



DETERMINAÇÃO DO PERCURSO DA FERRAMENTA DE CORTE COM PARÂMETROS OTIMIZADOS PARA UM SISTEMA CAD/CAPP/CAM COM PEÇAS ROTACIONAIS

Sérgio Murilo V. de Andrade¹, Noemia Gomes de Mattos de Mesquita², Hugo Marcelo B. de Carvalho³, Davi Pessoa Ferraz⁴, Dário Pessoa Ferraz

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica

(1) smvandrade@hotmail.com, (2) ngmm@npd.ufpe.br, (3) hugombc@hotmail.com, (4) davipf@npd.ufpe.br - Recife, PE, Brasil

Resumo. A competitividade entre as empresas de usinagem, tanto no mercado nacional como no mercado internacional, têm levado as mesmas a investir em pesquisas no sentido de conseguirem ganhos em qualidade e eficácia dos produtos gerados, diminuição de custos de fabricação e redução em seus tempos de fabricação. Excelentes resultados têm sido conseguidos, em diversas empresas de usinagem, associando-se recursos computacionais a manufatura, incorporando assim, características de flexibilidade à fabricação. Pesquisas recentes tentam integrar totalmente os ambientes de concepção do produto à sua fabricação, passando por estágios de testes ou simulações e planejamento total do processo de fabricação, desde a escolha dos processos e máquinas, ferramentas de corte, meios de fixação da peça bruta às máquinas, cálculo dos parâmetros de usinagem, escolha do percurso da ferramenta para atingir o perfil de projeto até a geração automática do programa CN e posterior envio deste para as máquinas CNC. Apesar destas tentativas, na prática poucas empresas até o momento conseguiram, de fato, uma total integração dos sistemas CAD/CAPP/CAM, que são os sistemas que realizam esta integração entre o projeto do produto e sua manufatura. Dentro deste contexto, este trabalho visa a estruturação de um sistema CAD/CAPP/CAM que será utilizado especificamente num torno CNC de fabricação nacional.

Palavras-chave: CAPP, otimização dos parâmetros de usinagem, planejamento de corte, operações de torneamento.

1. INTRODUÇÃO

O planejamento de processos pode ser definido como um sistema responsável pela conversão das especificações do projeto de um produto em informações e instruções para a sua fabricação. Em outras palavras, o planejamento de processos é a ligação entre o projeto e a fabricação de um produto. O método tradicional de planejamento, feito de forma manual, ainda é, na maioria dos casos, centrado na pessoa responsável pelo planejamento, o que faz com que o “planejador de processos” necessite de conhecimentos aplicados em projeto e manufatura, aliados a utilização de manuais ou bancos de dados para fazer bons planejamentos. A tarefa de planejar um processo torna-se, assim, complexa, tediosa, inconsistente e demorada. A utilização da tecnologia computacional nas atividades de

planejamento de processos tem aumentado grandemente a sua eficiência. O que tem se buscado com estes sistemas é integrar as atividades de projeto, desenvolvidas em sistemas CAD (de computer aided design) às atividades de manufatura, desenvolvidas em sistemas CAM (de computer aided manufacturing), de forma a permitir que o usuário possa projetar um produto, planejar e controlar a sua manufatura utilizando o mesmo ambiente computacional. Vários sistemas deste tipo foram desenvolvidos e estão sendo desenvolvidos, embora ainda existam grandes dificuldades na implantação destes sistemas em ambiente industrial, sendo os altos custos dos softwares e hardwares, a falta de pessoas qualificadas, a utilização de métodos inadequados para aquisição e representação dos conhecimentos e uma integração deficiente dos sistemas desenvolvidos com os sistemas de processamento de dados disponíveis os principais obstáculos da utilização destes sistemas na indústria (Sheu, 1998) e (Huang, 1988).

Neste trabalho é proposto um sistema CAD/CAPP/CAM para operações de torneamento.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema que está sendo desenvolvido tem como objetivo integrar os módulos CAD, CAPP e CAM, de maneira que se tenha uma mínima intervenção manual no processo de fabricação.

O módulo CAD abrange todas as atividades envolvidas na produção de dados de engenharia, tais como, desenhos, modelos geométricos, revisão e aperfeiçoamento de projetos auxiliados por computador, podendo utilizar ferramentas computacionais como a análise de elementos finitos e outras no projeto de produtos. As atividades do CAD são sintetizadas na Fig. 1 (Huang, 1988) e (Thomas, 1996).

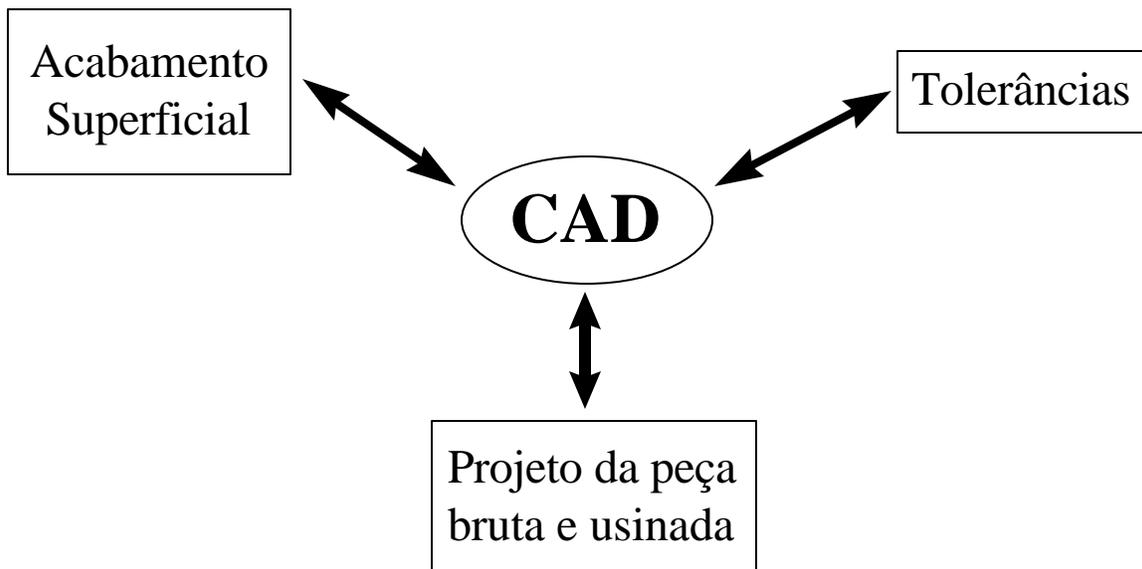


Figura 1 - Atividades atribuídas ao CAD

O CAM envolve as aplicações dos computadores com uma grande variedade de funções na manufatura, tais como, o controle do chão-de-fábrica, que por sua vez abrange tarefas como coletânea de dados, gerenciamento de ferramentas, programação da produção e controle de qualidade, como pode ser visto na Fig. 2.

CAM		
COLETÂNEA DE DADOS	GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS	INTERVALOS DE OPERAÇÃO
<ul style="list-style-type: none"> - Parâmetros de Taylor - Constante de Kienzle - Tempos mortos de usinagem - Preparação da Máquina - Troca de Ferramentas - Custos de fabricação 	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo - Material - Forma e Número de arestas de corte - Geometria (ângulos e raios) - Suportes - Comprimento máximo para a profundidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Rotação - Avanço - Diâmetro - Comprimento usinável - Potência

Figura 2 - Atividades atribuídas ao CAM

O planejamento de processos envolve atividades como a seleção de processos, a seleção de máquinas ferramentas, a seleção de ferramentas de corte, seleção de modos de fixação, seleção dos parâmetros de usinagem e geração do código NC, como mostrados na Fig. 3.

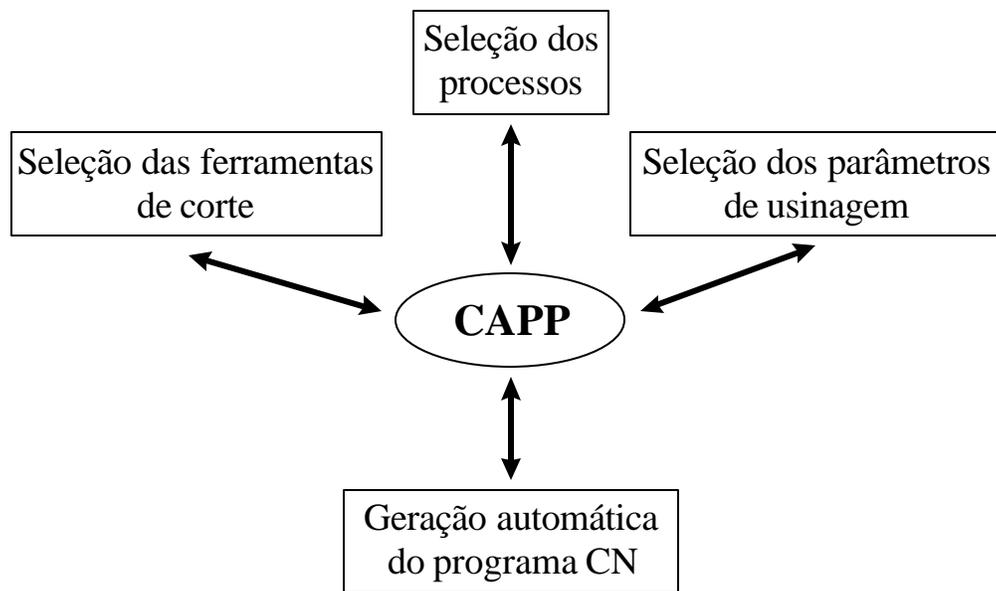


Figura 3- Atividades atribuídas ao CAPP

O planejamento de processos é a atividade que determina o procedimento apropriado para transformar o material bruto no produto final. Assim, os dados do produto obtidos num sistema CAD constituem os dados de entrada para o sistema de planejamento de processo, o CAPP (Computer Aided Process Planning) - planejamento de processos auxiliados por computador -, que por sua vez fornece os dados de entrada para o CAM, logo, podemos dizer que o sistema CAPP, dentro de um sistema CIM (Computer Integrated Manufacturing) - manufatura integrada por computador - age como uma ponte entre o CAD e o CAM, como pode ser visto na Fig. 4.

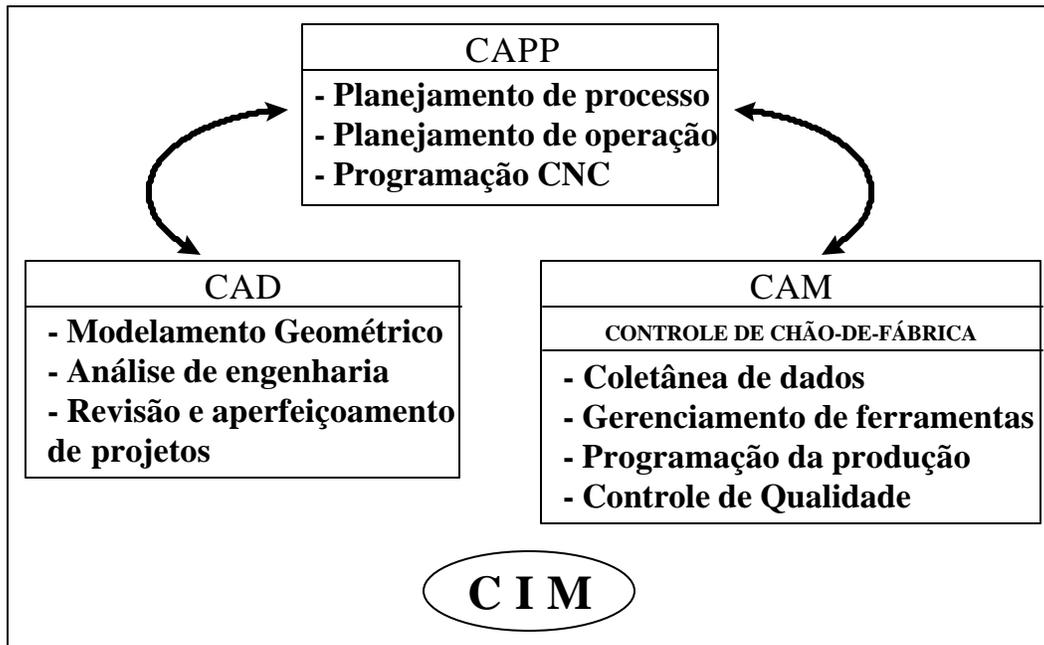


Figura 4 - Interrelações num sistema CIM

3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS ÓTIMOS DE USINAGEM

A otimização dos parâmetros de usinagem compreende a determinação da velocidade de corte (v), do avanço (f) e da profundidade de corte (a_p) para as operações de desbaste e de acabamento, de modo a satisfazer o critério de otimização e todas as restrições do processo de usinagem, (Jain, 1998).

No presente trabalho, o critério de otimização será o mínimo tempo total de fabricação da peça. O tempo total de fabricação de uma peça pode ser expresso como a soma de três termos como mostra a Eq. (1):

$$t_t = t_c + t_1 + t_2 \quad (1)$$

onde t_t é o tempo total de fabricação por peça, t_c é o tempo de corte propriamente dito, t_1 é o tempo improdutivo e t_2 é o tempo de troca da ferramenta.

Segundo o critério de otimização deste trabalho, devemos encontrar valores de velocidade de corte, avanço e de profundidade de corte de modo a encontrarmos o mínimo tempo de fabricação por peça e ao mesmo tempo deve-se satisfazer todas as restrições ao processo. Entre as restrições ao processo de torneamento foram consideradas neste trabalho as relacionadas as faixas de parâmetros que podem ser escolhidos para uma dada máquina ferramenta e a relacionada a potência disponível na máquina para as operações de desbaste, e ainda a restrição do acabamento superficial da peça na operação de acabamento, (Chen, 1996)

Na otimização das operações de desbaste e acabamento, os parâmetros de corte, ou seja, a velocidade de corte, o avanço e a profundidade de corte são variadas dentro de suas faixas de utilização. Da mesma forma a potência de corte, tanto no desbaste como no acabamento, não deve ultrapassar a potência motora da máquina multiplicada pelo rendimento da mesma.

A potência de corte, em kilowatts, será dada pela fórmula da potência de Kienzle como segue abaixo:

$$N_m = \frac{ks_{11} \cdot (f \cdot \sin \chi)^{1-z} \cdot a_p \cdot v}{6120 \cdot \sin \chi \cdot \eta} \quad (2)$$

onde χ é o ângulo de posição da ferramenta em graus, a_p é a profundidade de corte em milímetros, f é o avanço em milímetros por rotação, η é o rendimento da máquina, ks_{11} a pressão específica de corte em kg/mm^2 e z é a constante da expressão de Kienzle.

Alguns autores estabeleceram em seus trabalhos uma relação entre o acabamento superficial, os parâmetros de corte e a geometria da ferramenta, uma vez que estes parâmetros são os que têm uma influência predominante na rugosidade cinemática (rugosidade de 3ª ordem). As propriedades do material da peça, tal como a dureza, têm influência direta na rugosidade de 4ª ordem (DIN 4760), tendo portanto, dependendo da função que a peça vai exercer na prática, uma menor importância.

O acabamento superficial é função do avanço (f) e do raio de arredondamento da ponta da ferramenta (r_ϵ), sendo a máxima distância individual pico-vale (R_t) dada, por exemplo, pela fórmula, (Brammertz, 1961):

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon} \quad (3)$$

4. PLANEJAMENTO DO PERCURSO DA FERRAMENTA

O planejamento de corte envolve a seleção da seqüência de corte de forma a usinar a peça da melhor forma possível. Neste trabalho a seqüência de corte será escolhida de forma que tenhamos o menor tempo total de fabricação da peça, assim um programa computacional calculará os tempos de usinagem de todas as possíveis seqüências para se chegar ao perfil final da peça, (Jain, 1998).

Os percursos da ferramenta na remoção de cavaco no torneamento incluirá múltiplos passes de desbaste, que poderá ser realizado no sentido axial ou no sentido radial e um passe de acabamento. O desbaste é feito de modo a se deixar uma espessura de sobremetal para o passe de acabamento. O corte de acabamento é realizado com um simples passe contornando o perfil da peça, (Chen, 1998).

A Fig. 5 ilustra o percurso da ferramenta para uma peça bruta cilíndrica com um perfil final contínuo. O primeiro passe de desbaste tem o seu percurso padronizado pelos seguintes passos:

- a) com avanço rápido, na direção X ou na direção Z, caso o primeiro passe seja axial ou radial respectivamente, a uma distância a_{pd} (profundidade de corte de desbaste) vai de um ponto inicial P_0 (Z_0 , X_0) a um ponto P_{p1} (ponto de posicionamento para o primeiro passe);
- b) com avanço programado vai do ponto P_{p1} ao ponto P_1 , que está afastado de uma distância a_{pa} (profundidade de corte de acabamento) do perfil final da peça ;
- c) com avanço rápido retrai com ângulo de 45° até que a distância de escape (e) seja alcançada;
- d) ainda com avanço rápido vai até o ponto P_{r1} (ponto de retorno do primeiro passe) e depois avança de uma distância ($e + a_{pd}$), posicionando-se para o início do próximo passe, se houver.

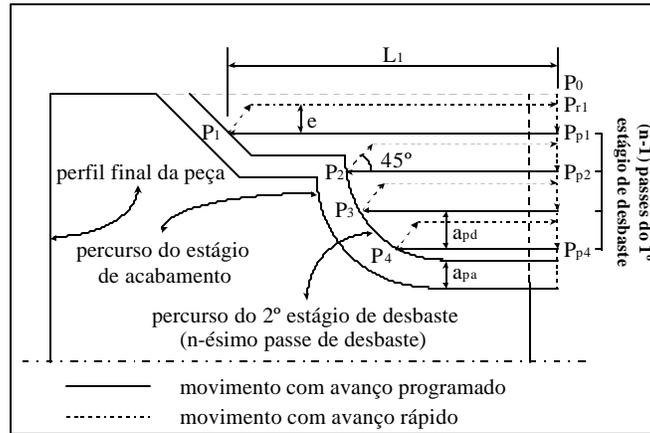


Figura 5- Percurso de corte da ferramenta no torneamento

O percurso da ferramenta para o desbaste inclui n passes, com dois estágios. O primeiro estágio de desbaste corresponde aos $(n-1)$ primeiros passes. Nestes $(n-1)$ passes o procedimento é similar ao primeiro passe, como descrito acima nos itens de a) a d). O segundo estágio de desbaste corresponde ao n -ésimo passe. Neste estágio do desbaste a ferramenta corta ao longo do perfil da peça deixando um sobremetal de espessura a_{pa} para o estágio de acabamento.

Assim temos que, no primeiro estágio de desbaste será feito sempre em torneamento cilíndrico nos sentidos axial ou radial. Para o segundo estágio de desbaste e para o estágio de acabamento a usinagem será feita com a ferramenta movendo-se ao longo do perfil da peça, incluindo assim, casos de torneamento cilíndrico axial e radial, torneamento cônico e torneamento circular.

5. CÁLCULO DO TEMPO DE CORTE

As operações de torneamento, como foi dito anteriormente, será dividida em três estágios. Torneamento cilíndrico (axial ou radial), torneamento cônico e torneamento circular são as operações requeridas para a remoção do material a ser desbastado quando se trata de tornos controlados numericamente (tornos CNC).

5.1. Tempo de corte para o primeiro estágio de desbaste

Como ilustra a Fig. 5, o primeiro estágio de desbaste consiste dos $(n - 1)$ segmentos de torneamento cilíndrico, que podem ser dados axialmente ou radialmente. Antes de se calcular o tempo de corte, o percurso da ferramenta para cada passe deve ser obtido. O comprimento de cada passe neste estágio pode ser computado seguindo os seguintes passos, (Chen, 1998):

Passo 1: computam-se os pontos de intersecção, $P_i (Z_i, X_i)$, de cada passe com o perfil paralelo ao perfil da peça final e afastado deste de uma distância igual a a_{pa} (profundidade de corte de acabamento). Por exemplo, na Fig. 5 os pontos P_1 a P_4 , representam as intersecções entre o sobremetal para o acabamento ao primeiro ao quarto passe, respectivamente.

Passo 2: para o caso de torneamento axial, computa-se o comprimento de cada passe, L_i , sendo este dado pela seguinte expressão:

$$L_i = |Z_i - Z_0| \quad (4)$$

onde Z_0 é a coordenada do ponto inicial $P_0 (Z_0, X_0)$.

Agora podemos calcular o tempo de corte de cada passe. Assim o tempo de corte do i -ésimo passe para o torneamento axial é dado pela Equação (5):

$$T_{adi} = \frac{\pi \cdot |X_i \cdot L_i|}{1000 \cdot v_d \cdot f_d} \quad (5)$$

onde T_{adi} é o tempo de corte do i -ésimo passe de desbaste dado no sentido axial, v_d é a velocidade de corte de desbaste, f_d é o avanço de desbaste e X_i é a coordenada X do ponto de interseção entre o i -ésimo passe e o perfil de acabamento da peça e representa o diâmetro da peça no início de cada passe, sendo dado pela seguinte expressão:

$$X_i = X_0 - i \cdot a_{pd} \quad (6)$$

Para o torneamento radial o tempo de corte é calculado pela Equação (7).

$$T_{rdi} = \frac{\pi}{1000 \cdot v_{cd} \cdot f_d} \cdot \left| \frac{1}{4} \cdot (X_0^2 - X_i^2) + (X_0 - X_i) \cdot a_{pd} \right| \quad (7)$$

onde T_{rdi} é o tempo de corte do i -ésimo passe de desbaste dado no sentido radial, X_0 é o diâmetro no ponto inicial P_0 e X_i é o diâmetro da peça no ponto P_i .

Assim, o tempo de corte para o primeiro estágio de desbaste pode ser computado pelas seguintes expressões:

$$T_{ad1} = \sum_{i=1}^{n-1} T_{adi} \quad e \quad T_{rd1} = \sum_{i=1}^{n-1} T_{rdi} \quad (8)$$

5.2. Tempo de corte para o segundo estágio de desbaste e acabamento

O segundo estágio de desbaste é composto pelo último passe (n -ésimo passe) do desbaste. Neste passe o corte é feito paralelamente ao perfil da peça, deixando um sobremetal de espessura igual a a_{pa} , que corresponde a profundidade de corte do acabamento. A peça poderá ser composta pela combinação de diversos segmentos com torneamento cilíndrico, faceamento, torneamento cônico e segmentos de arcos circulares. Assim, o tempo de corte total do segundo estágio de desbaste, T_{d2} , será dado pela soma dos tempos de cada operação feita neste estágio. Logo teremos:

$$T_{d2} = T_{dh} + T_{dt} + T_{dv} + T_{dc} \quad (10)$$

onde T_{dh} é o somatório dos tempos de corte para os segmentos horizontais paralelos ao perfil da peça, T_{dt} é o somatório dos tempos de corte para os segmentos inclinados paralelos ao perfil da peça, T_{dv} é o somatório dos tempos de corte para os segmentos verticais paralelos ao perfil da peça e T_{dc} é o somatório dos tempos de corte para os segmentos de arcos circulares paralelos ao perfil da peça.

O cálculo do tempo de corte do passe de acabamento é feito de forma semelhante ao cálculo do tempo de corte do segundo estágio de desbaste, sendo que neste caso a ferramenta de corte irá contornar o perfil final da peça e serão utilizados aqui os parâmetros de corte de acabamento (V_a , a_{pa} , f_a). Assim, tem-se a seguinte expressão para o cálculo do tempo de corte de acabamento:

$$T_a = T_{ah} + T_{at} + T_{av} + T_{ac} \quad (11)$$

onde T_a é o tempo de corte no estágio de acabamento, T_{ah} é o somatório dos tempos de corte para os segmentos horizontais no perfil da peça, T_{at} é o somatório dos tempos de corte para os segmentos inclinados no perfil da peça, T_{av} é o somatório dos tempos de corte para os

segmentos verticais no perfil da peça e T_{ac} é o somatório dos tempos de corte para os segmentos de arcos circulares no perfil da peça.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados os conceitos para a estruturação de um sistema CAD/CAPP/CAM. Foram apresentados também os procedimentos para se determinar a sequência de corte. Para o cálculo dos tempos de corte as principais equações desenvolvidas no âmbito deste projeto foram aqui apresentadas. A otimização das condições e sequência de usinagem é possível a partir do uso destas equações.

O sistema CAD/CAPP/CAM em desenvolvimento, para o processo de torneamento, otimiza as condições de usinagem analisando e comparando todas as possíveis formas de se obter a peça final. Para tal o critério de máxima produção está sendo utilizado.

REFERÊNCIAS

- Chen, M.-C. & Tsai, D.-M., 1996, A simulated annealing approach for optimization of multi - pass turning operations, Int. J. of production research, vol. 34, n° 10, pp. 2803 - 2825.
- Chen, M.-C. & Tseng, Hsien-Yu, 1998, Machining Parameters selection for stock removal turning in process plans using a float encoding genetic algorithm, Journal of chinese institute of engineers, vol.21, n° 4, pp. 493 - 506.
- Jain, P. K., Mehta, N. K. & Pandey, P. C., 1998, Automatic cut planning in an operative process planning system, Proceedings of the institution of mechanical engineers, journal of engineering manufacture, vol. 212 part B2, pp.129 -140.
- Sheu, J. J., 1998, A computer integrated manufacturing system for rotational parts, Int. j. computer integrated manufacturing, vol. 11, n° 6, pp. 534 - 547.
- Brammertz, P. H., 1961, Die Entstehung der Oberflächenrauheit beim Feindreihen, Industrie-Anzeiger, vol. 83, n° 2, pp. 5.25.

DETERMINATION OF TOOL PATH WITH OPTIMUM MACHINING CONDITIONS TO A CAD/CAPP/CAM SYSTEM WITH ROTATIONAL PARTS

Abstract. The competition amongst machining companies brought the development of research aimed obtaining a better product with appropriate quality, low production price and minimum production time. Several machining companies have gotten excellent results by associating computational skills with manufacturing processes. Recent research try to connect the all development stages of a product with manufacturing. It includes tests, simulations and total process planning, since the choice of tools, holder displacements of the workpiece, optimization of the cutting parameters, determination of the cutting tool path for the projected part. However all these available technologies, in fact only some industries have a total integration of the systems CAD/CAPP/CAM. The goal of this work is show a structure of a system CAD/CAPP/CAM that is in development for a national CNC lathe.

Keywords: CAPP, machining parameters optimization, cut planning, turning operations.