et al.* (2009), a produção anual de automóveis no Brasil, gira em torno de 2,7 milhões de automóveis. A grande maioria desses são motores de ciclo Otto de quatro cilindros, que tem suas sedes de válvulas constituídas de aços endurecidos. Sendo assim qualquer avanço na usinagem dessas ligas é de aplicação imediata na indústria.

A usinagem desses materiais geralmente gera cavacos com forma descontínua, isso se deve ao fato do material ser duro e frágil e também pela constituição do mesmo, uma vez que sendo desenvolvidos pela metalurgia do pó, esses apresentam vazios (poros) em sua constituição o que facilita a quebra do cavaco (Fig. 1).

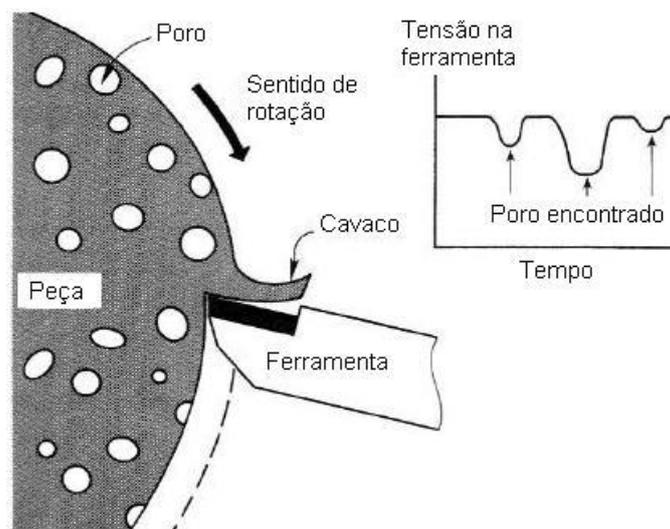


Figura 1 – Esquema de um corte intermitente em um torneamento de um material obtido através da metalurgia do pó. (SIQUEIRA, 2009).

Segundo Weinert et al (1998), o primeiro contato da ferramenta com o pré-furo deve ser igual entre todas as arestas de corte. Porém, devido ao desalinhamento do eixo da ferramenta de pré-furação, erro de batimento do alargador, irregularidades na aresta de corte, desvios de forma no pré-furo, problemas na fixação do alargador no fuso da máquina-ferramenta, levam ao corte não simultâneo e não regular.

Kress (1974) encontrou piores resultados no desvio de cilindricidade em furos desalinhados, e recomenda um erro de alinhamento entre o pré-furo e o alargador menor que 0,020 mm. Ferraresi (1975), também comenta que os desvios de posicionamento do pré-furo, não podem ser corrigidos com alargadores de acabamento.

Vibrações nas máquinas-ferramentas durante a operação de mandrilamento são comuns e podem alcançar níveis insatisfatórios, que causam marcas visíveis na superfície usinada das sedes de válvulas. Esse problema é agravado pela alta dureza do material e a falta de rigidez estrutural da máquina ferramenta. Maia (2009) avaliando os níveis vibracionais no fresamento de aço baixa liga notou que o parâmetro que mais influencia as vibrações do conjunto é o avanço, seguido da profundidade de corte e da velocidade de corte.

A geometria da aresta de corte e seus efeitos no desempenho da usinagem sempre foi assunto de muita pesquisa. Segundo Siqueira *et al.* (2009), a aresta de corte precisa resistir a altas tensões mecânicas e térmicas com pequeno desgaste, permitindo uma usinagem por longo tempo. É conhecido que arestas de cortes agudas não são adequadas para usinagem uma vez que facilitam a quebra e o lascamento da ferramenta. Fabricantes de ferramentas introduziram diversas modificações na aresta de corte, como um ou duplo chanfro, ou uma combinação de raios de curvaturas e chanfros (Machado *et al.*, 2009). Ferramentas com aresta de corte chanfrada são usualmente empregadas em operações em que se caracterize corte interrompido. Parte do material de corte pode aderir na parte frontal da aresta de corte, aumentando a força da ponta da ferramenta, aumentando a força de corte.

As ferramentas com um pequeno arredondamento das arestas de corte são chamadas de ferramentas afiadas e são usadas nas operações de acabamento. O arredondamento das arestas de corte também eleva a resistência da ferramenta ao impacto (SIQUEIRA, 2009). Algumas arestas de corte foram desenvolvidas para ter um chanfro arredondado para combinar as boas características de ambos. Essa geometria facilita o fluxo de parte do material para a superfície de saída. A adequada seleção da geometria (ângulo do chanfro e altura, raio da aresta de corte) é possível, por causa da interação do fluxo de material sobre a aresta de corte ser bem conhecida. Karpat and Ozel (2007) dizem que o efeito do afiamento da ferramenta de corte no mecanismo de corte tem sido investigado por vários pesquisadores, usando tanto simulações quanto métodos experimentais.

Modificações na aresta de corte influenciam diretamente na força de corte, na vida da ferramenta e também nas vibrações e batimentos da ferramenta. Zhou *et al.* (2003) mostra que o ângulo do chanfro da lamina de CBN tem grande influência nas força de corte e na vida da ferramenta. Eles observaram que as três componentes de forças crescem com o crescimento do ângulo do chanfro, principalmente a força passiva. A força da aresta de corte da lâmina de CBN também crescem quando os ângulos do chanfro crescem, mas a vida de ferramenta não segue a mesma linha. Chen *et al.* (2006) investigou a performance de ferramentas de PCBN com arestas de corte amoladas e chanfradas torneando aço endurecido AISI 52100. Eles mostraram que arestas afiadas podem ser utilizadas no torneamento duro quando tensões principais na ferramenta forem mantidas a baixa magnitude. Aresta chanfrada produz menos tensões compressivas residuais na superfície. Contudo, longe da superfície usinada, tensões residuais compressivas penetram na peça.

Segundo Santos e Sales (2007) a geometria da ferramenta de PCBN tem que ser negativa (normalmente $\gamma = -5^\circ$) para garantir a resistência a choques, com ângulo de folga $\alpha = 5-9^\circ$ e maior ângulo lateral de posição (no mínimo 15°), para minimizar trincas na aresta.

Portanto, neste trabalho foi investigado o desempenho de dois tipos de ferramentas para a usinagem da sede e da guia de válvulas, fabricadas em aços obtidos pela metalurgia do pó, no chão de fábrica denominados por sinterizados, A diferença entre as ferramentas avaliadas está na sua geometria e no seu sistema de fixação no sistema porta-ferramentas e, ambas são em PCBN.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A condição de funcionamento de motor de combustão interna depende de vários fatores de seus componentes mecânicos. Um dos elementos mais críticos é o cabeçote motor. Ruídos semelhantes a batimentos de válvula são apresentados com maior frequência nesse sistema se mal projetado. O processo de usinagem das guias e anéis (Fig. 2) ocorre em duas fases, desbaste e acabamento. A usinagem dos perfis dos anéis (ângulos) é feita com ferramentas de PCBN (NITRETO CÚBICO DE BORO POLICRISTALINO) e o interno da guia em metal duro.

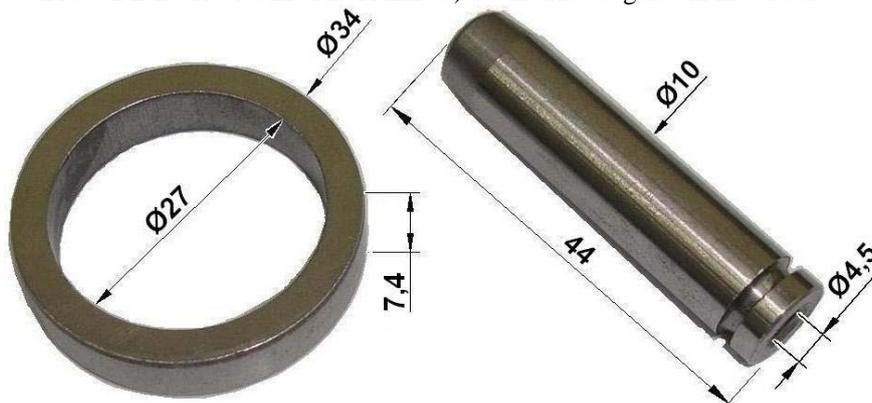


Figura 2 – Anel da sede de válvula e guia de válvula em aço sinterizado.

O anel da sede de válvula e a guia de válvula são de aço sinterizado cujas principais características se encontram abaixo (Tab. 1).

Tabela 1 – Características principais do aço sinterizado utilizado nos testes (FIAT, 2005).

	Composição Química [%]								Características Estruturais	
	C	Co	Mo	Ni	Mn	S	Outros	Fe	Densidade [kg/m ³]	Dureza [HB]
Mín.	0,8	9	2	1	0,3	0,2				370
	-	-	-	-	-	-	≤ 1,5	restante	≥ 7400	-
Máx.	1,3	11	3	2	0,7	0,6				410

Obs.: "outros" são elementos metálicos anti-atrito.

Para realização dos experimentos foram utilizados ferramentas de PCBN (Lâminas e insertos forma triangular *full face*) e alargadores de metal duro montados em um conjunto de porta-ferramenta e usando os compostos montados (guia e anel de válvula) nos cabeçotes em alumínio variando a geometria da ferramenta.

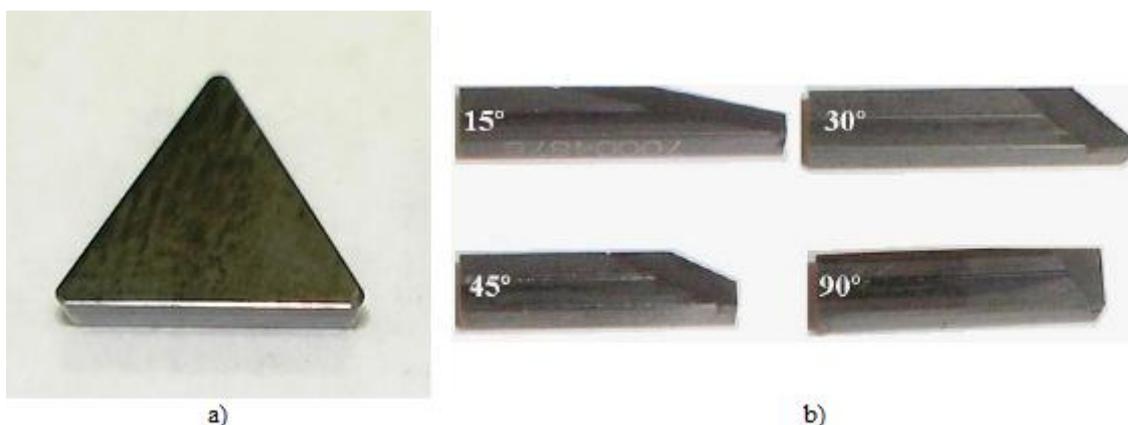


Figura 3 – Inserto de PCBN (a) utilizado na nova operação e lâminas de PCBN (b) utilizadas na operação antiga.

O processo de desbaste consiste na preparação do furo da guia e desbaste dos ângulos de assentamento. Para o acabamento, usa-se o furo da guia com comprimento de 40mm e o anel com uma tolerância pré-estabelecida.

A usinagem é feita em um processo simultâneo dando ao anel diferentes angulações (Fig. 4) utilizando uma única ferramenta, formando assim a sede de válvula. Neste trabalho, comparou-se o batimento de dois tipos de ferramentas. Chamou-se aqui de processo normal, a usinagem com lâminas com diferentes ângulos (Fig. 3b) e o processo modificado, a usinagem com insertos triangulares (Fig. 3a).

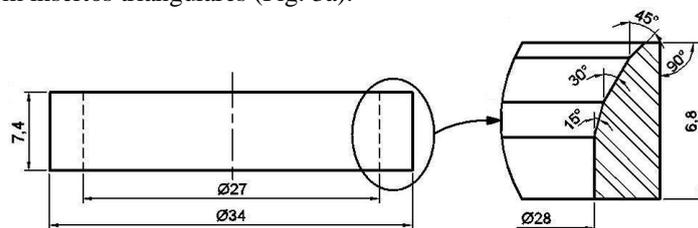


Figura 4– Anel de aço sinterizado evidenciando a geometria da sede de válvula após a usinagem.

Usinou-se as peças em duas etapas utilizando diferentes tipos de ferramentas (geometria) utilizando para o alargador os seguintes parâmetros de corte: velocidade de corte de 95m/min, uma rotação de 600rpm e um avanço de 450mm/min. Para a usinagem do anel utilizou-se a velocidade de corte de 73m/min, uma rotação de 900rpm e um avanço de 45mm/min. Feito o processo de lavagem e secagem das mesmas, elas foram enviadas para meio de controle em laboratório metrológico. A condição para controle foi feita após climatização das peças em temperatura de 21° C. Os aparelhos de medição utilizados eram dotados de programas automáticos que mediram as peças a partir de parâmetros determinados pela empresa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram usinados trinta cabeçotes com quatro furos de escape cada um (Fig. 5) e cada furo foi analisado isoladamente no lote. O processo usual definia uma tolerância de $\pm 0,75\mu\text{m}$ no batimento do anel em relação à guia.

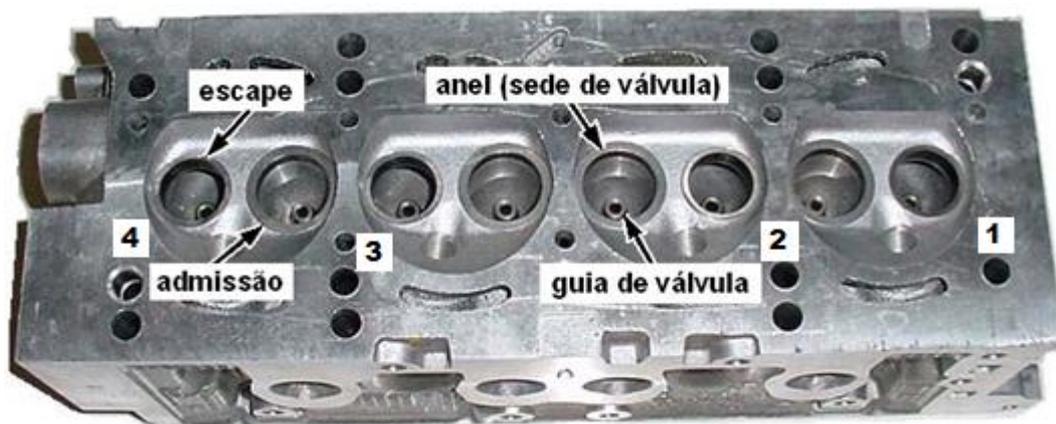


Figura 5 – Cabeçote de liga Al-Si-Cu do motor FIRE com os anéis e guias montados (Siqueira, 2009).

O processo modificado, usando insertos ao invés de lâminas está em processo de adequação, sendo assim os estudos para redução desta tolerância está em fase de implantação.

Avaliando o batimento axial do anel em relação à guia do primeiro furo de escape do cabeçote (Fig. 6) visualiza-se que os batimentos do processo modificado são menores (média de $0,027\mu\text{m}$) que no processo convencional ($0,048\mu\text{m}$), para todo o lote avaliado. Nota-se também um desvio padrão menor nele. Vê-se também, o assentamento da ferramenta à medida que mais peças foram feitas no processo modificado. Inclusive no processo normal, houve uma peça que estaria muito próxima da tolerância máxima permitida para o processo.

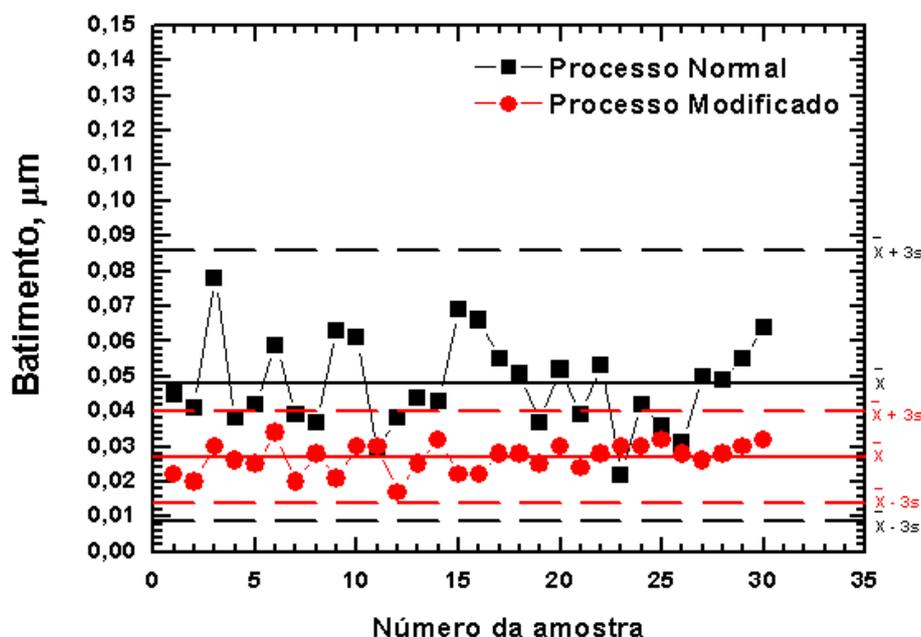


Figura 6 – Batimento axial em relação ao número de amostra do primeiro furo de escape do motor.

Analisando agora o batimento axial do anel em relação à guia do segundo furo de escape do cabeçote (Fig. 7) vê-se que assim como no primeiro furo o batimento médio do processo modificado ($0,027\mu\text{m}$) é menor que o do processo normal ($0,05\mu\text{m}$). Nota-se também um menor desvio padrão do processo modificado em relação ao normal. Como no

primeiro furo em algumas peças atingem valores de $0,08\mu\text{m}$, que ainda está dentro do especificado da tolerância. Também como no primeiro furo, vê-se o assentamento do desgaste de ferramenta no processo modificado.

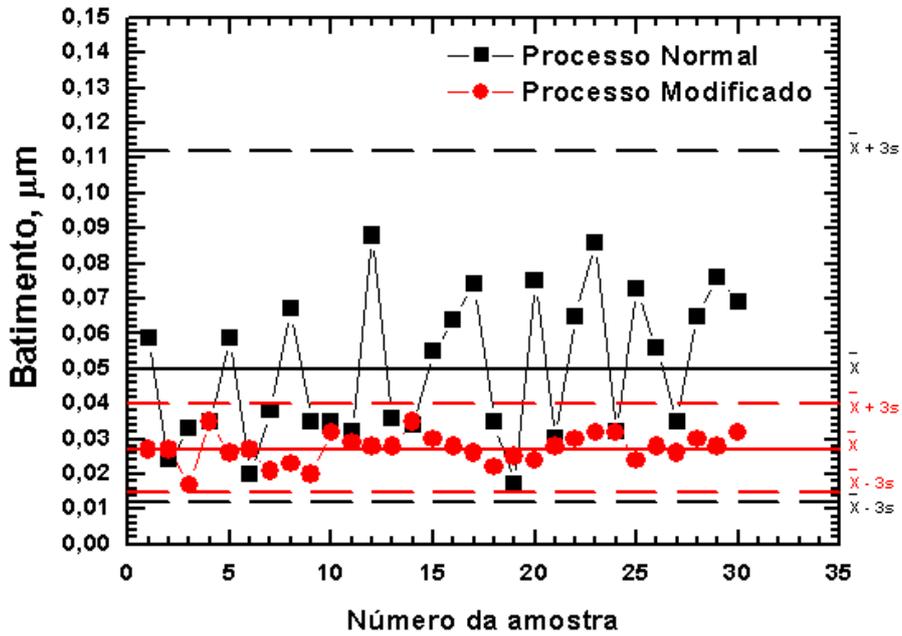


Figura 7 – Batimento axial em relação ao número de amostra do segundo furo de escape do motor.

Analisando o batimento axial no terceiro furo (Fig. 8) nota-se que assim como nos demais a média dos batimentos do processo modificado ($0,027\mu\text{m}$) é menor que no processo normal ($0,05\mu\text{m}$), assim como o desvio padrão. E mais uma vez nota-se o assentamento da ferramenta no processo modificado. Também como nos outros furos, existem peças atingiram valores tendendo para limite superior da tolerância especificada no processo.

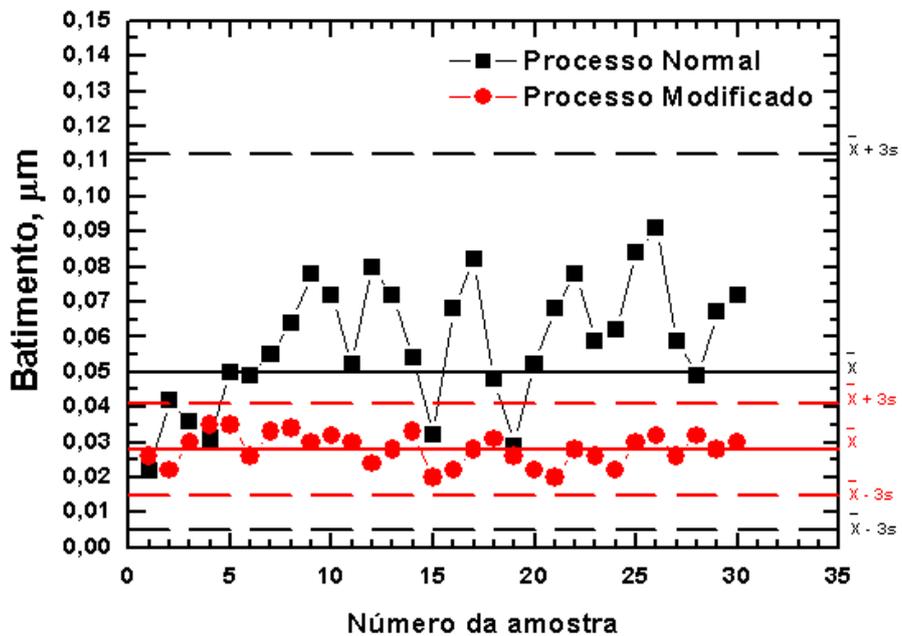


Figura 8 – Batimento axial em relação ao número de amostra do terceiro furo de escape do motor.

Analisando o batimento axial do anel em relação à guia no quarto e último furo de escape do cabeçote (Fig. 9) nota-se que assim como nos outros furos a média do batimento foi menor no processo modificado ($0,027\mu\text{m}$) que no processo normal ($0,059\mu\text{m}$). também o desvio padrão do processo modificado é menor que no processo normal. Nesse último furo vê-se que a variação dos valores obtidos oscilaram com maior frequência, dentro da tolerância especificada

no processo normal que nos outros furos. Isso com certeza se deve ao posicionamento do furo, que mais próximo da borda e com menos massa, facilita o batimento.

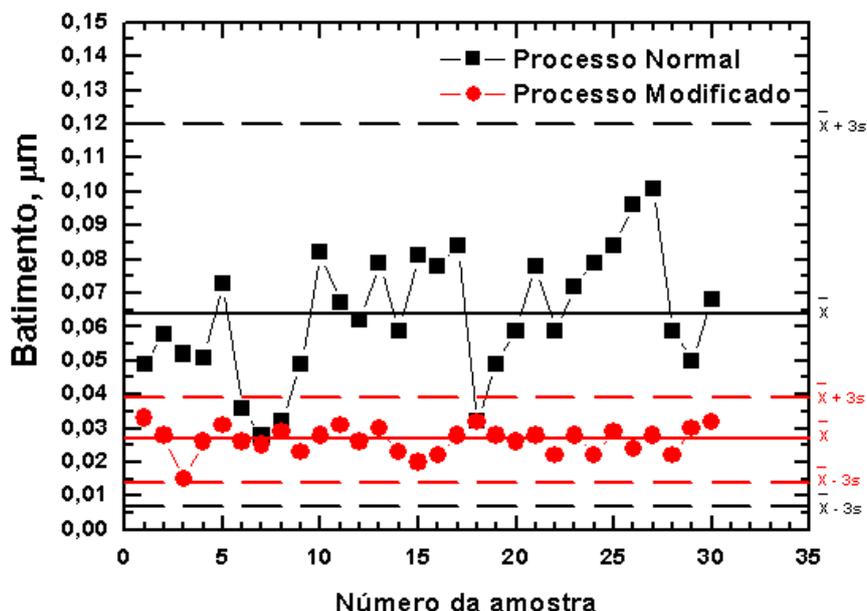


Figura 9 – Batimento axial em relação ao número de amostra do quarto furo de escape do motor.

4. CONCLUSÕES

Notou-se que a adoção de insertos na ferramenta ao invés de lâminas deu mais estabilidade ao processo de usinagem dos anéis e guias reduzindo bruscamente o batimento axial nos furos.

A estabilidade do processo usinado por insertos foi tão adequada que mesmo usinando o quarto furo, onde existe menos massa e é mais próximo da borda da peça, conseguiu-se manter a média dos outros furos.

Viu-se que a média do batimento axial no processo modificado para todos os furos foi uma só (0,027µm) o que demonstra uma grande confiabilidade desse processo.

A redução do batimento do primeiro furo com o processo modificado em relação ao processo convencional foi de 44%. No segundo furo a redução foi de 45%. Enquanto que no terceiro furo esta redução foi de 52% e no quarto furo a redução foi de 58%, demonstrando uma melhora muito significativa no processo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FPT Powertrain pelas informações e laboratórios.

6. REFERÊNCIAS

- Campos, L. A., 2004, "Otimização do Processo de Torneamento de Peças Endurecidas por meio da Definição do Intervalo de Máxima Eficiência de Corte." Dissertação de Mestrado, PUC Minas, Belo Horizonte.
- Chen, L.; El-Wardany, T. I.; Nasr, M.; Elbestawi, M. A.; 2006. "Effects of edge preparation and feed when hard turning a hot work die steel with polycrystalline cubic boron nitride tools." CIRP Annals - Manufacturing Technology. Vol. 55. Issue 1. pp. 89–93.
- Ferraresi, D., 1995, "Fundamentos da usinagem dos metais." Ed. Edgar Blucher, 9ª reimpressão. São Paulo, Brazil, Vol. 1.
- FIAT. 2005. Norma interna da Fiat: Fiat Auto Normazione. Sedi Valvola In Materiale Sinterizzato. F. A. Powertrain Ltda. Engenharia de Manufatura. Tecnologia de Ferramentas. Betim-MG.
- Karpat, Y.; Özel, T., 2007, "Mechanics of high speed cutting with curvilinear edge tools." International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol. 48. pp. 195–208.
- Kress, D., 1974, "El escariado con altas velocidades." Tese de Doutorado, Universidad de Stuttgart, Stuttgart.
- Machado, A. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., da Silva, M. B., 2009, "Teoria da Usinagem dos Materiais", Ed. Blucher, São Paulo, Brazil, 373p.
- Maia, L. H. A.; 2009, "Influência das Condições de Corte do Fresamento do Aço Baixa Liga ABNT 4140 nos Sinais Vibracionais e de Emissão Acústica." Dissertação de Mestrado, PUC Minas, Belo Horizonte.

- Santos, S. C., Sales, W. F., 2007, “Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais”, Ed. Artliber, São Paulo, Brazil, 246p.
- Siqueira, I. L., 2009, “Estudo da Usinagem de Sedes de Válvulas de Admissão de Motores de Combustão Interna.” Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia.
- Siqueira, I. L., Lacerda, H. B., Martins, P. S., de Souza Jr., A. M., 2009, “Boring of the Admission Valves of the Internal Combustion Engines.”, Proceedings of the COBEM 2009, Vol. 1, Gramado, Brazil, pp. 1-10.
- Weinert, K., Adams F. J., Biermann, D., Thamke, D., 1998, “Alargadores de corte único: corte mais eficiente, além de vantagens econômicas.” Revista Máquinas e Metais, São Paulo, n 392, pp 38-57.
- Zhou, J. M.; Walter, H.; Andersson, M.; Stahl, J. E.; 2003, “Effect of chamfer angle on wear of CBN cutting tool.” International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 43, Issue 3, pp. 301-305.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INFLUENCE OF THE CONFIGURATION OF THE TOOL IN QUALITY OF RINGS AND VALVE GUIDES IN SINTERED STEEL

Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@br.fptpowertrain.com¹

Luís Henrique Andrade Maia, luishmaia@gmail.com²

Querlem Saraiva, querlem.saraiva@br.fptpowertrain.com¹

Arnaldo Silva, arnaldo.silva@br.fptpowertrain.com¹

José Rubens Gonçalves Carneiro, joserub@pucminas.br²

Paulo Sérgio Henrique, pauloshenrique@ig.com.br¹

Jánes Landre Júnior, janes@pucminas.br²

Wisley Falco Sales, wisley.sales@gmail.com³

¹Fiat Powertrain, Av. Do Contorno da Fiat, 3455 CEP: 32530-490 Betim – MG.

²PUC Minas, Av. Dom José Gaspar 500, prédio 10, Coração Eucarístico CEP: 30535-401 Belo Horizonte - MG

³UESC, Campus Soane Nazaré de Andrade - Rodovia Ilhéus-Itabuna, km 16 CEP: 45662-900 - Ilhéus, BA.

Abstract: *The work materials used in the composition of the head block need adequate tool for machining. Valve guides and rings have fundamental importance in the acquittal and in the good operation of internal combustion engines. Concentricity errors between the components can result in excessive noise in the engine operation and harm your acquittal. The boring quality and the surface of support of the ring the valve are the importance fundamental. So, chatters deviations are monitoring for that obtain precision of the conditions generated by the tool. In this work chatters errors were monitored and compared in two tool types. The tests are realized with the follow cutting parameters: for the valve guide, cutting speed (vc) of 95m/min, rotation of 6000rpm and feed rate of 450mm/min was evaluated. For the machining of the ring used the cutting speed of 95m/min, rotation of 900rpm and advance of 45mm/rev, both with cutting fluid. The cutting fluid was one of the emulsionable type with 8% concentration and pression of 30 bar. The tests were maked using two types of tools. After finish the tests, the workpieces were cold until the environment temperature and measure in the metrology laboratory. This measure were compared between the tools. It was noted that the tool with inserts of PCBN and expander of cemented carbide used in the machining of the rings and valve guides presented better results.*

Keywords: *Machining, Sintered Steel, Boring, Superficial Quality.*