

MÉTODO PARA OBTENÇÃO DO TEMPO REAL DE USINAGEM EM CICLOS AUTOMÁTICOS DE FURAÇÃO

Method for Obtaining the Real Time in Machining Cycles Automatic Drilling

Cavallari, Silvio José

Faculdade de Jaguariúna

RESUMO: A atual competitividade imposta pelo mercado faz com que a demanda por atualizações tecnológicas nas indústrias ocorra numa velocidade cada vez maior. No processo de fabricação por usinagem esta demanda por atualizações é amplificada pelo longo lead time deste processo e de sua importância no setor de manufatura, em busca da otimização e máximo rendimento das máquinas-ferramentas, as empresas investem softwares, onde se destacam os modelos CAM. Atualmente os softwares CAM, na representação gráfica da simulação da usinagem, consideram apenas a trajetória da ferramenta em avanço programado, desconsiderando o tempo de avanços rápidos em seu cálculo, gerando uma discrepância no tempo gerado pelo sistema com o real obtido na usinagem. Além disso, os processos decisórios da previsão de tempo da ferramenta em uma máquina CNC estão baseados em conhecimentos implícitos ao programador CAM. Em função disso, este artigo apresenta o desenvolvimento de um modelo matemático sendo comprovado em um estudo de caso para apoio ao sistema de informação da manufatura no cálculo do tempo dos ciclos de furações em máquinas CNC.

PALAVRAS CHAVES: ciclo furação, máquinas CNC, programa NC, usinagem.

ABSTRACT: The current competitive nature of the market makes the demand for technology upgrades in industries occur in an increasing speed. In manufacturing by machining process updates this demand is amplified by the long lead time of this process and its importance in the manufacturing sector in the pursuit of maximum performance and optimization of machine tools, companies invest software, which highlights the CAM models. Currently CAM software, the graphical representation of the simulation machining, consider only the tool path programmed in advance, disregarding the time of rapid advances in its calculation, generating a discrepancy in time generated by the system with the actual obtained in machining. Moreover, decision-making processes of weather forecast tool on a CNC machine are based on the implicit knowledge CAM programmer. As a result, this paper presents the development of a mathematical model is demonstrated in a case study to support the manufacturing information in the calculation of the cycle time of drilling on CNC machine system.

KEYWORDS: Cycle drilling, CNC Machines, NC program, machining.

INTRODUÇÃO

As maiorias das empresas metalúrgicas que trabalham com uma variabilidade grande de itens em sua carteira de produtos encontram dificuldade em realizar a previsão dos tempos de produção de maneira exata, impactando em orçamentos errados e, conseqüentemente prejuízos para empresa (SLACK *et al*, 2002).

Sendo assim, a economia da usinagem tem sido um campo de interesse de muitos pesquisadores (SATISHKUMAR & ASOKAN, 2008), por isso a exigência e a constante busca por excelência no processo de desenvolvimento de um produto visam sempre obter a redução de todos os custos relacionados com a fabricação. Dentro desta busca a tecnologia CAM/CNC é a que mais se adéqua e seu uso tem se intensificado cada vez mais (YOUJIANG *et al*, 2010).

A introdução do CNC nas máquinas-ferramentas iniciou-se a partir da década de 70, possibilitando a utilização de uma linguagem de programação para o comando das máquinas, desenvolvendo uma integração entre a manufatura e as demais fases da cadeia do desenvolvimento do produto transformando o programa NC num elemento importante nessa integração.

Segundo Guo *et al* (2006), “o programa NC desempenha um papel vital na usinagem CNC”, sendo o responsável por informar, por meio de uma linguagem própria de programação e de coordenadas do plano cartesiano, a trajetória da própria ferramenta e os parâmetros de corte para que a máquina possa executar a usinagem.

No início, sua aplicação nas indústrias encontrou grandes restrições decorrentes do grande número de fabricantes de CNC possuidores de suas próprias linguagens de programação, fazendo com que surgisse em 1978 a, norma ISO 6983, criando assim uma linguagem universal de programação NC. Esta linguagem de programação foi de extrema importância para a aplicação do programa NC no ambiente industrial e é até hoje utilizada como padrão mundial de programação.

No entanto, esta linguagem não abrange todos os ciclos próprios dos CNC, tais como: ciclos automáticos personalizados, sub-rotinas, e funções

especiais, fazendo com que a programação destes recursos exija programas NC específicos para cada modelo de CNC (ALBERTI *et al*, 2011) . A geração do programa NC pode ser realizada através de dois métodos: programação manual e programação CAD/CAM conforme representa a figura 1.

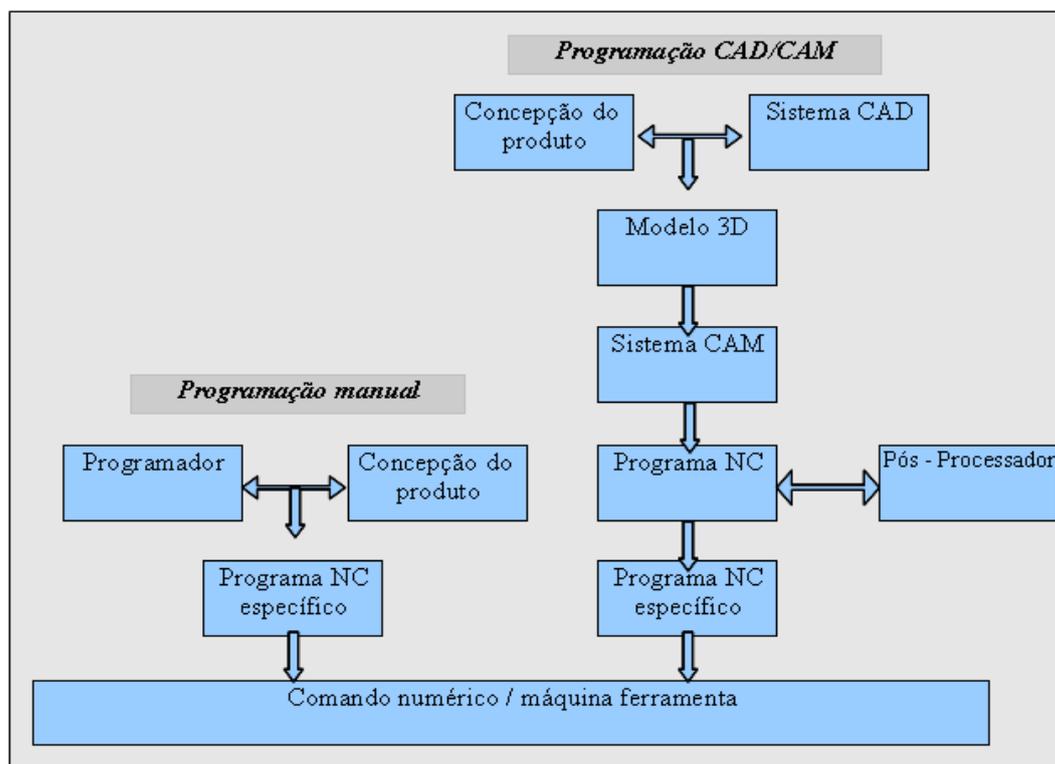


Figura 1: Métodos de geração do programa NC

Na programação CAD/CAM, o programador fornece ao sistema CAM o modelo geométrico da peça a ser usinada, por sua vez gerada pelo sistema CAD, a dimensão da matéria-prima, estratégias de usinagem e parâmetros tecnológicos. Com estes dados, o sistema CAM calcula a trajetória da ferramenta e gera primeiramente um arquivo neutro, conhecido como CLDATA (*cutter location data file*), que contém apenas o percurso da ferramenta representado por coordenadas no plano cartesiano (MCMAHON, BROWNE, 1999). Esse arquivo pode ser reconhecido apenas pelo sistema CAM, não tendo função para máquina CNC, por não possuir linguagem de programação, ou seja, comandos de movimento.

Um módulo adicional, na maioria dos casos integrado ao sistema CAM, conhecido como pós-processador, é o responsável por transformar o arquivo

neutro em programa NC, contendo a linguagem apropriada para o CNC em questão (YE *et al*, 2008).

Atualmente a maioria dos softwares CAM responsáveis pela geração de programa NC para máquinas de usinagem não informam o tempo de avanço rápido, apenas registram o tempo de contato entre a ferramenta e a peça, por isso existe uma grande dificuldade em obter o tempo real de usinagem quando o programa ainda está em sua fase de criação principalmente em operações que necessitam frequentemente do avanço rápido em sua execução, como exemplo podemos citar os ciclos de furação e roscamento.

Em toda máquina CNC pode-se verificar que os processos decisórios sobre parâmetros de corte e estratégias de usinagem são determinados através dos conhecimentos implícitos do programador CAM, sendo que, para isto, os sistemas CAM fornecem como indicadores de desempenho a simulação virtual de colisão do par ferramenta-peça e o tempo de usinagem teórico (YURDAKUL, 2009).

Neste sentido, a simulação virtual de colisão no sistema CAM tem sido amplamente desenvolvida de forma a ser atualmente uma ferramenta eficaz para o programador NC simular as colisões que poderão existir na execução do programa NC. Porém, o mesmo não pode ser afirmado em relação aos indicadores de tempo real de usinagem (WO, 2010).

É muito comum encontrar diversos questionamentos no que diz respeito ao motivo pelo qual os tempos obtidos através da programação da manufatura através de um software CAM são tão diferentes dos tempos obtidos durante o processo de usinagem. A resposta encontrada para estas questões é que os sistemas CAM são apenas ferramentas que permitem a programação de movimentos, sem visão das condições dinâmicas da máquina, tais como curvas de aceleração e desaceleração, comportamento das vibrações e quais estratégias são aplicáveis para minimizar estes efeitos (RODRIGUES, 2010).

Em uma máquina CNC seu desempenho é alterado também pela sua estrutura, que tem como objetivos principais fornecer rigidez, precisão, estabilidade térmica e facilidade de operação. Para máquinas de alta performance, essas características devem ser fornecidas dentro do contexto de

rápidas taxas de avanço, alta rotação e rápida aceleração. Essas características variam de acordo com a especificação de cada máquina (ARNONE, 1988).

Entre as principais características de desempenho de uma máquina podemos citar a sua precisão geométrica. Infelizmente, a precisão geométrica de uma máquina-ferramenta é muitas vezes esquecida pelos compradores, porque encarecem muito o valor de venda da máquina, além de exigir uma mão de obra mais qualificada e possuir uma manutenção e componentes com um alto custo. A precisão geométrica é avaliada por meio dos parâmetros de esquadro, retinilidade, paralelismo e ovalização, características dinâmicas das máquinas-ferramentas que se tornaram importante sujeito da pesquisa da indústria mecânica (WAIWAI, 2009).

Uma máquina de usinagem CNC consiste em parte mecânica, eletrônica e a unidade CNC. A parte mecânica consiste em estruturas, colunas, montagem do eixo árvore, mecanismos de velocidade de avanço. A motorização do eixo árvore e do sistema de avanço e seus servos amplificadores, unidade de potencia de alta voltagem e sensores de limites fazem parte da eletrônica da máquina. O sistema CNC consiste em unidade computadorizada, sensores de posição e velocidade para cada mecanismo de avanço (ALBERTI *et al*, 2011).

O operador transmite o programa NC gerado pelo CAM para o CNC, que processa as informações e geram os comandos de posições numéricas, velocidades de avanço e rotação. O CNC periodicamente executa controle digital que mantém a velocidade de avanço da ferramenta e seu percurso programado através de sensores de medição informando o tempo de usinagem (ALTINTAS, 2000).

Arnone (1998) aborda esse problema relacionando o Tempo de Resposta de Máquina (TRM) e o tamanho do segmento da trajetória da ferramenta.

Monaro e Helleno (2010) afirmam que em um sistema CAM o indicador de tempo de usinagem, denominado como Tempo de Usinagem CAM (TUCAM), é determinado pela somatória dos percursos realizados com avanço rápido (Deslocamentos de aproximação e recuo – G0) e dos percursos

realizados com avanço programado (movimentos de corte – G1), conforme ilustrado na Equação abaixo.

Com isso verifica-se que a variação da velocidade de avanço em função das inversões de movimento conforme a geometria da trajetória da ferramenta não é levada em consideração na determinação do tempo de usinagem, fazendo com que haja uma considerável diferença entre o tempo de usinagem CAM e o tempo real de usinagem informado pelo CNC.

Devido a essa diferença de registro de tempo existente nos módulos CAM esse artigo tem como objetivo desenvolver um método para obtenção do tempo real de usinagem em um ciclo de furação por meio da análise da trajetória da ferramenta com o desenvolvimento de um modelo matemático que usará a velocidade e os caminhos percorridos pela ferramenta durante a usinagem para a extração do tempo e comprová-lo em um estudo de caso.

DESENVOLVIMENTO DOS TESTES

Sabendo-se da real necessidade da obtenção dos tempos de fabricação na programação das estratégias de usinagem em inúmeras empresas metalúrgicas, foi realizado um estudo de caso comparando o tempo real de um ciclo de furação medido na máquina no processo de usinagem e o tempo calculado por um sistema desenvolvido em Excel, conseguindo resultados expressivos e comprovando o modelo criado.

Para a obtenção dos tempos de usinagem, foi desenvolvido um sólido que utilizasse vários tipos de processos de furação diferentes em sua fabricação, o material utilizado na fabricação foi SAE1020, foi desenvolvido o programa NC no software GUIBBS CAM e a máquina utilizada para teste foi um Centro de Usinagem Romi modelo Discovery 1250 com comando SiMENS SINUMERIK 840D.

Os tempos obtidos na programação CAM e no processo de furação da peça na máquina estão representados nas figuras 3 e 4.

<u>TEMPOS DE FURAÇÕES – CAM</u>			
	AVANÇOS		
OPERAÇÕES	500 mm/min	1000 mm/min	1500 mm/min
FURAÇÃO DESCARGA	40 seg.	20 seg.	13 seg.
FURAÇÃO QUEBRA CAVACO	24 seg.	12 seg.	8 seg.
FURAÇÃO CONTÍNUA	12 seg.	6 seg.	4 seg.
ROSCAMANTO	4 seg.	2 seg.	1 seg.

Figura 2: Tabela de tempos de furações CAM

<u>TEMPOS DE FURAÇÕES – MÁQUINA</u>			
	AVANÇOS		
OPERAÇÕES	500 mm/min	1000 mm/min	1500 mm/min
FURAÇÃO DESCARGA	105 seg.	85 seg.	65 seg.
FURAÇÃO QUEBRA CAVACO	38 seg.	25 seg.	21 seg.
FURAÇÃO CONTÍNUA	13 seg.	7 seg.	5 seg.
ROSCAMANTO	5 seg.	3 seg.	1 seg.

Figura 3: Tabela de tempos de furações medidos na máquina

A partir do estudo feito pela análise dos dados obtidos nos tempos de furação entre o sistema CAM e a usinagem na prática, concluiu-se que o sistema CAM não registra os tempos de avanços rápidos (G0), causando uma grande variação entre os tempos de usinagem reais e os gerados pelo software.

Devido à falta de informação no sistema CAM foi desenvolvido uma planilha para calcular o tempo de usinagem do processo de furação com descarga na profundidade de 300 mm considerando avanço de 500 mm/min e uma descarga a cada 10 mm de profundidade. De acordo com a análise dos dados foram desenvolvidas as seguintes fórmulas para cálculo dos tempos:

Cálculo do avanço programado ($\Delta G1$):

$$\Delta G1 = Q * (Pen + Seg)$$

Cálculo do avanço rápido ($\Delta G0$):

$$\Delta G0 = \sum_{n=Q-1}^{n=1} (n * Pen) + \sum_{n=Q-1}^{n=1} [n * (Pen + Seg)] + Q * (Pen + Seg) + Aprox - Seg$$

Sendo:

$$Q = (Pt / Pen)$$

Onde:

Pt = profundidade total (mm)

Pen = profundidade de penetração (mm)

Seg = segurança de deslocamento (2 mm)

Aprox = aproximação da ferramenta

Cálculo do tempo de avanço programado da furação:

$$\Delta T1 = \Delta G1 / Av.$$

Onde:

$\Delta G1$ = distância percorrida pela ferramenta em avanço programado (mm)

Av = avanço da broca (mm/min)

$\Delta T1$ = tempo total da operação de avanço programado (min)

** Cálculo do tempo de avanço rápido da furação:*

$$\Delta T2 = \Delta G0 / Av.$$

Onde:

$\Delta G0$ = distância percorrida pela broca em avanço rápido (mm)

Av = avanço rápido da máquina (mm/min)

$\Delta T2$ = tempo total da operação em avanço rápido (min)

Tempo total de operação:

$$\Delta T = (\Delta T1 + \Delta T2)$$

Onde:

ΔT = tempo total de operação (min)

$\Delta T1$ = tempo total da operação em avanço programado (min)

$\Delta T2$ = tempo total da operação em avanço rápido (min)

Com a criação do sistema no aplicativo Excel foi possível realizar os cálculos dos tempos da operação de furação com descarga na profundidade de 300 mm considerando avanço de 500 mm/min e uma descarga a cada 10 mm de profundidade, obtendo-se o resultado de 98 segundos e o tempo real medido na máquina foi de 105 segundos.

A variação de tempo existe, pois cada máquina possui uma condição dinâmica diferente, tais como suas curvas de aceleração e desaceleração podem variar alterando o tempo de deslocamento em G0.

De acordo com essa característica existente em todas as máquinas CNC fica necessário inserir na equação de tempo um fator de compensação para que o tempo calculado fique mais próximo ao tempo real, independente da máquina que seja feita a usinagem.

Essa compensação pode variar de acordo com as características específicas de cada máquina, mantendo um ajuste de 6% a 10% na fórmula do cálculo dos tempos de furações desenvolvida no sistema.

Então, a fórmula final para o cálculo do tempo de furação com descarga será:

$$\Delta T = (\Delta T1 + \Delta T2) * Cd.$$

Onde:

ΔT = tempo total de operação (min)

$\Delta T1$ = tempo total da operação em avanço programado (min)

$\Delta T2$ = tempo total da operação em avanço rápido (min)

Cd. = Compensação dinâmica

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande dificuldade em realizar a previsão dos tempos de produção de maneira precisa quando o programa NC ainda está em sua fase de concepção no CAM, está claramente relacionado aos movimentos de avanços rápidos, que são específicos em cada tipo de máquina e não são considerados na estimativa do tempo na simulação da usinagem feita pelo CAM, conclui-se que entre os fatores que mais interferem na variação do tempo de avanços

rápidos são o desempenho dinâmico da máquina e o tempo de resposta do CNC, fatores que o CAM não leva em consideração no cálculo de tempo, por isso com a criação de um sistema para a medição desses tempos, considerando os fatores pendentes atuará na melhoria contínua dos processos, possibilitando à empresa informações importante para uma melhor gestão dos tempos de usinagem e custos envolvidos com a fabricação do produto. Como sugestão de novos trabalhos, pode-se avançar as pesquisas para a concepção dos tempos de todos os outros processos de fabricação na programação CAM, podendo até ser desenvolvido um sistema que apresente o tempo real de qualquer usinagem partindo da leitura do programa NC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTI, M. Et Al. **Design Of A Decision Support System For Machine Tool Selection Based On Machine Characteristics And Performance Tests**. The International Journal Of Manufacture, 2011, Issue 15, Pages 263-277.

ALTINTAS, Y. **Manufacturing Automation**. USA, Cambridge University Press, 2000. ISBN 0-521-65973-6 (Pbk).

ARNONE, M. **A High Performance Machining**. USA, Cincinnati: Editora Hanser Gardner Publications, 1998. ISBN 1-56990-246-1.

GUO X. Et Al. **A Study Of A Universal Nc Program Processor For A Cnc System**. The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology. Volume 36, Numbers 7-8, 738-745, 2006.

HABERB, R. *et al.* **A Classic Solution For The Control Of A High-Performance Drilling Process**. International Journal Of Machine Tools And Manufacture, Volume 47, Issue 15, December 2007, Pages 2290 - 2297.

MCCMAHON, C.; BROWNE, J. **Cad/Cam Principles, Practice And Manufacturing Management**. 2ª Ed. 1999.

MONARO, R. A.; HELLENO, A. L. **Desenvolvimento De Um Índice De Desempenho Dinâmico (Iddyn) Para Avaliação Da Estratégia De Usinagem Em Máquinas-Ferramentas**. Vi Congresso Nacional De Engenharia Mecânica, Campina Grande, 2010.

RODRIGUES, M. A.. **Não Culpe O Cam Pelo Tempo Perdido Na Usinagem. Máquinas E Metais**, São Paulo, V. 46, N. 529, P. 128 – 131. Fev. 2010.

Santos, Aldeci V. Et Al. **Usinagem Em Altíssimas Velocidades**. São Paulo: Editora Érica, 2003.

SATISHKUMAR, S.; ASOKAN, P. **Selection Of Optimal Conditions For Cnc Multitool Drilling System Using Non-Traditional Techniques.** Int. J. Machining And Machinability Of Materials, Vol. 3, Nos. 1/2, 2008.

SHUNMUGAN, M.S., BHASKARA, S.V. E NARENDRAN, T.T. **Optimal Selection Of Parameters In Multi Tool Drilling.** International Journal Of Material Processing Technology, Vol. 103, Pp.318–323, 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHSTON, R. **Administração Da Produção,** São Paulo: Editora Atlas, 2ª Edição, 2002.

YE, ZHEN-HONG *et al.* **Research And Improve Operating Efficiency Of The Model Numerical Control Processing Program.** Light Industry Machinery, Vol. 26, N°3, Pages 86-89, June 2008.

YOUJIANG, W; *et al.* **The Research of CNC Machine Appearance Design Based on Evolution Theory.** Proceedings Of The 2010 Ieee Iccmit, January 2010, Pages 875 - 879.

YURDAKUL, M., & TANSEL, Y. **Analysis Of The Benefit Generated By Using Fuzzy Numbers In A Topsis Model Developed For Machine Tool Selection Problems.** Journal Of Materials Processing Technology, 2009, 310–317.

WAIWAI, WANG. **Finite Element Analysis Of Dynamic Charateristic For The Xk717 Cnc Milling Machine.** International Conference On Measuring Technology And Mechatronics Automation, Ieee Computer Society, 2009.

WU, CHI-HAUR; XIE YUJUN. **Linking Product Design In Cad With Assembly Operations In Cam For Virtual Product Assembly.** Paper Presented At 2010 Ieee International Conference On Robotics And Automation, September.

Sobre o autor:

SILVIO JOSÉ CAVALLARI JUNIOR

E-mail: silviocavallari@hotmail.com

E-mail: silvio.cavallari@teadit.com.br