

## **CONTRIBUIÇÕES PARA DESENVOLVER O CONHECIMENTO DAS OPERAÇÕES DE DESBASTE DE MOLDES E MATRIZES COM ÊNFASE EM FRESAMENTO NO SENTIDO AXIAL**

Ivandro Bonetti, [ivandro@ifsc.edu.br](mailto:ivandro@ifsc.edu.br)<sup>1</sup>

Sabrina Bodziak, [sabrina.joi@terra.com.br](mailto:sabrina.joi@terra.com.br)<sup>3</sup>

Adriano Fagali de Souza, [adriano.fagali@sociesc.org.br](mailto:adriano.fagali@sociesc.org.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), R. Pavão, 1337 Joinville – SC 89.220-200

<sup>2, 3</sup> Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC/Departamento de Pesquisa IST. Grupo de Pesquisa: Desenvolvimento de Moldes e Matrizes, R. Albano Schmidt, 3333 Joinville – SC 89.201-972

**Resumo:** Atualmente, nota-se um expressivo desenvolvimento tecnológico dos processos de usinagem para a fabricação de moldes e matrizes, por meio do emprego de novos materiais, ferramentas de corte e estratégias de usinagem. As operações de desbaste representam uma importante parcela no tempo de fabricação destes ferramentais. Diante deste cenário, uma nova operação de desbaste por fresamento no sentido axial da ferramenta, representa uma possibilidade para otimizar este processo de usinagem, de modo a reduzir o tempo de fabricação e aumentar a taxa de remoção de material. Poucos estudos científicos são conduzidos sobre a temática, limitando-se a levantamentos de dados técnico-comerciais. Portanto, este trabalho vem contribuir com o conhecimento deste processo de usinagem por fresamento, através de uma análise experimental do processo. Em especial, é estudado o efeito do sentido de corte, concordante ou discordante, nestas operações. São avaliados o comportamento da força de usinagem e o erro de forma oriundo deste processo. Os resultados quantificam as influências dos parâmetros de corte na força de usinagem e no erro de forma. A componente cartesiana da força de usinagem na direção axial não é expressiva, como se esperava, desta forma não implica em danos aos rolamentos e componentes do eixo-arvore da máquina.

**Palavras-chave:** Fresamento axial, Desbaste, Força de Usinagem, Moldes e Matrizes, Estratégias de Usinagem.

### **1. INTRODUÇÃO**

O aumento das exigências de projeto industrial, buscando cada vez mais formas harmônicas para a apresentação de um produto, fez com que o uso de objetos e produtos contendo formas geométricas complexas se intensificasse (LAZOGLU e ALTINTAS, 2002). Neste sentido moldes e matrizes são importantes ferramentas empregadas para a fabricação destes produtos e componentes.

O alvo principal dos aprofundados estudos realizados sobre as variáveis do processo de usinagem de moldes e matrizes está centrado na qualidade superficial, na redução do tempo e do custo de fabricação (HU et al, 1998). A análise de condições vantajosas da operação de usinagem consiste em um processo de otimização dos parâmetros de usinagem, tais como a velocidade de corte e a de avanço, de modo a proporcionar uma fabricação de menor custo. A evolução das estratégias de usinagem é uma importante área de conhecimento, assim a correta seleção desta poderá representar a redução do tempo de usinagem e desgaste de ferramenta (TOH, 2003).

Nas atividades iniciais deste trabalho foi realizada uma pesquisa para identificar os tempos despendidos em cada etapa de fresamento de moldes, do desbaste ao acabamento.

A pesquisa foi realizada em uma ferramentaria na cidade de Joinville-SC (SOCIESC Ferramentaria). Foi utilizada uma amostragem de 45 moldes de médio porte para injeção de termoplástico. Em uma média geral, constatou-se nesta pesquisa que 51% do tempo total de manufatura corresponde a operação de desbaste dos moldes; 18% para realizar o pré-acabamento e alívio de cantos; 31% é despendido para operações de acabamento.

Além do tempo de usinagem necessário para realizar o desbaste, as características deste processo podem influenciar significativamente nas operações posteriores de acabamento, comprometendo a qualidade da superfície usinada assim como erros de forma (CAPLA 2006, SOUZA 2004).

Historicamente, as operações de desbaste por fresamento baseiam-se em estratégias de usinagem por camadas, amplamente empregada na fabricação de peças usinadas. Esta estratégia de usinagem também é denominada como desbaste em 2½ eixos, no qual o princípio do processo está baseado no ataque da ferramenta de corte tangenciando alguma aresta da peça. (SOUZA 2004)

Porém, com o desenvolvimento tecnológico de materiais e ferramentas, surgiu a possibilidade de se executar diferentes estratégias de usinagem, como a remoção de material pelo sentido axial da máquina-ferramenta. Esta estratégia de usinagem é também denominada pelo termo inglês plunge milling, industrialmente é mais conhecida por

desbaste em mergulho. Esta estratégia de usinagem pode representar inovações na usinagem de moldes e matrizes (HASCOET et al, 2007).

Neste contexto, este trabalho foca estudar o comportamento do processo de fresamento no sentido axial para operações de desbaste de moldes e matrizes, avaliando os componentes cartesianos da força de usinagem e a implicação da intensidade do componente axial ( $F_z$ ), a qual pode exercer impacto no eixo-árvore da máquina-ferramenta. São investigadas influências dos parâmetros de corte deste processo de usinagem e o erro de forma ocasionado pelo contato entre ferramenta e peça.

## 2. ESTRATÉGIA DE DESBASTE NO SENTIDO AXIAL

Segundo WAKAOKA et al (2002) o desbaste axial se comparado com outros métodos tradicionais de usinagem de cavidades, apresenta uma grande acuracidade e melhor acabamento superficial. Para esta estratégia de usinagem o sistema deve apresentar grande rigidez para suportar elevados esforços, principalmente no sentido axial, de tal forma que a frequência de vibração seja minimizada.

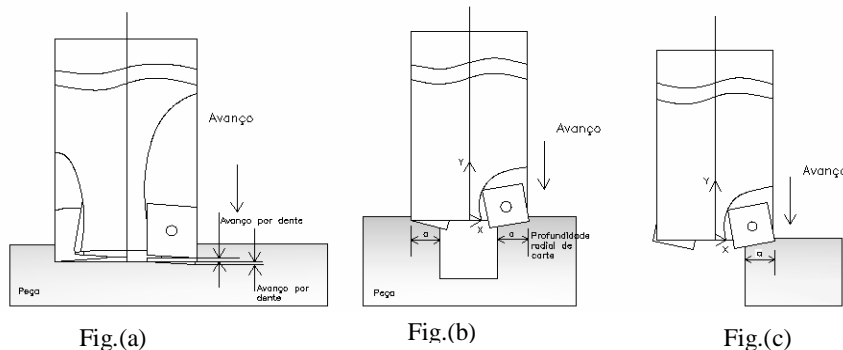
KO e ALTINTAS (2006) sugerem que como o avanço de corte ocorre ao longo do eixo axial da ferramenta, e coincide com a direção mais rígida, o processo tende a ser mais estável se comparado com processo de fresamento plano.

Uma limitação da aplicação de usinagem por desbaste axial é a possibilidade de ocorrer esforços excessivos sobre o eixo-árvore da máquina-ferramenta, sob esta condição torna-se fundamental avaliar a força de usinagem que ocorre durante a operação. O dimensionamento dos rolamentos do eixo-árvore, bem como potência do motor da máquina-ferramenta depende da intensidade da força de usinagem (KO, 2006).

O excesso da força de usinagem, especialmente ao longo do sentido axial do eixo-árvore da máquina-ferramenta pode gerar trepidações indesejáveis, desgaste prematuro da ferramenta de corte e especialmente danificar rolamentos e demais componentes do eixo-árvore (KO e ALTINTAS, 2006).

Na operação de desbaste de grandes profundidades, utiliza-se fresa com longo comprimento de balanço, que em geral, pode representar uma situação de baixa rigidez. Com isso duas situações podem ocorrer: deflexão da ferramenta e vibrações indesejáveis. Com intuito de reduzir vibração é comum que a velocidade de avanço seja reduzida, sendo assim o tempo de usinagem acabará sendo maior e a ferramenta de corte não estará sendo utilizada em toda sua potencialidade.

De acordo com KO e ALTINTAS (2006), uma maneira de evitar esta condição é executar o fresamento com a estratégia de desbaste em que a ferramenta realiza a direção de corte em seu sentido axial. A Fig. (1) demonstra esta estratégia de usinagem com uma ferramenta de corte com insertos.



**Figura 1. Representação do desbaste em mergulho de KO, J.H. (2006)**

A Fig. 1(a) ilustra o contato total entre ferramenta e peça para a fabricação de uma cavidade, a Fig. 1(b) representa um processo de alargamento de um furo por meio de desbaste em mergulho, e a Fig. 1(c) apresenta a usinagem de uma região com engajamento parcial da ferramenta no material.

Segundo WAKAOKA et al (2002), a vantagem do desbaste em sentido axial está no fato de que a força de usinagem é relativamente pequena e não se altera durante a realização da operação. O estudo sugere que o desbaste no sentido axial apresenta maior rigidez se comparado ao desbaste em camadas, uma vez que a ferramenta de corte ao realizar o desbaste não sofre deflexão tão intensa.

Nos estudos encontrados na literatura sobre esta estratégia de usinagem nenhum dos pesquisadores levou em consideração o efeito do sentido de corte no comportamento da força de usinagem, bem como a incidência de erro de forma em função do contato entre ferramenta e peça. Por esta razão o presente trabalho buscou investigar esta condição com o objetivo de identificar características de processo de fresamento no sentido axial.

O movimento relativo da ferramenta de corte em relação à peça consiste em uma espiral gerada a partir de uma rotação ao longo do eixo longitudinal da ferramenta e também pelo avanço vertical paralelo ao sentido axial da ferramenta. A Fig. (2) mostra a geometria de corte e os parâmetros de corte do desbaste no sentido axial. A cada avanço axial a aresta de corte da ferramenta será submetida a uma força radial, a uma força axial e a uma força tangencial, esta por sua vez é a força resultante de dois componentes um ao longo do eixo X ( $F_x$ ) e outro ao longo do eixo Y ( $F_y$ ).

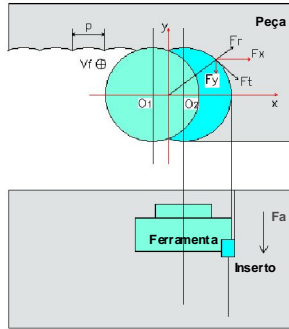


Figura 2. Geometria de corte do desbaste em mergulho de Al-Ahmad, M.; D'Acunto (2007)

A geometria do cavaco é importante para o conhecimento da força de corte, bem como na identificação de defeitos de fabricação. A geometria do cavaco durante o processo de corte é influenciada por diversos fatores, sendo os mais importantes: a relação entre o movimento de avanço e a velocidade de corte, e a relação entre a geometria de corte e os ângulos da ferramenta (AL-AHMAD e D'ACUNTO, 2007). A Fig. (3) demonstra que o cavaco gerado por simulação apresenta geometrias bem definidas, composta por uma espessura média de cavaco ( $h_m$ ), que depende do avanço da aresta de corte da ferramenta. E pela espessura radial média do cavaco ( $t_c$ ), sendo que este valor máximo é igual ao avanço axial ( $P$ ). Portanto, a espessura radial média do cavaco depende do avanço axial da ferramenta de corte. Então, a área transversal do cavaco ( $A$ ) é o produto entre a espessura média do cavaco ( $h$ ) e a espessura radial média do cavaco ( $t_c$ ). Pela Equação 1, pode-se estimar a área transversal do cavaco.

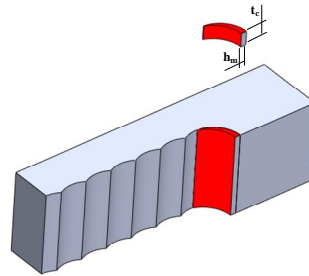


Figura 3. Geometria do cavaco no fresamento axial

$$A = t_c \cdot h \quad (1)$$

No contato relativo entre ferramenta e peça o efeito vibracional pode atingir níveis inaceitáveis, com prejuízo ao acabamento superficial e comprometimento da vida útil da ferramenta, especialmente em situações em que o sistema não apresenta rigidez. No caso da manufatura de moldes e matrizes esta condição é bastante comum, uma vez que pela natureza da geometria da cavidade, ferramentas de grandes comprimentos são utilizadas, TLUSTY (1993).

CAO e ALTINTAS (2007) desenvolveram um estudo integrando eixo-árvore e máquina-ferramenta em um sistema para analisar a rigidez, por meio da técnica de elementos finitos. Objetivaram demonstrar que o sucesso do fresamento é altamente dependente de operações livres de vibrações. Desenvolveram um modelo matemático que permite prever cargas que possam incrementar desgaste de rolamento e deflexões estáticas e dinâmicas ao longo da ferramenta e do eixo-árvore que são fatores que podem afetar diretamente a qualidade da peça obtida.

Então se torna necessário atentar à condição da realização da operação de desbaste, com a intenção de evitar a incidência de vibrações que possam gerar deflexão da ferramenta de corte, induzindo o erro de forma, ou então propiciar sobrecargas no eixo-árvore e contato ferramenta-peça que contribuam para redução da durabilidade de todo o conjunto mecânico.

Na literatura pesquisada, os estudos sobre o processo de usinagem por mergulho avaliam parâmetros de corte e força de usinagem. Entretanto, o sentido de corte no desbaste por mergulho, concordante e discordante, não foi considerado até então.

Desta forma, o presente trabalho visa colaborar com o conhecimento do desbaste por mergulho, levando em consideração o sentido da usinagem concordante e discordante.

### 3. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

No desbaste no sentido a ferramenta realiza dois avanços de cortes radiais, um no sentido longitudinal da peça e outro no sentido radial. Para uma melhor definição dos parâmetros de corte, foram tomados conceitos de usinagem por

furação. DINIZ et al (1999) considera profundidade de corte ( $a_p$ ) como sendo a profundidade ou largura de penetração da ferramenta em relação à peça, medida perpendicularmente ao plano de trabalho, e a penetração de trabalho ( $a_e$ ) como sendo a penetração da ferramenta em relação à peça, medida no plano de trabalho e perpendicularmente à direção de avanço. Na pesquisa bibliográfica realizada os trabalhos científicos avaliados não consideram os conceitos de profundidade de corte e penetração de trabalho, sendo que diversas nomenclaturas são sugeridas.

Devido à carência de nomenclatura específica sobre o fresamento axial, neste trabalho denomina-se: “P” o passo radial longitudinal e “ $r_t$ ” passo radial transversal, conforme demonstra a Fig. (4).

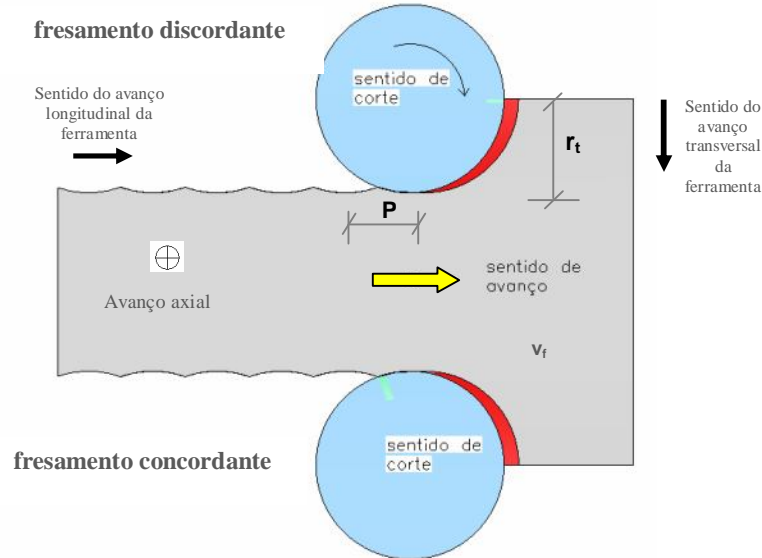


Figura 4. Sentido do movimento de corte no desbaste em mergulho

Foram utilizados três níveis diferentes para os parâmetros passo radial transversal ( $r_t$ ) e o passo radial longitudinal (P), como apresenta a Tab. (1). A velocidade de corte e o avanço por aresta foram definidos constantes, respectivamente: 125 m/min e 0,08 mm/aresta. A fim de assegurar a repetibilidade dos valores encontrados para a força de usinagem, realizou-se três repetições para cada variação dos parâmetros.

Tabela 1. Parâmetros de corte utilizados no desbaste em mergulho

Nível	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
$r_t$ [mm]	1	1	1	2	2	2	4	4	4
P [mm]	5	6	7,3	5	6	7,3	5	6	7,3
n [RPM]	1989								
$V_f$ [mm/min]	318								
$f_z$ [mm/aresta]	0,08								
$V_c$ [m/min]	125								
Ferramenta	Fresa de topo plano – 20mm com 2 arestas de corte (Seco: R 217.79-1620.3-09A)								
$h_m$ calculado[mm]	0,038	0,042	0,05	0,038	0,042	0,05	0,038	0,042	0,05

A avaliação do erro de forma foi realizada na região desbastada, na condição de corte concordante e discordante.

Como o comprimento vertical da usinagem foi de 35 mm optou-se por realizar as medições, por meio de máquina de medição por coordenadas, nas alturas de 10, 20, 30 e 35 mm. Sendo que cada trecho avaliado a medição foi repetida três vezes, como forma de assegurar a repetibilidade dos valores. Foi utilizada uma máquina de medir por coordenadas, marca Mitutoyo. A Tab. (2) demonstra os casos selecionados para avaliar o erro de forma no desbaste em mergulho.

Tabela 2 Erro de forma – parâmetros de corte no desbaste em mergulho

Parâmetro de Corte	Caso 1	Caso 2	Caso 3
$r_t$ [mm]	1	2	4
P [mm]	5	6	7,33
$v_c$ [m/min]	125		
$f_z$ [mm/aresta]	0,08		

A usinagem foi realizada em um centro de usinagem vertical ROMI, modelo Discovery 560 com três eixos de movimentação, possuindo capacidade de deslocamento de 560 mm na direção X, 406 mm na direção Y, e 508 mm na direção Z. A potência fornecida pelo eixo-árvore é de 9 kW com rotação máxima de 7.500 RPM, sendo que a força máxima suportada pelos eixos X e Y é de 4.000 N e do eixo Z de 5.000 N. A máquina é equipada com comando CNC Siemens Sinumerik 810D com alta capacidade de processamento, 2,5 MBytes de memória disponível para armazenamento e execução de programas. Para a aquisição das forças decorrentes do processo de usinagem foi utilizado um dinamômetro KISTLER, modelo 9272.

Com o intuito de estudar o processo de fabricação de moldes e matrizes foi utilizado o aço VP20, que é uma liga de aço cromo-molibdênio. Segundo ABOU EL-HOUSSEIN (2007) este tipo de liga é muito utilizado para a construção de moldes e matrizes para diversas finalidades e aplicações e apresenta tensão máxima de 1044 MPa e dureza entre 280 a 320 HB

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Comportamento da força de usinagem no desbaste em mergulho

Os valores da força de usinagem para as condições de estudo estão apresentadas na Tab. (3).

**Tabela 3. Comportamento da força de usinagem no desbaste em mergulho**

		$r_t = 1 \text{ mm}$			$r_t = 2 \text{ mm}$			$r_t = 4 \text{ mm}$		
		Caso 1 P=5mm	Caso 2 P=6mm	Caso 3 P=7,3mm	Caso 4 P=5mm	Caso 5 P=6mm	Caso 6 P=7,3mm	Caso 7 P=5mm	Caso 8 P=6mm	Caso 9 P=7,3mm
Concordante	$F_U$ [N]	3,68	3,94	4,15	7,89	9,5	11,22	17,65	20,54	24,03
Discordante	$F_U$ [N]	4,3	4,79	5,29	8,65	9,8	11,29	17,49	20,75	25,06

Observando os resultados da Tab. (3) sugere-se que a variação do passo radial longitudinal (P) em operações de desbaste em mergulho influencia significativamente a força de usinagem no sentido discordante, se comparado ao sentido concordante.

Ao realizar o experimento de usinagem, com os parâmetros de corte mais severos, foi percebido que ao manter constante o passo radial transversal ( $r_t$ ) em 4mm, e realizando a variação do passo radial longitudinal (P) de 5 para 7,33 mm, ou seja, em 40%, a força de usinagem no sentido concordante apresentou uma variação de 35%, enquanto que no sentido discordante esta variação foi de 43%.

Em outra análise, considerando a variação do passo radial transversal, verifica-se que a força de usinagem na operação de desbaste em mergulho, no sentido concordante, é significativamente mais influenciada pela variação do passo radial transversal ( $r_t$ ) do que no sentido discordante. A Tab. (3) ilustra que o experimento realizado com passo radial longitudinal (P) com valor de 7 mm e variando o passo radial transversal ( $r_t$ ) de 1 para 4mm, ou seja, em 400%, a força de usinagem no sentido discordante alterou-se em 372%, enquanto que no sentido concordante esta variação foi de 479%.

Verifica-se que o passo radial transversal ( $r_t$ ) influencia mais significativamente a variação da força de usinagem do que o passo radial longitudinal (P), nas operações de desbaste em mergulho.

### 4.2 Comportamento das componentes cartesianas da força de usinagem no desbaste no sentido axial

No desbaste axial, deve-se considerar que a componente  $F_z$ , quando em altas proporções, pode danificar os rolamentos, mancais e demais elementos mecânicos da máquina-ferramenta. A componente  $F_y$  pode influenciar o incremento do erro de forma.

O comportamento das componentes cartesianas da força de usinagem para operações de desbaste em mergulho, realizadas no sentido discordante, em que se manteve constante o valor do passo radial longitudinal (P) e variou-se o passo radial transversal ( $r_t$ ) é ilustrado na Fig. (5).

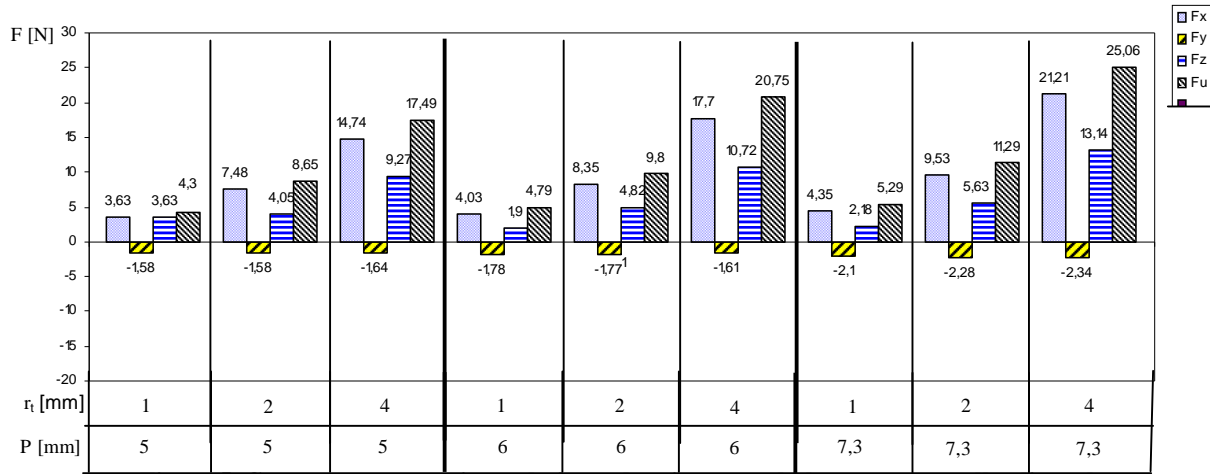


Figura 5. Componentes cartesianos da força de usinagem - desbaste em mergulho discordante

Nota-se que o componente cartesiano  $F_y$  apresentou pequena variação de valores para todas as variações dos parâmetros de corte realizadas. O fato de apresentar valores negativos demonstra coerência com o sistema de referenciamento dos eixos.

A Figura 6 mostra o comportamento dos componentes cartesianos da força de usinagem para operações de desbaste em mergulho, realizadas no sentido concordante, em que se manteve constante o valor do passo radial longitudinal ( $r_t$ ) e variou-se o passo radial transversal.

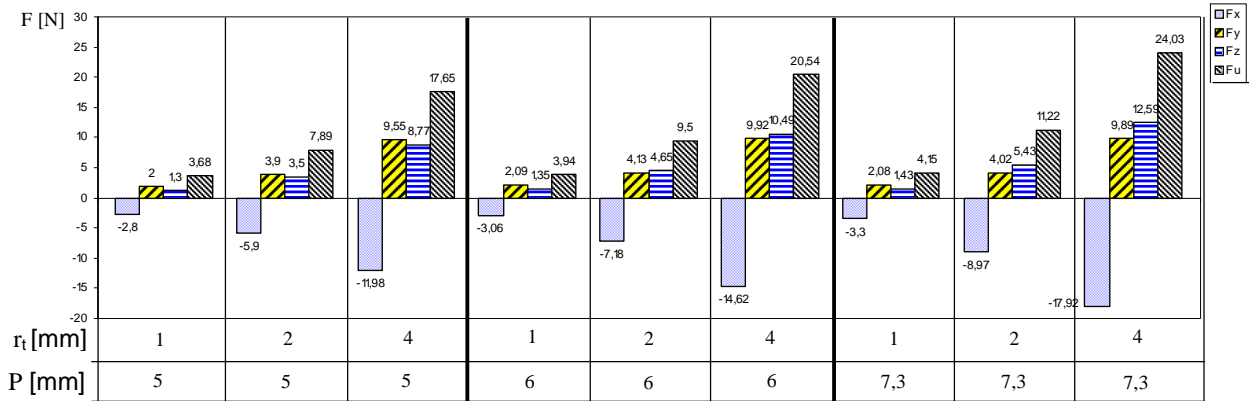


Figura 6. Componentes cartesianos da força de usinagem - desbaste em mergulho concordante

Nota-se que o componente  $F_x$  torna-se cada vez maior no sentido negativo, enquanto que o componente  $F_y$  torna-se cada vez mais positivo segundo o incremento dos parâmetros de corte, assim como o componente vertical da força de usinagem apresenta tendência de crescimento em sua intensidade de acordo com o incremento dos parâmetros de corte.

Ao analisar comparativamente as Fig. (5) e (6) pode-se sugerir as seguintes considerações, tomando como referência as condições mais severas de usinagem para desbaste em mergulho propostas neste trabalho:

1. Em todas as componentes cartesianas ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) da força de usinagem a variação do passo radial transversal ( $r_t$ ) influenciou mais significativamente a variação da intensidade de cada componente, de tal forma que  $F_z$  apresentou variação de 780%,  $F_y$  de 376% e  $F_x$  de 443%.

2. A variação do passo radial transversal ( $r_t$ ) em todas as componentes cartesianas promoveu maior variação da força para operações de desbaste realizadas no sentido concordante.

3. De todas as componentes cartesianas da força de usinagem, a componente  $F_z$  foi aquela em que a variação do passo radial transversal ( $r_t$ ) promoveu as mais significativas variações da força, tanto no sentido concordante, quanto discordante.

4. A variação do passo radial transversal ( $r_t$ ), na componente  $F_y$ , fez com que este tivesse variação de intensidade de 376% no sentido concordante, e de apenas 11% no sentido discordante. Sugere-se que esta condição de variação de intensidade de  $F_y$  no sentido concordante apresente relação na incidência do erro de forma, uma vez que no experimento que foi realizado para avaliar o erro a intensidade do desvio da forma foi mais acentuado no sentido concordante.

Observa-se que embora o sentido da velocidade de avanço nesta operação (mergulho) esteja no sentido axial (eixo Z) o componente  $F_z$  da força de usinagem na maioria dos casos apresenta-se menor ou próximo aos demais componentes, desta maneira não comprometendo, para os casos estudados neste trabalho, rolamentos e mancais do eixo-árvore, sendo que a máquina-ferramenta suporta aproximadamente 5KN conforme catálogo do fabricante.

Outro fator que justifica o fato da componente vertical da força de usinagem ( $F_z$ ) ter sido considerada reduzida, em relação as demais componentes, está no fato de que as grandezas de velocidade não são compatíveis entre si. Nos ensaios realizados a velocidade de corte foi muito maior que a velocidade de avanço. Vetorialmente a velocidade de corte influencia os componentes  $F_x$  e  $F_y$ , enquanto que a velocidade de avanço está relacionada a  $F_z$ . Por esta razão sugere-se que o componente vertical da força de usinagem seja inexpressiva se comparada aos demais componentes.

### 4.3 Avaliações do erro de forma na superfície usinada

A Figura 7(a) ilustra uma vista de topo do contato da ferramenta-peça, mostrando esquematicamente os sentidos de corte, concordante e discordante, e a direção de avanço da ferramenta de corte. A Figura 7(b) demonstra o sistema de referenciamento dos eixos coordenados segundo os componentes da força de usinagem. A linha pontilhada da Figura 7 (b) representa o perfil ideal da peça posterior à usinagem, e a linha cheia o perfil da peça obtido em função do erro de forma. Nota-se que a componente cartesiana da força de usinagem  $F_y$  é responsável pela flexão da ferramenta; desta forma promovendo erro à forma da região usinada.

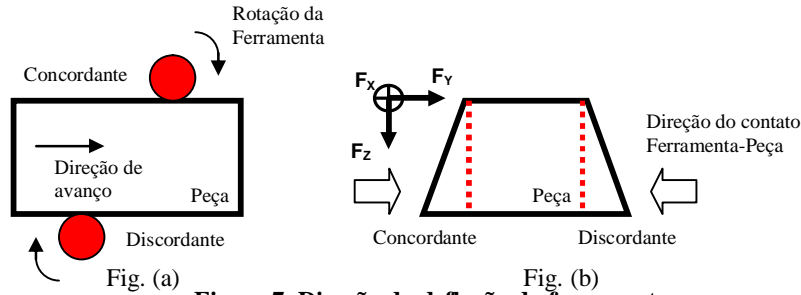


Figura 7. Direção da deflexão da ferramenta

A Figura 8 demonstra esquematicamente os valores obtidos na análise da região usinada sob desbaste em mergulho.

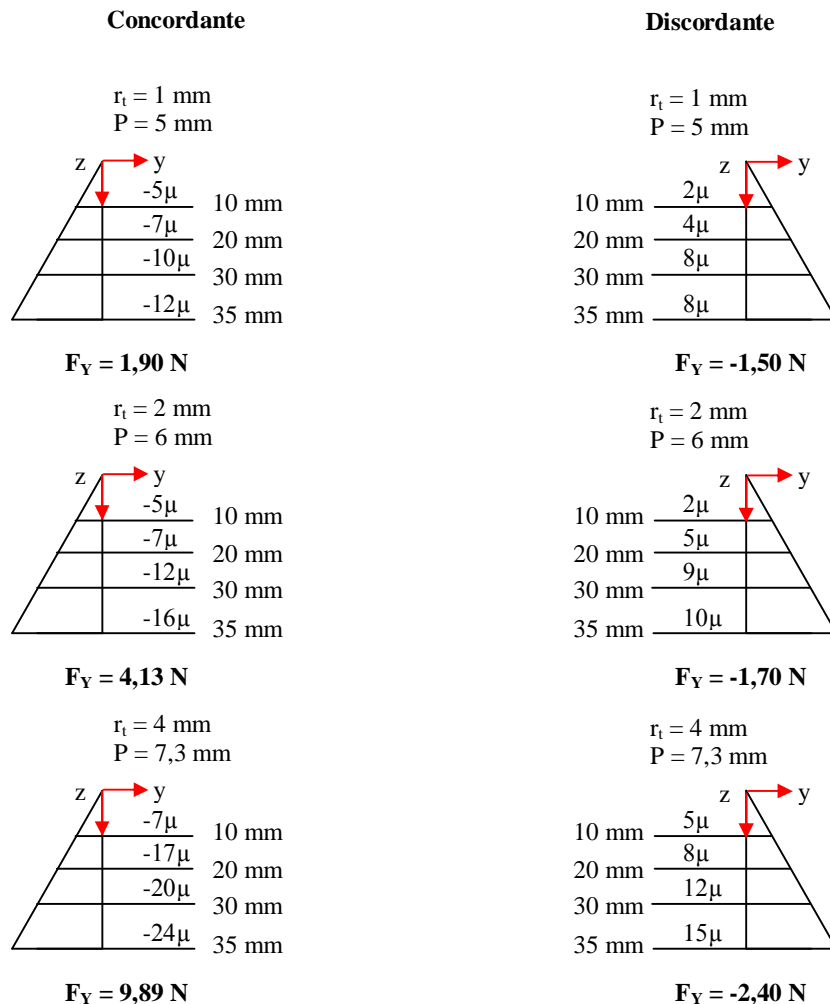


Figura 8. Perfil de erro de forma no fresamento em mergulho

Percebe-se que no fresamento em mergulho o erro de forma foi mais intenso no sentido concordante. Este teve seu maior valor no parâmetro de corte mais severo do desbaste.

A Figura 9 relaciona o comportamento do erro de forma diante da variação do passo radial transversal ( $r_t$ ) no desbaste em mergulho.

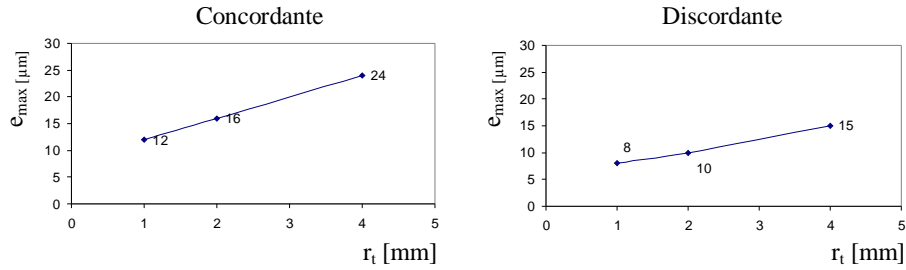


Fig. (a) Fig. (b)  
**Figura 9. Influência do  $r_t$  no erro de forma para desbaste em mergulho**

Observa-se na Fig. (9) que a variação do passo radial transversal no desbaste concordante afeta significativamente o erro de forma. Na Fig. 9(a) ao executar um desbaste em mergulho com um passo radial transversal de 2 mm o erro de forma foi de 16  $\mu m$ . Enquanto que no sentido discordante, Fig. 9(b), para o mesmo valor de passo radial transversal o erro de forma foi de 10  $\mu m$ .

A Figura (10) demonstra a influência do componente  $F_Y$  no erro de forma, a Fig. 10(a) apresenta os resultados para o desbaste concordante, e a Figura 10(b) no desbaste discordante.

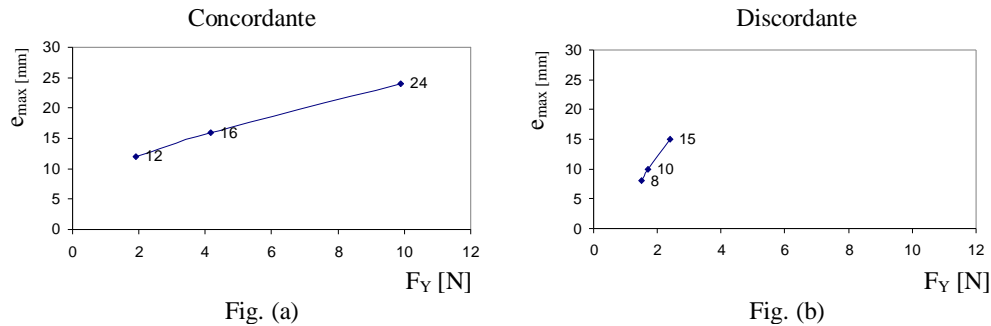


Fig. (a) Fig. (b)  
**Figura 10. Influência do  $F_Y$  no erro de forma para desbaste em mergulho**

Pode-se perceber, por meio da Fig. 10(a) que no fresamento concordante para uma variação de 420% de  $F_Y$ , o erro de forma incrementa em 100%, esta análise sugere que o fresamento concordante torna-se mais propenso a ter erros de forma.

## 5. CONCLUSÕES

No desbaste em mergulho nota-se que o comportamento do componente vertical da força de usinagem ( $F_z$ ) é influenciado mais significativamente pelo passo radial transversal ( $r_t$ ).

Embora a direção da velocidade de avanço esteja na direção vertical (eixo z) na usinagem por mergulho,  $F_z$  não é o componente mais expressivo da força de usinagem em nenhum dos casos avaliados. Sugere-se que este fato ocorra devido a diferença de grandezas de movimentação, onde a velocidade de avanço, neste caso no sentido do eixo Z, que provoca a componente  $F_z$ , é mensurada em milímetros por minuto; enquanto a velocidade de corte, atuante principalmente no plano XY, e que é responsável pelas componentes  $F_x$  e  $F_y$ , sua grandeza é mensurada em metros por minuto. Desta forma, o sentido da velocidade de corte é mais atuante na composição da força de usinagem.

Nos experimentos deste trabalho, nota-se que o componente  $F_z$  é bem inferior ao limite máximo indicado no catálogo da máquina. Isto induz, para as condições avaliadas, que o desbaste por mergulho não prejudica a máquina-ferramenta.

Nota-se que usinagens realizadas em mergulho no sentido concordante geram maior variação da força de usinagem.

Na operação de usinagem no sentido axial, o passo radial transversal ( $r_t$ ) mostrou-se mais influente na composição da força de usinagem que o passo radial longitudinal (P). Sugere-se que quanto maior for o avanço radial transversal, maior será o contato da aresta de corte com a peça, o que contribui para a elevação da força de usinagem. Isto não ocorre com o passo radial longitudinal (P). Ao alterar o valor de P, o arco de contato da aresta de corte com a peça não é alterado.



Na análise do erro de forma percebe-se que no desbaste executado no sentido concordante este mostrou-se mais intenso, independente da estratégia de usinagem. Bem como o componente  $F_y$  da força de usinagem influencia o erro de forma de maneira mais acentuada no desbaste em sentido concordante.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração da SECO TOOLS pelas ferramentas de corte utilizadas; Villares Metals pelo fornecimento da matéria-prima; professor Dr. Reginaldo Teixeira Coelho da Escola de Engenharia de São Carlos, Laboratório OPF, e a CAPES pelo fomento através dos projetos Pro-Engenharia e Pro-CAD e aos colaboradores do grupo de pesquisa PROMOLDE, da Sociedade Educacional de Santa Catarina.

## 7. REFERENCIAS

- ABOU-EL-HOSSEIN, K.A.; KADIRGAMA, K.; HAMDI, M.; BENYOUNIS, K.Y., 2007, "Prediction of cutting force in end milling operation of modified AISI P20 tool steel", *Journal of Materials Processing Technology*, v. 182, pp. 241-247.
- AL-AHMAD, M.; D'ACUNTO, A., 2007, "Prediction of Cutting Forces System in Plunge Milling Operations in the Case of Full Radial Engagement of the Cutter", *Sixth International Conference High Speed Cutting*, San Sebastian, Spain, pp. 400-406.
- CAO, Y.; ALTINTAS, Y., 2007, "Modeling of spindle-bearing and machine tool systems for virtual simulation of milling operations", *International Journal Machining and Tools Manufacturing*, v. 47, pp. 1342-1350.
- CAPLA, R.L., 2006, "Estudo da Influência do Sobremetal Excedente de Desbaste na Operação de Acabamento Aplicando Usinagem com Altas Velocidades", Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Mecânica – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 101 p.
- DINIZ, A.E.; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N.L., 1999, "Tecnologia da Usinagem dos Materiais", 3 ed. São Paulo: MM Editora.
- HASCOET, J.Y.; RAUCH, M.; SUH, S.H., 2007, "Relevance of Step-NC standard for high level toolpaths generation", *Sixth International Conference High Speed Cutting*, San Sebastian, Spain, pp. 181-187.
- HU, Y.N.; TSE, W.C.; CHEN, Y.H.; ZHOU, Z.D., 1998, "Tool-path planning for rough machining of a cavity by layer-shape analysis", *International Journal Advance Manufacturing Technology*, v.14, pp. 321-329.
- LAZOGLU, I.; ALTINTAS, Y., 2002, "Prediction of tool and chip temperature in continuous and interrupted machining", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, v.42, pp. 1011-1022.
- KO, J.H., 2006, "Plunge Milling Force Model Using Instantaneous Cutting Force Coefficients", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, v.7, pp. 8-13.
- KO J.H.; ALTINTAS Y., 2006, "Time Domain Model of Plunge Milling Operation", *Journal of Machine Tools and Manufacture*, v.47, pp. 1351-1361.
- SOUZA, A.F., 2004, "Contribuições ao Fresamento de Geometrias Complexas Aplicando a Tecnologia de Usinagem com Altas Velocidades", 171 p. Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia Mecânica – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.
- SOUZA, A.F.; BONETTI, I., 2008, "Contato ferramenta-peça na fresamento de formas geométricas complexas". *Revista Máquinas e Metais*, nº 510, pp. 104-127.
- TLUSTY, J., 1993, "High speed machining", *Annals of the CIRP*, v.42, pp. 733-738.
- TOH, C.K., 2003, "Static and dynamic cutting force analysis when high speed rough milling hardened steel", *Journal of Materials and Design*, v. 24, pp. 1-10.
- WAKAOKA, S.; YAMANE, Y.; SEKIYA, K.; NARUTAKI, N., 2002, "High Speed and high accuracy plunge cutting for vertical walls", *Journal of Materials Processing Technology*, v.127, pp. 246-250.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

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

### **CONTRIBUTIONS TO DEVELOP KNOWLEDGE IN OPERATIONS OF ROUGH MOLD AND DIES WITH EMPHASIS IN PLUNGE MILLING DIRECTION**

Ivandro Bonetti, [ivandro@ifsc.edu.br](mailto:ivandro@ifsc.edu.br)<sup>1</sup>

Sabrina Bodziak, [sabrina.joi@terra.com.br](mailto:sabrina.joi@terra.com.br)<sup>3</sup>

Adriano Fagali de Souza, [adriano.fagali@sociesc.org.br](mailto:adriano.fagali@sociesc.org.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), R. Pavão, 1337 Joinville – SC 89.220-200

<sup>2, 3</sup> Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC/Departamento de Pesquisa IST. Grupo de Pesquisa: Desenvolvimento de Moldes e Matrizes, R. Albano Schmidt, 3333 Joinville – SC 89.201-972

*Abstract. Nowadays there has been noticeable an expressive technological development in the cutting process to machine moulds and dies, through applying new materials, cutting tools and machining strategies. The rough operations depict an important portion in the machining time of these pieces. In front of this scenario, a new milling rough operation in the tool's axial direction represents a possibility to optimize this machining process so as to decreasing the machining time and increasing the material removes rates. A few scientific studies have been carrying out at this thematic, limited to a technical-commercial researches. Therefore this work contributes with the knowledge in this machining process through an experimental trial analyses. In special it studies the cut direction effects during climb and conventional milling in these operations. The cutting force behavior and the form error in plunge milling are evaluated. The result quantifies the cutting parameters influence at the cutting force and error form. The axial cutting force cartesian component is not expressive, as it expects, so it does not imply in bearing and spindle components damage.*

**Keywords:** Plunge Milling, Roughing, Cutting Forces, Die and Moulds, Cutting Milling Strategies