

ELIMINAÇÃO DE OPERAÇÃO NA CONFEÇÃO DE FUROS EM PEÇAS AUTOMOTIVAS EM LIGA ALUMÍNIO-SILÍCIO

Luís Henrique Andrade Maia, luishmaia@gmail.com¹
Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@br.fptpowertrain.com²
José Rubens Gonçalves Carneiro, joserub@pucminas.br¹
Wiliam Melo, wiliam.melo@br.fptpowertrain.com²
Jánes Landre Júnior, janes@pucminas.br¹
Wisley Falco Sales, wisley.sales@gmail.com³

¹ PUC Minas, Av. Dom José Gaspar 500, prédio 10, Coração Eucarístico CEP: 30535-401 Belo Horizonte - MG.

² Fiat Powertrain, Av. Do Contorno da Fiat, 3455 CEP: 32530-490 Betim – MG

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

Resumo: Na conjuntura econômica atual, cada minuto é de suma importância na execução de operações de usinagem em um ambiente fabril. Furos estão presentes em diversos diâmetros e profundidades no cabeçote de motor em liga de Al-Si-Cu, e necessitam ser usinados no menor tempo possível dentro de estreitas faixas de tolerância dimensional, forma (cilindricidade, circularidade) e parâmetros de superfície (R_a , R_t e R_z). Neste cenário propôs-se um trabalho no qual desenvolveu-se uma ferramenta capaz de fazer em uma única operação, furação e o alargamento do furo no cabeçote do motor. No processo anterior, as etapas se davam com furação utilizando broca em metal duro e subsequentemente o alargamento com ferramenta em PCD. Com a nova ferramenta constituída por brocas de metal duro integral com superfície de saída polida, pode-se diminuir o tempo de ciclo do processo e tentou-se manter os parâmetros de acabamento e de forma do produto. Desse modo analisou-se erros de forma, circularidade e cilíndricidade e os parâmetros de rugosidades R_a , R_z e R_t em ambos os processos e comparou-os entre si. Em ambos os processos manteve constantes a rotação em 10.000rpm, a velocidade de avanço (v_f) em 3240mm/min e velocidade de corte (v_c) em 376m/min. Comparando ambas as operações, notou-se que a operação com a nova ferramenta obteve resultados muito próximo aos obtidos no processo anterior.

Palavras-chave: Usinagem, Liga Alumínio-Silício, Furação, Qualidade de furos, Erros de forma.

1. INTRODUÇÃO

Em um ambiente fabril, a execução de operações para confecção e composição de peças deve ser feita rápida e eficientemente, uma vez que cada hora-peça é onerosa e a busca por uma excelente relação custo/produção deve ser sempre alcançada.

O conceito de manufatura enxuta (LEAN MANUFACTURING) é hoje o mais utilizado em indústrias automobilísticas. Com ela se norteia toda a produção. Mas ela por si só já não garante a liderança e a economia a essas indústrias, uma vez que esse conceito é regra às principais montadoras do mercado.

Fleury (1995) e Slack *et al.* (2007) dizem que existem cinco formas de competição no mercado. Preço, qualidade, performance de entrega e prazo, flexibilidade e inovação. Obtê-las em um processo é de suma importância para as indústrias nos dias de hoje.

A otimização dos processos é hoje a grande salvaguarda das indústrias a fim de conseguir a máxima produtividade com seus investimentos e assim se manterem competitivas no mercado.

Nos processos de usinagem, existem diversos meios de se otimizá-los. Substituição de ferramentas, monitoramento do processo, aglutinação de operações, diminuição de tempo de setup são hoje os métodos mais comuns de se conseguir otimizar a produção de processos de usinagem.

Segundo Baptista e Coppini (2001), a otimização na usinagem depende de dois parâmetros: a redução dos tempos não-produtivos, como tempos de fila e outros tempos passivos que envolvam tarefas humanas e a redução dos tempos produtivos, onde envolve o processo de usinagem como um todo.

Ainda segundo Baptista e Coppini (2001), com relação aos tempos produtivos, existem uma série de trabalhos abordando o tema, uns relacionando com estratégia de corte utilizada como Chen *et al.* (1989) e Chua *et al.* (1993), que abordam a diminuição da movimentação em vazio ou da diminuição do tempo de corte através da realização de um

menor número de passes, isso respeitando características da máquina-ferramenta da própria ferramenta e da peça (potência, rigidez, tolerância dimensional, etc.). Outros trabalhos tratam da otimização dos parâmetros de corte para o sistema máquina-ferramenta-peça envolvido, adequando velocidade de corte (v_c) a um intervalo de máxima eficiência (IME) (Fig. 1), obtendo assim um mínimo custo com uma máxima eficiência (DINIZ *et al.*, 1989).

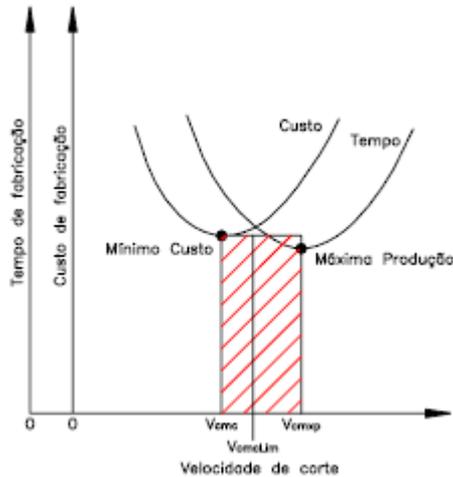


Figura 1 – Gráfico de Intervalo de Máxima Eficiência (IME) (DINIZ *et al.* 1998).

Essa otimização muitas vezes não é adotada na indústria. Levando à substituição de ferramentas por outras mais evoluídas tecnologicamente. Essa substituição faz com que se otimize o processo, mas não com que se obtenha a máxima performance da operação. Isso acontece, pois na indústria, a cadeia produtiva é muito dinâmica. O ganho de desempenho do processo atual muitas vezes não compensa os tempos de setup dos equipamentos que implicam em hora parada e assim perda de investimento. Desse modo a maioria das indústrias opta pela substituição de ferramentas.

A troca da ferramenta para execução de uma operação pode gerar economia de tempo, melhoria do processo e até economia monetária.

Ligas de alumínio são muito usadas por uma larga gama de indústrias, por apresentarem boas propriedades mecânicas e baixa densidade.

A usinagem de ligas de alumínio é dita como fácil, pelo fato do alumínio apresentar uma baixa temperatura de fusão, o contato ferramenta-peça produzirá sempre menos calor se comparado com aços e que poderiam comprometer as dimensões da peça usinada, a vida da ferramenta ou até mesmo promover mecanismos termicamente ativos (TRENT e WRIGHT, 2000).

Porém a presença de silício (em mais de 10%) como reforço de liga de alumínio resulta em uma baixa usinabilidade devido a aceleração da razão de desgaste da ferramenta causada principalmente por abrasão (GURGEL, 2006). Além disso, o silício apresenta maior ponto de fusão e dureza do que o alumínio e desse modo os largos cristais de Si resultam em uma usinagem com maiores tensões e temperaturas na interface ferramenta-peça (TRENT e WRIGHT, 2000).

As ligas de alumínio-silício têm um campo de aplicação abrangente por agruparem boas propriedades de resistência mecânica e resistência à corrosão e baixa densidade (SANTOS e SALES, 2007).

Outro aspecto decisivo é o fato que na usinagem de liga de alumínio-silício é baixa a força exigida na ferramenta e esta tende a diminuir levemente quando a velocidade de corte é aumentada. Isso foi um fator decisivo a incorporação de duas operações em uma única ferramenta.

Para a produção da peça em questão, cabeçote de motor da FPT Powertrain, é realizada diversas operações de usinagem, tais como furação, alargamento, rosqueamento, mandrilamento, fresamento e operação de lavagem. A troca das ferramentas é automática conforme a seqüência do programa de usinagem, executada por módulos CNC inseridos nas unidades Transfer e nos centros de usinagem.

A furação é um processo de usinagem utilizado para obtenção de superfície cilíndrica circular interna, sendo esta coaxial ao eixo de rotação do movimento de corte. A rotação pode ser tanto da peça quanto da ferramenta, simultaneamente ao deslocamento de uma delas segundo trajetória retilínea ou paralela ao eixo de rotação da máquina. (NOVASKI, 1996). Ela é um dos processos de usinagem mais utilizados na indústria manufatureira. A grande maioria das peças em qualquer tipo de indústria tem pelo menos um furo, e somente pequena parte dessas peças já vem com o furo pronto a partir da peça bruta na fundição, forjamento, etc.

A furação é considerada a mais barata entre os processos para obtenção de furos nas operações industriais. A aplicação de outros processos só se justifica no caso de a operação apresentar características que não sejam atendidas pelo processo tradicional de furação. O processo de furação considera a relação entre o diâmetro e o comprimento do furo, a qual depende da técnica utilizada e do desvio de linearidade requerido. Métodos mais simplificados permitem que o comprimento do furo seja até três vezes maior que seu diâmetro para que ainda se consiga boa qualidade do furo.

A utilização de ferramentas, técnicas e equipamentos especiais permitem a elevação desta relação para oito. Sistemas especiais de furação, como os que utilizam brocas canhão, o sistema ejetor drilling e o sistema BTA (boring and trepanig association), permitem a execução de furos com relação entre comprimento e diâmetro superior a 100 na faixa de diâmetro de 6 a 750mm. A cinemática do processo de furação ocorre da seguinte maneira: uma força f é aplicada perpendicularmente a superfície da peça com uma rotação U (Fig. 2). Essa rotação U , auxiliada pela geometria da ferramenta imprimem uma velocidade de corte v_c na ponta da ferramenta que impõe também a velocidade de saída de cavaco. A velocidade de avanço v_f é imposta pela força f . A rotação U juntamente com a força f determina a velocidade efetiva de corte v_e (MARTINS *et al.*, 2008).

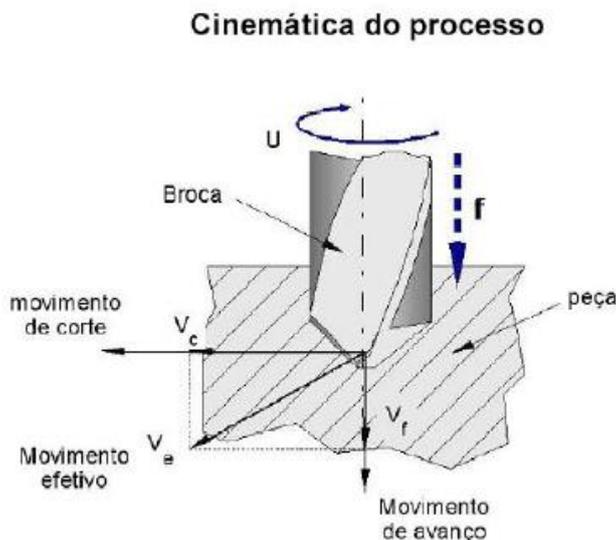


Figura 2 – Cinemática do Processo (MARTINS *et al.*, 2008).

Segundo Weinert *et al.* (1998), o primeiro contato da ferramenta com o pré-furo deve ser igual em 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 cilindridade em furos desalinhados, e recomenda um erro de alinhamento entre o pré-furo e o alargador menor que 0,020 mm.

Alargamento de furos é geralmente desempenhada pela operação de mandrilamento. O mandrilamento é um processo de usinagem convencional geralmente usado para o alargamento de furos. Essencialmente, as condições de mandrilamento diferem pouco daquelas verificadas no torneamento, porém a operação ilustra a importância da rigidez em processos de usinagem, principalmente quando a mesma é realizada em furos com grande comprimento, diâmetro interno pequeno e com uma ferramenta monocortante (GUAITA *et al.*, 2007).

A ferramenta utilizada no mandrilamento é semelhante a uma fresa (MACHADO *et al.* 2009).

Parâmetros de qualidade em produção são verificados a fim de garantir efetividade do processo e adequação de peças aos parâmetros solicitados.

Desvio de forma das superfícies real com relação aos geométricos que os definem, micrométricos (rugosidade) e macrométrico (retilidade, circularidade, cilindridade e planicidade). O erro de posição tem grau de variação dentre as diversas superfícies reais entre si, com relação ao seu posicionamento teórico. O desvio composto apresenta formas de posição desvios de batimento radial e axial. Tolerância de retilidade: é a condição pela qual cada linha deve estar limitada dentro do valor de tolerância especificada. Tolerância de forma de superfície circularidade: o campo de tolerância é limitado por duas superfícies envolvendo esferas de diâmetro igual à tolerância especificada e cujos centros estão situados sobre uma superfície que tem a forma geométrica correta (MARTINS, 2008).

A circularidade é uma tolerância de forma macrogeométrica, que tem relação com os diâmetros encontrados na peça quando medida. As diferenças do círculo real para o círculo teórico são genericamente denominadas ovalizações. Tolerância de circularidade é a variação entre duas circunferências do ponto mais afastado do centro, ao ponto mais próximo. O campo de tolerância no plano considerado é limitado por dois círculos concêntricos.

Tolerância de cilindridade: é a condição pela qual a zona de tolerância especificada é a distância radial entre dois cilindros coaxiais.

Kress, (1974) encontrou resultados insatisfatórios no desvio de cilindridade em furos desalinhados, e recomenda um erro de alinhamento entre o pré-furo e o alargador menor que 0,020 mm.

A cilindridade também é uma tolerância de forma macrogeométrica, que tem relação com os cilindros coaxiais. A diferença entre estes cilindros coaxiais é a cilindridade. O campo da tolerância de cilindridade é limitado por dois cilindros coaxiais, distantes em “ t ” (ISO-3002, 1982-1984).

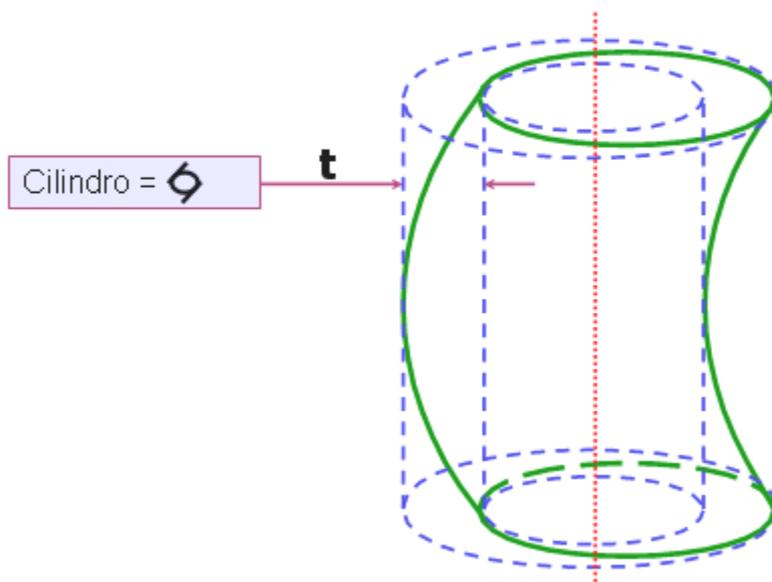


Figura 3 – Representação de cilindridade (TAYLOR, 2000).

Portanto, neste trabalho serão investigados dois processos para a obtenção de furos em liga de Al-Si-Cu: o processo atual, que se utiliza de duas ferramentas de corte (broca e alargador) e o novo processo que se utiliza de uma única ferramenta, híbrida, que realiza as duas operações.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

No processo anterior fazia-se a usinagem dos furos em dois processos, sendo que as etapas seguiam em um processo de carregamento automático da máquina. As etapas eram: furação do bloco em liga Al-Si-Cu utilizando de broca de metal duro fixada em mandril hidráulico deixando um sobremetal de 0,5mm. Os comprimentos do furo eram de 20mm, com diâmetro de 10,5mm. Subsequentemente utilizava-se uma ferramenta com facas em PCD soldado que fazia o alargamento do furo para 11mm com tolerância H7.

A cada ciclo do processo as trocas são automáticas, mantendo as coordenadas do furo iguais.

No novo processo introduzido, uma broca de dois diâmetros composta de metal duro polido substitui as duas operações. A broca faz o mesmo processo efetuando o desbaste e acabamento em um único passe mantendo a tolerância H7.

A fim de comprovar a efetividade do novo processo, o submeteu a testes de modo a compará-lo com o processo anterior e assim adequá-lo às condições de engenharia impostas a peça. Desse modo avaliou-se em ambos os processos, cilindridade, circularidade e rugosidade R_a , R_z e R_t .

Os testes foram realizados usinando lotes de 10 peças com dois furos para cada situação, enviando as peças ao laboratório metrológico para realização de controle de superfície dimensional e erro de forma (cilindridade e circularidade). A condição para controle foi feita após climatização das peças em temperatura de 21° graus. Os aparelhos de mediação utilizados são dotados de programas automáticos, para medição da superfície utilizou-se filtro Gaussiano de 1:15. O comprimento definido para controle do erro de forma foi definido conforme mencionado no processo produtivo, ou seja, 10mm da face do plano da peça.

Esses resultados foram tratados em comparados entre si.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes foram realizados efetuando dois furos contrapostos em um lote de dez cabeçotes. Em cada peça foi feita a média dos parâmetros avaliados.

Avaliando a cilindridade dos furos em relação ao número de peças (Fig. 4), nota-se que a cilindridade média do processo conjugado (broca e alargador) em uma única etapa foi maior na grande maioria das peças do que no processo convencional com duas ferramentas, exceto em uma. Isso acontece, pois a força de corte no processo convencional é menor uma vez que nele a broca prepara o furo deixando 0.5mm de sobre-metal. Avaliando os valores pontuais, nota-se que, em sua grande maioria, os valores de cilindridade para o processo convencional são mais dispersos se comparados com os valores do processo conjugado, aparentando este ter mais consistência.

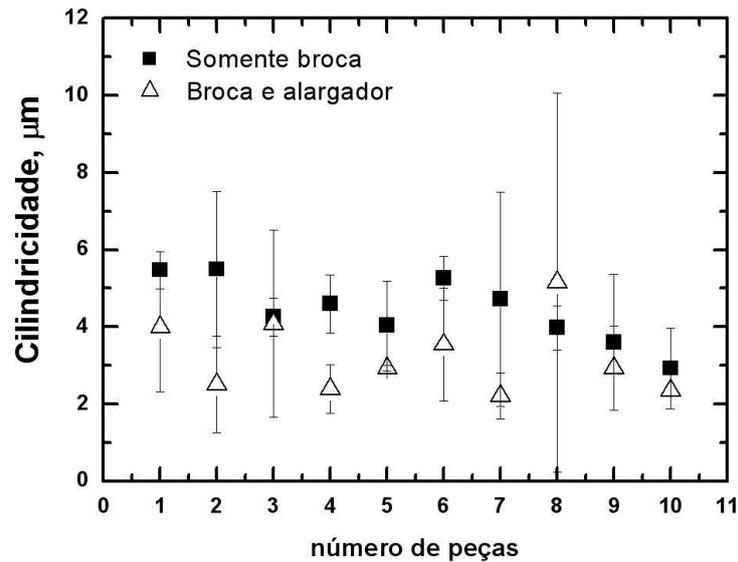


Figura 4 – Cilindricidade pontual e suas médias em relação ao número de peças.

Analisando a circularidade em relação aos furos (Fig. 5), nota-se que, assim como a cilindridade média, a circularidade média do processo de operação única (broca e alargador) apresenta valores maiores em sua grande maioria em relação ao processo convencional (duas ferramentas), o que mais uma vez pode ser explicado pelos esforços de corte menores no processo com uma ferramenta. Avaliando os valores pontuais, vê-se que, ao contrário do ocorrido na cilindridade, os valores do processo convencional foram menos dispersos que o processo conjugado.

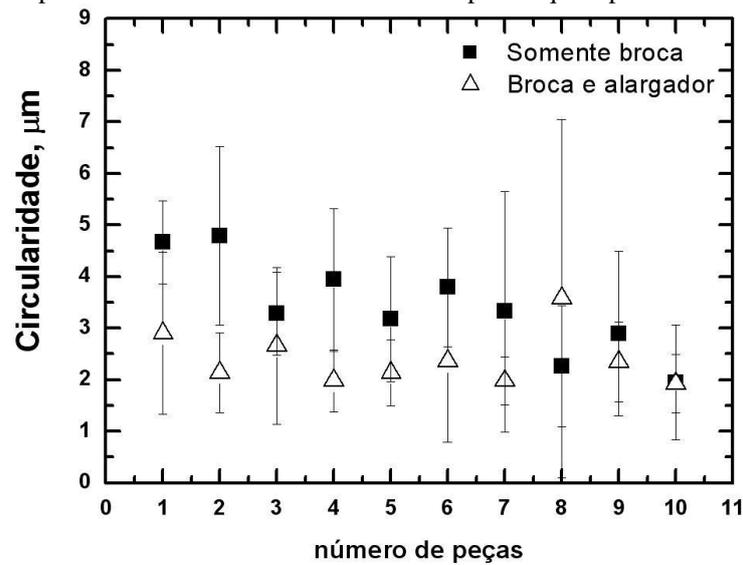


Figura 5 – Circularidade pontual e suas médias em relação ao número de peças.

Visualizando a rugosidade (R_a) em relação ao número de peças (Fig. 6) nota-se que as médias das rugosidades (R_a), são menores no processo modificado que no processo convencional. Apesar disso, os valores pontuais do processo convencional foram menores que os do novo processo.

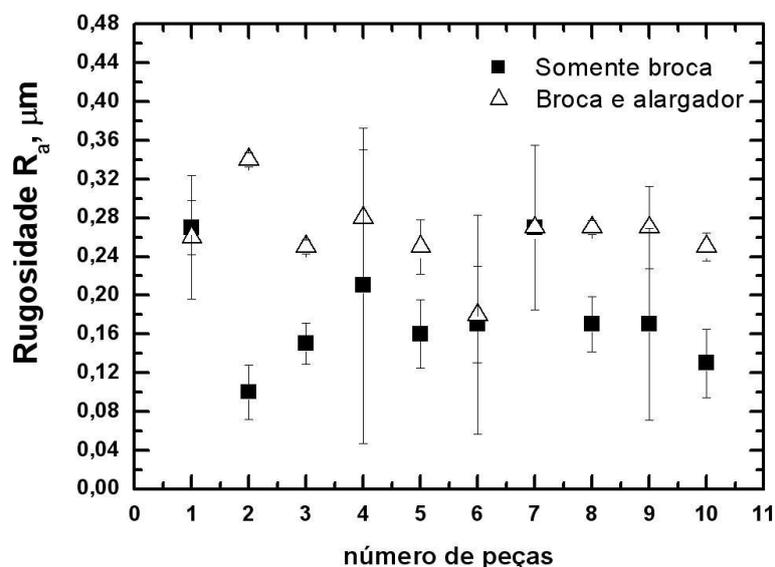


Figura 6 – Rugosidade (R_a) pontual e suas médias em relação ao número de peças.

Analisando a rugosidade R_t em relação ao número de peças (Fig. 7), vê-se que as médias da rugosidade (R_t) do processo modificado foram menores que as do processo convencional, o que também acontece com a maioria dos valores pontuais. Analisando os valores das médias nota-se também uma maior homogeneidade de resultados do processo modificado em relação ao convencional.

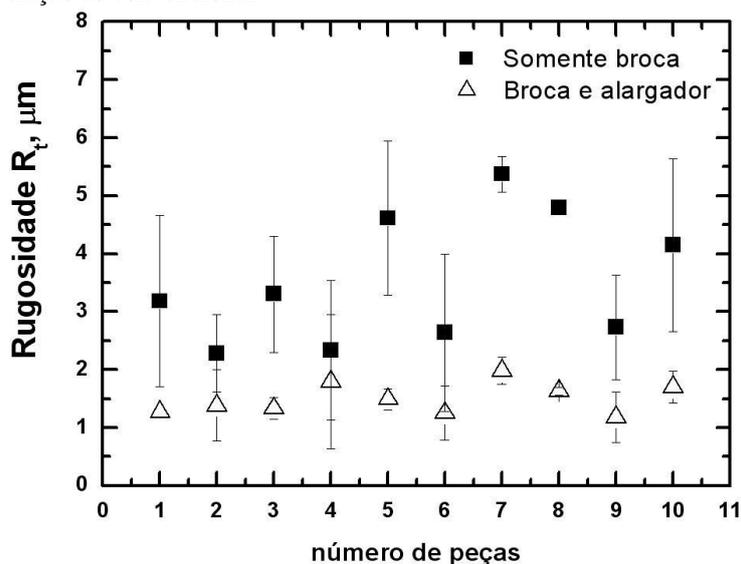


Figura 7 – Rugosidade (R_t) pontual e suas médias em relação ao número de peças.

Analisando agora a rugosidade R_z em relação ao número de peça (Fig. 8), vê-se que as médias da rugosidade (R_z) do processo modificado apresentaram maiores valores que os do processo convencional, mas visualizando os valores pontuais nota-se que, assim como nos outros parâmetros analisados, os valores do processo modificado foram menores em sua maioria que os do convencional.

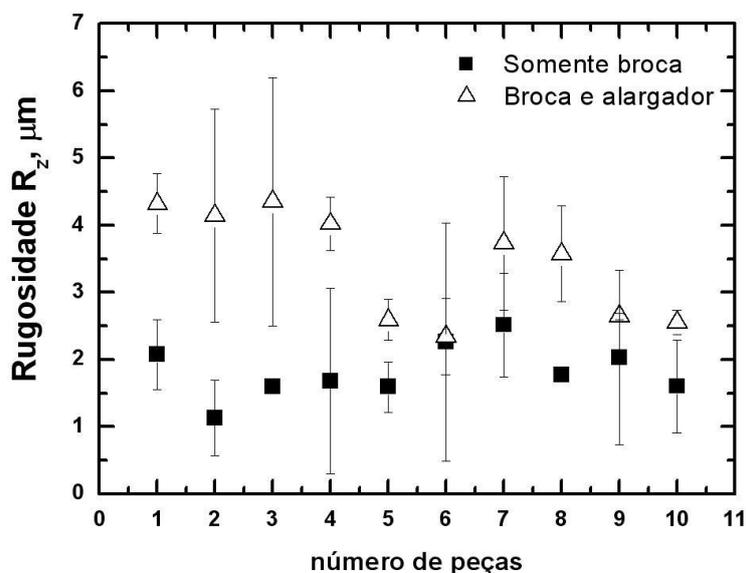


Figura 8 – Rugosidade (R_z) pontual e suas médias em relação ao número de peças.

4. CONCLUSÕES

Avaliando os parâmetros analisados, nota-se que de um modo geral o processo modificado é realmente uma melhor opção, uma vez que além de diminuir o tempo de set-up, conseguiu bons resultados.

Embora o processo conjugado ter apresentado piores resultados de médias em alguns parâmetros (cilindricidade, circularidade e R_t), nesses os valores pontuais foram menos dispersos no processo conjugado, o que demonstra uma certa homogeneidade do processo. Nos outros parâmetros ele apresentou valores pontuais semelhantemente dispersos em relação ao processo convencional.

Apesar de comparar dois furos em apenas dez peças ser muito pouco para fazer conclusões objetivas sobre os processos, pode observar que o processo modificado conseguiu bons resultados, o que demonstra a grande capacidade dele. Depois de mais estudos, ele poderá substituir o processo convencional com grande primazia.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FPT Powertrain pelas informações e laboratórios.

6. REFERÊNCIAS

- Baptista, E. A., Coppini, N. L., 2001, "Maximizando o Lucro: Otimizando Processos de Usinagem com Auxílio de Sistema Especialista." Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Vol. 1, Salvador, Brazil, pp. 1-10.
- Chen, S. J., Hinduja, S., Barrow, G., 1989, "Automatic tool selection for rough turning operations." International Journal of Machining Tools of Manufacturing, v. 29, n.4, pp. 535-553.
- Chua, M. S., Rahman, M., Wong, S. Y., Loh, H. T., 1993, "Determination of optimal cutting conditions using design of experiments and optimization techniques." International Journal of Machining tools of Manufacturing. v. 33, n.2, pp. 297-305.
- Diniz, A. E., Coppini, N. L., Vilella, R. C., Rodrigues, A. C. S., 1989, "Otimização das condições de usinagem em células." Máquinas e Metais, São Paulo, Brazil, n.281, pp. 48-54.
- Fleury, A., 1995, "Quality and Productivity in the Competitive Strategies of Brazilian Industrial Enterprises World Development." International Journal of Operations and Production Management. Vol. 23, No.1.
- Guaita, J. M. N., Machado, A. R., Melo, A. C. A., 2007, "Comportamento das Forças de Usinagem no Mandrilamento Interpolado." Anais do 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Vol. 1, Cusco, Peru, pp. 1-10.
- Gurgel, A. G., 2006, "Utilização de Métodos Numéricos e Técnicas de Monitoração do Processo de Furo-Rosqueamento na Usinagem de uma liga Al-Si-Cu." Dissertação de Mestrado, PUC Minas, Belo Horizonte.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO 3002: Basic quantities in cutting and grinding - Part 1: Geometry of the active part of cutting tools - General terms, reference systems, tool and working angles. Geneva: 1982.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO 3002: Basic quantities in cutting and grinding - Part 2: Geometry of the active part of cutting tools - General conversion formulae to relate tool and working angles. Geneva: 1982.

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO 3002: Basic quantities in cutting and grinding - Part 3: Geometric and kinematic quantities in cutting. Geneva: 1984.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO 3002: Basic quantities in cutting and grinding - Part 4: Forces, energy, power. Geneva: 1984.
- Kress, D. El, 1974, “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.
- Martins, P. S., Maia, L. H. A., Sales, W. F., 2008, “Avaliação do Sistema de Fixação de Brocas de Metal Duro Integral na Usinagem de Ligas de Al-Si-Cu em Altas Velocidades de Corte.”, Anais do V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Vol. 1, Salvador, Brazil, pp. 1-10.
- Novaski, O., 1996. “Contribuição ao Processo de Furação com Brocas Helicoidais”. Tese de Livre Docência, UINICAMP, Campinas.
- Santos, S. C., Sales, W. F., 2007, “Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais”, Ed. Artliber, São Paulo, Brazil, 246p.
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R., 2007, “Administração da Produção”, Ed. Atlas, São Paulo, Brazil, 749p.
- Trent, E. M.; Wright, P. K., 2000, “Metal Cutting”, 5. Ed., Butterworths-Heinemann Ltd.
- 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, p 38-57.

7. DIREITOS AUTORAIS

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



ELIMINATION OF OPERATION IN THE CONFECTION OF DRILL OF THE HEAD BLOCK OF THE ENGINE IN ALUMINUM-SILICON ALLOY

Luís Henrique Andrade Maia, luishmaia@gmail.com¹
Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@br.fptpowertrain.com²
José Rubens Gonçalves Carneiro, joserub@pucminas.br¹
Willian Melo, wilian.melo@br.fptpowertrain.com²
Jánes Landre Júnior, janes@pucminas.br¹
Wisley Falco Sales, wisley.sales@gmail.com³

¹ PUC Minas, Av. Dom José Gaspar 500, prédio 10, Coração Eucarístico CEP: 30535-401 Belo Horizonte - MG.

² Fiat Powertrain, Av. Do Contorno da Fiat, 3455 CEP: 32530-490 Betim – MG

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

Abstract: *In the actual economic conjuncture, each minute is of substantial importance in the execution of operation of machining in a fabril environment. Drills are present in many diameters and depth in the head block of the Fire engine in Al-Si-Cu alloy and need to be machined in the small time possible inside straits zone of the dimensional tolerance, shape (cilindricity, circularity) and surface parameters (R_a , R_t and R_z). In this scenario it was proposed a work in which develop a tool capable to do in a only operation, drilling and the enlargement of the drill in the head block of the engine. In the previous process, the stage were drilling using hard metal drill and after enlargement with PCD tool. With the new tool constituent for integral hard metal drills with polished exit surface, it can reduce cycle time of the process and try keep on the finish and shape parameters of the product. So analysed shape errors (cilindricity, circularity) and roughness parameters (R_a , R_z and R_t) in both process and it compared them amongst themselves. In both process keep constant the rotation in 10000rpm, the speed of advance (v_f) in 3240mm/min and the cutting speed (v_c) in 376m/min. Comparing both operations, it was noted that operation with the new tool obtained very close results to the obtained in the previous process.*

Keywords: *Machining, Aluminun-Silicon Alloy, Drilling, Drill Quality, Shape Errors*