

CONTROLE DE ESFORÇO DA FERRAMENTA PARA PROCESSOS DE USINAGEM: AUTO_FEEDRATE

Roberto Giani Pattaro Junior^{1,2}

Wallyson Thomas Alves da Silva^{3,1}

Amauri Hassui^{2,1}

¹ Faculdade SENAI Roberto Mange, Rua: Pastor Cícero Canuto de Lima 71 Campinas - SP

² Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Rua: Mendeleev, 200 - Cidade Universitária, Campinas - SP
roberto.gjunior@sp.senai.br¹, wallyson.silva@sp.senai.br², ahassui@fem.unicamp.br³,

Resumo. O monitoramento do processo de usinagem é apresentado como uma alternativa para o aumento da produtividade, qualidade no acabamento e precisão dimensional. Neste projeto foi monitorada a potência efetiva do spindle do centro de usinagem durante o processo de furação, com o objetivo de alterar os dados de corte automaticamente, aumentando assim a eficiência da usinagem. Esse monitoramento é importante, pois visa preservar a fixação da peça no dispositivo, bem como garantir a integridade e durabilidade da ferramenta. O material utilizado foi o ferro fundido cinzento automotivo, que mesmo normalizado possui variações de dureza em determinadas regiões da peça devido à formação da sua estrutura sólida cristalina. Atualmente, é possível aliar os recursos do controle numérico ao dispositivo de fixação para solucionar problemas de movimentação de peças, evitando, assim, os esforços excessivos gerados pela variação de dureza do material. Tais problemas causam transtornos gerando refugo, quebra, desgaste prematuro da ferramenta e possíveis problemas de qualidade do produto. Então, levando em consideração o apresentado, desenvolveu-se uma rotina de controle automático do avanço, responsável em monitorar e alterar os dados de corte, sem variação no processamento do programa principal e eliminando possíveis problemas de usinagem. Os resultados obtidos nesse experimento mostraram-se satisfatórios.

Palavras chave: Usinagem de ferro fundido. Monitoramento da ferramenta. Desgaste de ferramenta. Controle de avanço.

1. INTRODUÇÃO

Para competir economicamente, com o foco voltado em concorrência global, as empresas fabricantes de peças industriais precisam ter capacidade para reagir a curto prazo, com preços atraentes e atendendo necessidades do cliente. É fundamental saber fabricar diversos produtos e um dos principais aspectos de gestão estratégica da indústria atual é a sua relação com a usinagem e o meio ambiente. Conforme Conte e Schütze (2007), a otimização do processo de usinagem está diretamente relacionada à capacidade de interação do usuário com a máquina. Por sua vez, o conceito de gestão estratégica é definido como um levantamento das situações atuais da empresa buscando avaliar a existência e a adequação das estratégias vigente dentro da instituição, bem como se estão oferecendo os resultados esperados. Dois fatores importantes para essa sobrevivência são os esforços para garantir a qualidade do produto e a redução de custos com ferramentas.

Com um mercado exigente e a necessidade de maior precisão nos produtos usinados, é extremamente importante manter a qualidade dos produtos no que diz respeito ao dimensional e acabamento das peças. Dessa forma, tem sido notado que materiais forjados tendem a ser grandes causadores de refugos por causa de desvio dimensional e acabamento, bem como quebra de ferramentas ocasionados durante o processo de fabricação.

Neste artigo o enfoque será uma alternativa para evitar o desgaste prematuro da ferramenta em condições onde o material fundido a ser usinado pode apresentar variações na dureza e na movimentação da peça no dispositivo, garantindo assim a integridade da ferramenta e o aumento de sua vida útil. Esse experimento oferece uma solução para evitar custos desnecessários e problemas relacionados com a qualidade do produto.

2. METODOLOGIA

Este capítulo tem por objetivo demonstrar os procedimentos adotados e as técnicas utilizadas para analisar os efeitos do spindle em relação ao avanço da ferramenta monitorada para acompanhamento do desgaste.

A fim de preservar o sigilo industrial e outras informações que possam ser relevantes no âmbito da confidencialidade, serão dados nomes fictícios para identificar o processo de operação e fabricação das peças. Para a peça em questão, será dado o nome de “carcaça” e para a ferramenta utilizada, o nome de “broca escalonada”.

O material da peça estudada tem a denominação e classificação de *Automotive Gray Cast Iron* norma SAE J431/Grade: 3000 e possui a dureza de 187-241 Brinnell Hardness.

Na usinagem das carcaças, foi estudado somente o processo de furação na qual o índice de desgaste da broca tem sido um agravante importante no consumo de brocas escalonadas.

2.1. Máquina Utilizada

A máquina utilizada para a usinagem das peças foi um centro de usinagem vertical com 5 eixos, modelo DZ 15 FX com duplo *spindle* do fabricante Chiron equipada com controle numérico Siemens 840D Power Line.

2.2. Ferramenta Utilizada no Processo de Usinagem

Para a usinagem das carcaças, foi utilizada uma broca com duas entradas e perfil especial construída de acordo com as condições de usinagem, tipo de material e condições gerais do equipamento.

A broca escalonada foi construída com metal duro, recebeu um revestimento PVD (Deposição Física de Vapor) e cobertura hélica (nome também conhecido como revestimento em nanocamadas voltada para furação e indicada para aços de baixa liga, ferros fundidos e alguns tipos de aços inoxidáveis) (SANDVIK COROMANT, 2017).

A broca escalonada possui 5 diâmetros diferentes, cujo objetivo desse perfil é fazer a furação da peça de uma só vez mantendo as medidas necessárias descritas no projeto da carcaça. Essa técnica é muito utilizada atualmente a fim de reduzir o tempo de usinagem nos processos industriais.

Na figura 1, pode-se notar que a broca escalonada contém passagem de refrigeração interna com furos de 1,5mm cada, e nela está sendo aplicada uma pressão de fluido refrigerante de 40bar visando ajudar a expulsar os cavacos de forma eficiente dos furos e ao mesmo tempo fazer o resfriamento da ferramenta.

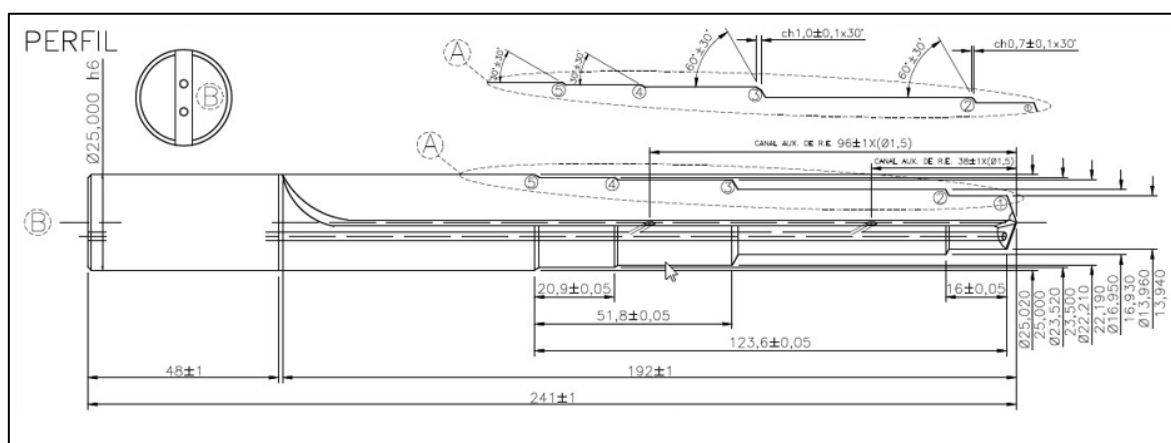


Figura 1 - Perfil da broca de metal duro

Os parâmetros de corte utilizados na usinagem foram de 400 mm/min de avanço, uma rotação de 3450 rpm e uma velocidade de corte de 270 m/min, conforme sugerido pelo fabricante da ferramenta. A quantidade mínima de metal a ser removido é influenciada por vários fatores, a exemplo da composição e da dureza da peça de trabalho. Por se tratar de uma furação, a formação do cavaco é considerada um fator importante para a eficiência da operação. Se for pouco material a ser removido, a ferramenta irá apenas atritar a peça, ao invés de cortá-la, resultando em danos tanto para a ferramenta como para a superfície usinada.

2.3. Controle e monitoramento de esforço da ferramenta

Neste tópico será abordada a utilização e o funcionamento de uma sub-rotina que recebe o nome de *AUTO_FEEDRATE*¹. Ela tem por objetivo proteger as ferramentas especiais de alto custo ou ferramentas que devem ser monitoradas na operação anterior à ferramenta principal contra quebras ou danos e, por consequência, proteger a máquina de possíveis esforços e/ou colisões desnecessárias. O *AUTO_FEEDRATE* é uma sub-rotina que, quando está ativada, monitora a potência solicitada pelos motores dos *spindles*, controla os limites dos esforços da ferramenta e em caso de sobre-esforço, gera um alarme de anomalia.

A princípio, esse recurso não foi desenvolvido para controlar a vida útil da ferramenta, pois seu principal objetivo é monitorar os esforços e reduzir o avanço em caso de necessidade. Para controlar a vida útil da ferramenta, utiliza-se o controle de vida útil de ferramentas já disponível nos controles Siemens 840D. A figura 2 demonstra a ordem exata em que o parâmetro R110 e a chamada da sub-rotina *AUTO_FEEDRATE* deve estar disposta no programa de usinagem,

¹ *AUTO_FEEDRATE* – Avanço automático da ferramenta

bem como o bloco a ser monitorado. O conteúdo da sub-rotina *AUTO_FEEDRATE* é de autoria própria, contém cálculos complexos e, no entanto, não será disponibilizado neste artigo devido aos direitos intelectuais do Autor.



Figura 2 - Disposição da rotina no programa de usinagem

Então, para utilizar este recurso é necessário que uma cópia da sub-rotina *AUTO_FEEDRATE* esteja ativada e carregada na pasta de subprogramas do controle Siemens 840D, que os parâmetros referentes às variáveis de sincronização do sistema estejam habilitados (opcional) e que a ordem acima descrita no exemplo de aplicação seja seguida. A imagem abaixo mostra a localização da sub-rotina *AUTO_FEEDRATE*.

Nota: Os parâmetros de variáveis de sincronização do sistema não são itens que vêm habilitado de fábrica nos equipamentos com o controle numérico Siemens 840D. Isso se deve ao fato de que cada parâmetro de sincronização tem função distinta, que pode ser utilizada para outras aplicações.

Em primeiro lugar, deve-se determinar qual será o bloco que será monitorado. Definido isso, faz-se necessário adicionar duas linhas antes do bloco escolhido contendo as seguintes informações:

```
N190 R110 = VALOR
N200 AUTO_FEEDRATE
N210 G1 Z-295 F400
```

Onde:

R110 é a variável que armazena o valor da potência determinada como o máximo para a ferramenta monitorada.

VALOR é o valor de potência máxima efetiva admitida pela ferramenta, lembrando que a unidade de potência adotada pelo sistema é *Watt*.

AUTO_FEEDRATE é a sub-rotina que deverá controlar e monitorar a ferramenta no instante que a linha a seguir for executada pelo programa de usinagem.

N210 G1 Z-295 F400 é a linha do programa, ou seja, a operação em que o controle e o monitoramento ocorre.

Esse recurso se apresenta de forma muito maleável onde é possível monitorar várias operações dentro do programa sem perder tempo de ciclo de usinagem, garantindo assim melhor desempenho no processo produtivo.

2.4. Funcionamento da Sub-rotina

Segundo SIEMENS (2014a), as variáveis de sincronização *\$AA_LOAD*, *\$AA_TORQUE*, *\$AA_POWER* e *\$AA_CUR* estão disponíveis no acionamento SIMODRIVE 611 e são ativadas pelos dados da máquina AXIS MD 36730 (SPM), MD 19320 e MD 19340 respectivamente. Cada máquina dessa realiza a aquisição de dados do motor do *spindle* para se obter a captura *online* dos valores de corrente do motor e, desta forma, parametrizar através de uma linguagem de programação o controle de corrente. Esse controle tem como objetivo monitorar e executar tarefas que podem ser programadas para uma aplicação que seja necessária.

Uma vez que o programa de usinagem esteja rodando em ciclo automático e a linha *R110 = VALOR* é executada, o valor dado ao parâmetro *R110* é automaticamente transferido para a posição *R110* da tabela de “Variáveis R” do controle Siemens 840D.

Logo em seguida, a linha *AUTO_FEEDRATE* é executada e então a sub-rotina é ativada. Nesse instante, o bloco escolhido passa a ser monitorado e a potência solicitada pelo *spindle* é constantemente medida e comparada com o valor de *R110*. Uma vez que a potência solicitada pelo *spindle* ultrapassar o valor determinado no parâmetro *R110*, o avanço é reduzido automaticamente, e assim que, a potência solicitada pelo *spindle* diminui ou volta para a sua condição normal, o avanço aumenta automaticamente, porém nunca ultrapassa o valor nominal programado. Se o avanço for reduzido abaixo de 50% do valor nominal, o alarme “61255 – Bloco 5: ERRO DURANTE O CORTE: FERRAMENTA

QUEBRADA? ”é exibido na tela e a máquina é imediatamente parada. O mesmo alarme é exibido se durante o monitoramento a potência solicitada pelo *spindle* ultrapassar 50% do valor determinado.

2.5. Parâmetro R

Através do monitoramento de algumas grandezas coletadas, torna-se possível um melhor entendimento do Parâmetro R, que são extraídas da sub-rotina *AUTO_FEEDRATE*. Essas são exibidas na tela de “Variáveis R”, conforme lista abaixo.

- R110 = Valor máximo de potência determinado para esta ferramenta.
- R111 = Valor de referência para início da sub-rotina.
- R112 = Valor de referência para início da compensação.
- R113 = Valor de tolerância (compensação) negativa.
- R114 = Potência do *spindle* 1.
- R115 = Potência do *spindle* 2.
- R116 = Potência em W sendo compensada no *spindle* 1.
- R117 = Potência em W sendo compensada no *spindle* 2.
- R118 = Valor percentual sendo compensado no *spindle* 1.
- R119 = Valor percentual sendo compensado no *spindle* 2.
- R120 = Em caso de alarme: Exibe o número do *spindle* com a ferramenta em más condições.

Com a sub-rotina já carregada e ativada na pasta de subprogramas, foram utilizadas nesse experimento três ferramentas em condições diferentes de uso. Nesse caso, uma broca nova e sem uso, uma broca re-afiada pela ferramentaria e uma terceira broca que os técnicos de manufatura consideraram como uma broca no fim de sua vida útil. O critério utilizado para a vida útil da ferramenta foi definido por padrão visual. Os passos a seguir foram realizados com a broca nova, onde foi iniciado o programa de usinagem em modo automático, no caso de o alarme (61255) ser exibido, o valor de R110 deverá ser aumentado com incrementos de 50 e o programa de usinagem reiniciado até que o furo seja executado sem alarmes. Algumas peças foram usinadas enquanto os valores dos parâmetros R116 e R117 ficassem próximo de zero. O ajuste fino em R110 deve ser feito gradativamente, aumentando ou diminuindo os valores para que os parâmetros R116 e R117 se estabilizem em zero. Deve-se anotar o valor encontrado e repetir o mesmo procedimento com a broca re-afiada e a broca no fim de vida útil. Com a posse de 3 valores distintos tem-se:

R110 = 2150 – Com a broca nova.

R110 = 2330 – Com a broca re-afiada.

R110 = 2490 – Com a broca no fim da vida útil.

Para calcular o valor da potência teórica foi utilizado a equação a seguir:

$$P_c = \frac{K_s \cdot A \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} = W$$

$$P_c = \frac{1310 \cdot 386,73 \cdot 270}{60000} = 2279,77 \text{ W}$$

Onde:

P_c = Potência de corte

K_s = Pressão específica de corte do material (conforme ilustra a figura 3)

A = Área de corte ($\pi \cdot r^2$) – utilizado o diâmetro médio

v_c = Velocidade de corte dada em m/min (270 m/min)

W = Resultado de potência em Watt

PRESSÃO ESPECÍFICA DE CORTE “K _s ” PARA OS MATERIAIS MAIS COMUNS					
Peça			Pressão Específica de Corte (K _s), N/mm² para condições de usinagem:		
Tipo do Material	Classificação	Dureza Brinell (HB)	Geral	Acabamento	Desbaste
Aço inoxidável	AISI 17-4 ph	275-300	2070	2730	2020
Ferro fundido cinzento	SAE G3000	180-200	1310	1640	1310
Ferro fundido maleável	ASTM 65-45-12	150-175	1420	1800	1420
Liga de Titânio	AMS Ti-6Al-4V	275-300	1720	1860	1670
Liga de Níquel	Inconel 718	275-300	2840	3580	2760
Liga de Alumínio	AMS 2024	120-140 Carga de 500 KG	820	930	790

Figura 3 - Tabela de pressão específica de corte

Nota-se que o valor calculado para a potência de corte nesse processo foi de 2280 W, portanto, levando-se em conta alguns fatores de usinagem, tais como, perfil da broca escalonada e as aletas que formam o perfil da peça, o valor real encontrado foi de 2150 W que corresponde a 6% menor que o valor calculado. Dessa forma, é considerado coerente os valores encontrados tanto no cálculo aplicado quanto na prática utilizada para definir a potência de uma broca nova.

O próximo passo será adicionar 25% de tolerância sobre o valor mais alto:

$$R110 = 2490 * 1.25$$

$$R110 = 3112,5$$

Desse valor, deve-se arredondar para 3112, ou seja, durante o monitoramento será admitido que a potência máxima que a broca poderá solicitar do spindle será de 3112 W. Esse procedimento deverá se repetir com todas as ferramentas que se deseja monitorar. Caso seja notado que alarmes constantes apareçam na tela, alguns fatores podem ser a causa dessa ocorrência, tais como: alteração de dados de corte, alteração da rotação, modelos diferentes de brocas, afiação fora do especificado, etc. O parâmetro R120 oferece a possibilidade de visualizar o número do *spindle* no qual o alarme ocorreu, apresentando então qual a ferramenta está no limite máximo de uso, portanto para:

$$R120 = 1 - \text{Spindle 01.}$$

$$R120 = 2 - \text{Spindle 02.}$$

3. Resultados

A influência do monitoramento do esforço da ferramenta *AUTO_FEEDRATE* nesse processo de usinagem trouxe grandes benefícios, evidenciou-se a possibilidade de aliar um conjunto de fatores que podem contribuir diretamente a favor de um processo produtivo. Por se tratar de economia e demanda de produção, a fabricação da broca de metal duro foi dotada de um perfil escalonado, levando em consideração o tempo de usinagem proposto na fabricação da carcaça, ainda assim, a cobertura hélica veio trazer maior durabilidade à ferramenta. As condições de usinagem da carcaça são influenciadas pela irregularidade da fundição, fixação da peça no dispositivo e diferenças na dureza superficial do material. Para melhorar ainda mais o processo e garantir produtividade, o monitoramento do esforço da ferramenta *AUTO_FEEDRATE* trouxe uma economia muito considerável, já que sem o monitoramento a quebra das brocas escalonadas ocorria com frequência gerando paradas excessivas de máquina para *setup*² e custos demasiados em ferramentais.

A produtividade nesse caso passou de 630 peças para 900 peças por ferramenta, portanto, houve um aumento de 43% de produção com a mesma broca e os custos com compras de novas brocas caíram de R\$ 26.400,00 mensais por máquina para apenas R\$ 9.600,00 mensais. Levando em conta que as ferramentas deixaram de quebrar, houve ainda mais um benefício extra que o corpo técnico especialista nesse processo avaliou: a ferramenta pode ser re-afiada várias vezes. Dessa forma, o impacto econômico e a eficiência de produtividade desse experimento tiveram um alto valor agregado, onde a sua aplicação poderá ser implementada em outros inúmeros processos produtivos.

4. Conclusões

A busca pela melhora da produtividade é cada vez maior, exigindo na maioria das vezes a redução no tempo de produção e menores custos que, por sua vez, não é uma tarefa muito fácil. A implementação do monitoramento de esforço da ferramenta *AUTO_FEEDRATE* no processo de usinagem contribuiu de forma relevante para a economia dos custos do processo produtivo, sem prejudicar o tempo de usinagem e a qualidade do produto adotado inicialmente. Tais contribuições obtiveram resultados acima da expectativa, pois a vantagem desse recurso é que, por ser flexível, pode ser utilizado em diversas situações onde os fatores de usinabilidade possam ser um problema. Além de diminuir os custos com ferramentas devido à quebra excessiva de brocas, foram apontados outros benefícios derivados desse, por exemplo, houve uma redução de tempo de parada de máquina para a substituição de ferramenta quebrada ou desgastada excessivamente. Outro fator importante e positivo que deve ser considerado nesse experimento é a preservação do equipamento, ou seja, com a extinção da quebra das brocas, o risco de colisão da ferramenta subsequente é nulo.

O *spindle* de uma máquina CNC é um dos conjuntos mecânicos considerados mais sensíveis do equipamento, pois esse conjunto além de receber esforços radiais e axiais excessivos, é responsável pela qualidade e precisão do produto acabado. Por se tratar de conjuntos de grande precisão, sua manutenção e substituição tem elevado custo agregado. Dessa forma, cabe salientar que o monitoramento do esforço da ferramenta possibilita mais essa vantagem preventiva.

Por fim, sugere-se para trabalhos futuros uma investigação mais detalhada da utilização desse recurso de monitoramento do *spindle* aplicado no eixo Z para outros eixos de máquina. Isso requer maiores estudos e detalhes aprimorados sobre a funcionalidade do equipamento em questão.

5. Referências

² *Setup* - É o tempo decorrido para a troca (ferramenta, programa, equipamento) de um processo em execução até a inicialização do próximo processo produtivo.

- CONTE, E. G; SCHÜTZE, K. **Data acquisition strategy for open cnc monitoring in hsm process.** In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 19th, 2007, Brasília. Proceedings... Brasília: ABCM, 2007. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/268804916>>. Acesso em: 20 maio 2017.
- SANDVIK COROMANT. **Cobertura PVD.** Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/ptpt/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/coating---pvd.aspx>. Acesso em: 02 set. 2017.
- SIEMENS. **Sinumerik 810D/840D: reading out the drive data via the NCVAR selector. 2014a.** Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/print/document/90161753/sinumerik-810d-840d:-reading-out-the-drive-data-via-the-ncvar-selector?print_97036ti=0&lc=en-SA>. Acesso em: 13 maio 2017.
- WERKE, Chiron. **Características da máquina Chiron.** 2017. Disponível em: <https://chiron.de/pdf/series/BR15_GB_TD_112016.pdf>. Acesso em: 02 set. 2017.

TOOL STRAINING CONTROL FOR MACHINING PROCESSES: AUTO_FEEDRATE

Roberto Giani Pattaro Junior^{1,2}
Wallyson Thomas Alves da Silva^{3,1}
Amauri Hassui^{2,1}

¹ Faculdade SENAI Roberto Mange, Rua: Pastor Cícero Canuto de Lima 71 Campinas - SP

² Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Rua: Mendeleev, 200 - Cidade Universitária, Campinas - SP
roberto.gjunior@sp.senai.br¹, wallyson.silva@sp.senai.br², ahassui@fem.unicamp.br³,

Abstract. Machining process monitoring is presented as an alternative for increased productivity, finish quality and dimensional accuracy. In this project the effective power of the spindle of the machining centre during the drilling process was monitored, in order to change the cutting data automatically, thus increasing the machining efficiency. This monitoring is important because it aims to preserve the fixation of the part in the device, as well as guarantee the integrity and durability of the tool. The material used was automotive gray cast iron, which even has standardized hardness variations in certain regions of the part due to the formation of its crystalline solid structure. Nowadays, it is possible to combine the features of the numerical control with the clamping device to solve problems of movement of parts, thus avoiding the excessive efforts generated by the variation of the hardness of the material. Such problems cause disruption resulting in scrap, breakage, premature tool wear and possible product quality problems. Then, taking into account the presented, an automatic advance control routine was developed, responsible for monitoring and altering the cutting data, without variation in the main program's processing and eliminating possible machining problems. The results obtained in this experiment were satisfactory.

Keywords: Machining of cast iron. Tool monitoring. Tool wear. Feed rate control.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.