

ESTRATÉGIAS DE FRESAMENTO PARA DESBASTE E ACABAMENTO DE MACHOS₍₁₎

Jefferson Oliveira Gomes ⁽²⁾

Alex Sandro de Araújo Silva ⁽³⁾

Guilherme Oliveira de Souza ⁽⁴⁾

Resumo: Esse trabalho objetiva realizar um estudo do processo de desbaste e de acabamento de uma peça (macho) em aço AISI P20, destinado à confecção de moldes para injeção de plásticos. Para o desbaste as conclusões foram estabelecidas em termos de vida de ferramenta, tempo de fabricação da peça e segurança de operação. Aplicando somente movimentos concordantes, com a ferramenta deixando a peça e incrementando a profundidade de corte axial (a_p), externamente a peça, a vida da ferramenta foi otimizada, mas o tempo de usinagem foi maior (1 hora e 16 minutos) do que para a estratégia alternativa (37 minutos) e a segurança de processo foi comprometida, necessitando uma simulação realística. Para o acabamento foram comparadas diferentes estratégias CAM para usinagem de uma peça composta por superfícies complexas, analisando as condições de contato do topo da ferramenta de corte com o material em relação à qualidade da superfície usinada. A melhor qualidade superficial obtida, de uma maneira geral, foi para o acabamento a 45°, simples ou cruzado, entretanto, para essa aplicação, não seria a ideal, pois acarretaria na necessidade de uma nova operação para acabar os cantos da cavidade. Dessa forma, a escolha pelo acabamento seguindo as isolinhas da superfície na direção longitudinal, com sentido de corte concordante e com incrementos sendo feitos de cima para baixo, se mostrou a mais viável.

Palavras-chave: *Moldes, Fresamento, Desbaste, Acabamento*

1. 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 21-23 de setembro, São Paulo, SP
2. Professor da Divisão de Engenharia Mecânica do ITA e Coordenador da Associação de Inteligência em Manufatura AIM/ITA. Dr. Eng.
3. Pesquisador da Associação de Inteligência em Manufatura AIM/ITA. Eng. Mec.
4. Pesquisador da Associação de Inteligência em Manufatura AIM/ITA. Eng. Mec.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da taxa de usinagem, incrementa-se a potência de corte. Assim, toda estratégia de desbaste é uma função da potência consumida pela máquina-ferramenta que por sua vez, depende diretamente da capacidade dos gumes da ferramenta de corte em suportar os esforços solicitados conforme diferentes estratégias de corte adotadas.

Verifica-se uma maior evolução da força de corte (F_c) e, conseqüentemente, da potência de corte (P_c), com a variação da profundidade de corte axial (a_p). Com o aumento do avanço por dente (f_z), a evolução da força de corte (F_c) aproxima-se a uma curva exponencial (Kienzle, 1952). A estratégia adotada para aumentar a taxa de usinagem (Q) deve considerar, em princípio, o aumento do avanço por dente (f_z). No entanto, quando se opta por aumentar o avanço por dente e diminuir a profundidade de corte axial, o número de saídas da ferramenta na peça aumenta e exige-se uma maior performance dos comandos numéricos e rigidez das máquinas-ferramentas. Se as estratégias de saída e entrada da ferramenta na peça não forem otimizadas, pode-se comprometer tanto o tempo de percurso da ferramenta em vazio quanto a segurança do processo.

Em comparação com o regime de desbaste, as profundidades de corte tipicamente aplicadas na etapa de acabamento são caracterizadas pelas pequenas seções de usinagem e, conseqüentemente, pelas pequenas forças de usinagem envolvidas no processo.

Neste estudo, serão comparadas diferentes estratégias CAM para desbaste e acabamento de uma peça composta por superfícies complexas, analisando as condições de contato do topo da ferramenta de corte com o material para otimização do desbaste em relação ao tempo de usinagem, à vida da ferramenta, à segurança de processo e do acabamento em relação à qualidade superficial e à diminuição do erro dimensional.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi uma aço AISI P20, aço-ferramenta de baixa liga, temperável em óleo, com boa usinabilidade e boa estabilidade dimensional durante o tratamento térmico.

Os ensaios foram realizados sobre um centro de usinagem Hermle C600 V, 3 eixos, com curso máximo de deslocamento das guias em X de 600 mm, Y de 450 mm e Z de 450 mm, rotação máxima do eixo árvore de 16.000 rpm, com potência máxima de 15 kW e comando numérico CNC Heidenhain TNC 430.

O programa CAM onde geraram-se as estratégias de corte foi o SurfCam, versão 2002.

Os critérios de fim de vida estabelecido para o ensaio de desbaste foram o desgaste de flanco máximo ($VB_{max} = 0,7$ mm), todavia, com a observação do desgaste cratera. O colapso catastrófico da ferramenta de corte também foi considerado. As marcas de

desgaste foram medidas no microscópio de ferramentaria Laica, ampliação de 60 vezes.

A rugosidade das superfícies foi medida com um rugosímetro de contato da marca Mitutoyo, modelo Surftest SJ-201.

Para o desbaste, escolheu-se uma fresa de topo reto, diâmetro de 25 mm, 3 dentes, com raio de inserto de 0,8 mm e classe IC 950 e para o acabamento, Escolheu-se a fresa inteiriça de metal duro (classe P10) de topo esférico, de dez milímetros de diâmetro e dois dentes. A combinação dos parâmetros de corte (tabela 1) foi baseada nas informações recomendadas por experimentos anteriores (Gomes, 2003).

Tabela 1. Condições ensaiadas no aço AISI P20.

Parâmetros de corte	Desbaste	Acabamento
Velocidade de corte (v_c) [m/min]	395	503
Avanço por dente (f_z) [mm/dente]	0,33	0,2
Profundidade de corte axial (a_p) [mm]	0,5	0,2
Profundidade de corte radial (a_e) [mm]	12,5	0,2

Desenvolveu-se uma geometria com cantos com raios de curvatura pequenos, rampas e paredes de inclinação extrema (figura 1).

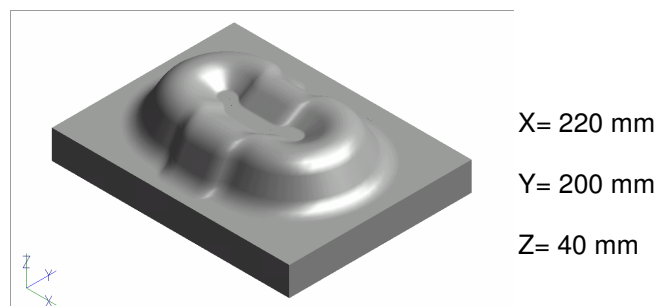


Figura 1. Peça-teste.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Desbaste

Nesse trabalho optou-se pelo estabelecimento das seguintes estratégias de corte:

1. Estratégia 1: A usinagem em espiral, com contato contínuo da fresa em corte concordante e com um mínimo de variação de direção da linha de fresamento, objetivando uma maior vida da ferramenta;
2. Estratégia 2: Usinagem dessa superfície positiva complexa (macho) em estratégia de usinagem negativa (cavidade), executando-se o mergulho da ferramenta sobre a superfície usinada, otimizando o tempo e a segurança de processo.

Verifica-se a maior quantidade de movimentos em rápido (vazio) (linhas pretas acima da peça) para a estratégia 1 (figura 2). Necessita-se neste caso, uma verificação criteriosa em um simulador realístico.

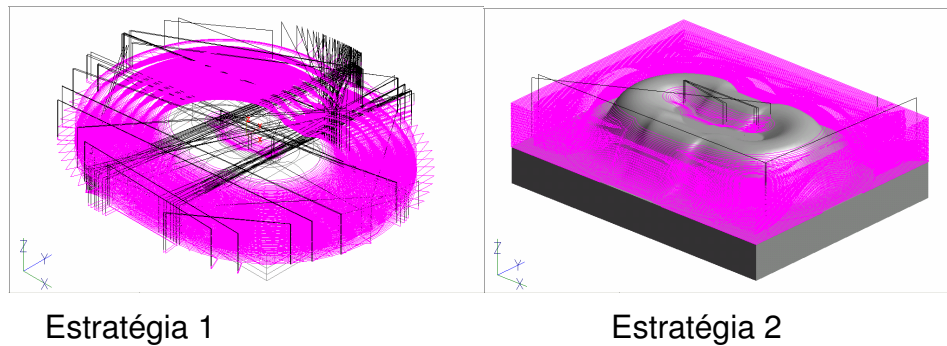


Figura 2. Quantidade de movimentos em vazio para as estratégias empregadas.

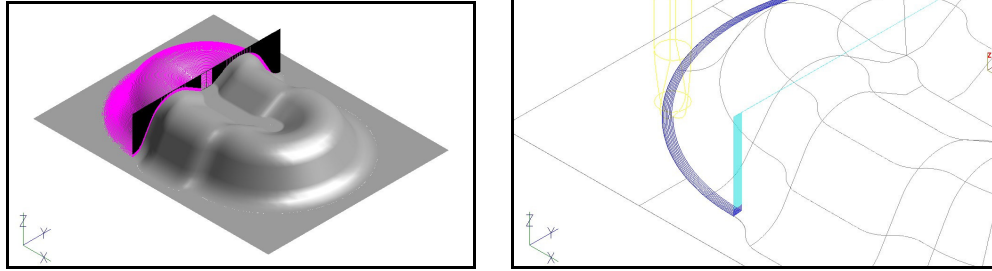
A pior situação no fresamento de aços ocorre no corte discordante, quando no momento em que a aresta de corte sai do material, esta sofre uma mudança brusca de um esforço máximo de compressão para um esforço de tração, o que tende a causar falhas mecânicas no gume da aresta de corte. (Kölling, 1986; Bieker, 1992; Falboehmer, 1998, Gomes, 2001). Na estratégia 1, onde todos os movimentos se deram em movimento concordante, ocorreu um desgaste progressivo dos gumes da ferramenta de corte, onde ao final do experimento evidenciou-se um desgaste de flanco máximo (VBmax) de 0,7 mm. Já na estratégia 2, onde alternaram-se movimentos concordantes e discordantes, necessitou-se a utilização de dois jogos de inserts, uma vez que ocorreu a falha catastrófica dos gumes. No entanto, com a estratégia 2 o tempo total de fabricação da superfície foi de 37 minutos, mais rápido que o para estratégia 1, que foi de 1 hora e 16 minutos.

Relativamente à estratégia 2, para evitar lascamentos dos gumes, o mergulho da ferramenta para a próxima superfície executou-se em rampa com um ângulo (α_r) de 7 graus.

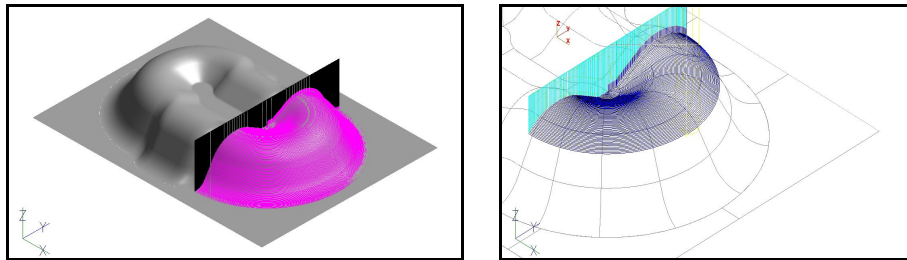
3.2. Acabamento

Foram fabricadas duas peças, uma foi dividida em três superfícies, e a segunda em duas metades, de modo que pudessem ser testadas cinco diferentes estratégias.

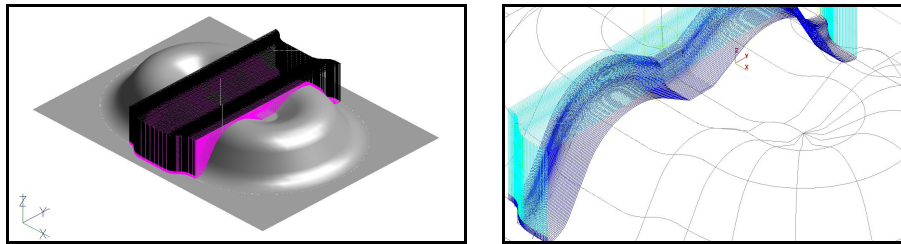
A superfície situada à esquerda na primeira peça foi acabada com passadas da ferramenta seguindo as isolinhas da superfície no sentido longitudinal (figura 3b), com sentido de corte concordante, incrementos tangentes à peça, de baixo para cima. Na superfície situada à direita na mesma peça foi acabada do mesmo modo anterior, no entanto, de cima para baixo (figura 4b). Na região intermediária da peça, a estratégia aplicada foi com passadas no sentido transversal a peça (figura 5b). O incremento lateral foi feito da esquerda para direita.



Figuras 3a e 3b. Caminho da ferramenta com incrementos feitos de baixo para cima.



Figuras 4a e 4b. Caminho da ferramenta com incrementos laterais de cima para baixo.



Figuras 5a e 5b. Acabamento 3-eixos com passadas no sentido transversal.

Para a segunda peça, a estratégia utilizada foi um acabamento com a ferramenta seguindo caminhos cujas projeções no plano XY são linhas inclinadas de 45° . Primeiro a peça foi totalmente usinada da direita para esquerda, e com um programa subsequente, esse mesmo processo foi feito no sentido contrário, com linhas perpendiculares as anteriores, até a metade da peça, resultando em uma usinagem com passadas cruzadas do lado direito da peça (figuras 6).

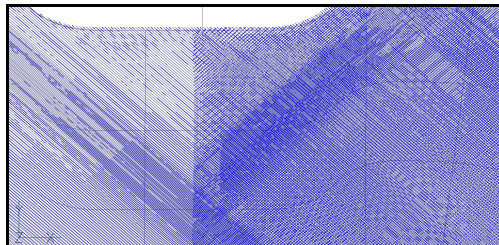


Figura 6. Acabamento à 45° simples, a esquerda, e cruzado, a direita.

Foram definidas regiões de análise, de acordo com as áreas onde foram aplicadas as diferentes estratégias CAM, onde foram feitas medições de R_z e R_a em três pontos distintos (figura 7).

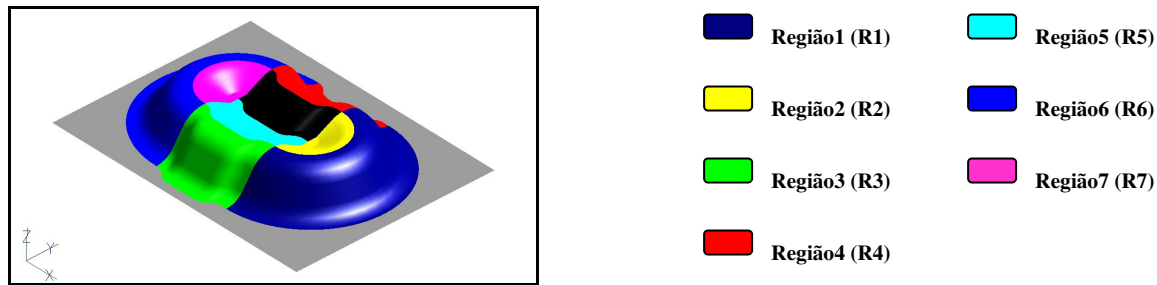


Figura 7. Regiões de análise de rugosidade para a peça 1.

Os seguintes valores (tabela 2) foram obtidos nas medições de rugosidade:

Tabela 2. Valores de rugosidade para a peça 1.

	Medidas longitudinais		Medidas Transversais	
	R_a Média 3 medições	R_z Média 3 medições	R_a Média 3 medições	R_z Média 3 medições
R1	0,68	2,93	1,49	8,31
R2	1,14	8,52	1,70	11,39
R3	1,37	8,52	2,44	10,45
R4	0,74	4,44	2,00	12,67
R5	1,14	6,78	1,91	11,19
R6	1,02	4,55	2,63	13,24
R7	1,50	11,56	2,83	13,70

A melhor qualidade superficial foi atingida na R1. Comparando com a R6, onde há uma superfície simétrica à primeira, pode-se observar que para situações de corte semelhantes, o fato da ferramenta realizar seus incrementos para próximas passadas de cima para baixo garantiu um melhor acabamento do que aquele obtido com a situação inversa. A resistência que o material que está sendo usinado oferece no segundo caso, tende a puxar a ferramenta para fora da fixação, o que causa uma maior instabilidade se comparado com o primeiro caso, que tende a forçá-la contra a fixação, situação em que o conjunto ferramenta-fixação apresenta maior rigidez.

Situação semelhante é encontrada quando são comparadas as R4 e R5 com a R3. Nas duas primeiras, onde a ferramenta avançou no sentido de declive, a qualidade superficial foi melhor que para a situação oposta, ocorrida na R3. Mas com a mudança da direção de avanço, de transversal a inclinação, para longitudinal a esta, a rugosidade aumentou, para ambos os casos, indicando uma situação mais severa de corte

Para a peça 2, as seguintes regiões de análise foram as escolhidas (figura 8):

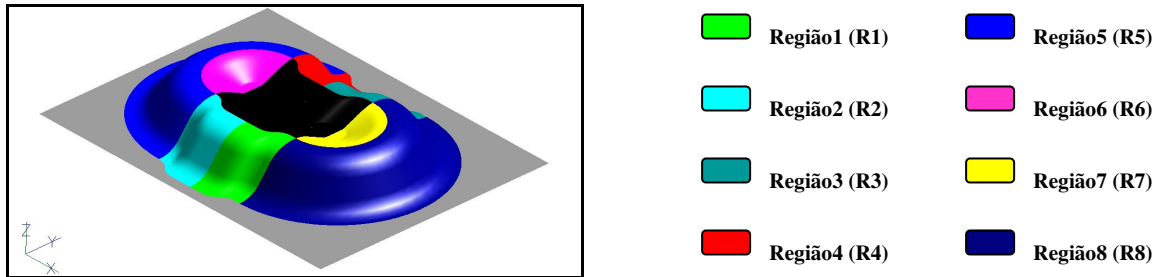


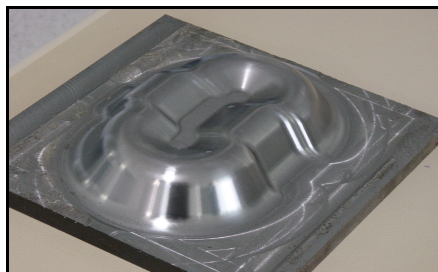
Figura 8. Regiões de análise de rugosidade para a peça 2.

Os valores de rugosidade encontrados na medição desta peça são os abaixo apresentados na tabela 3.

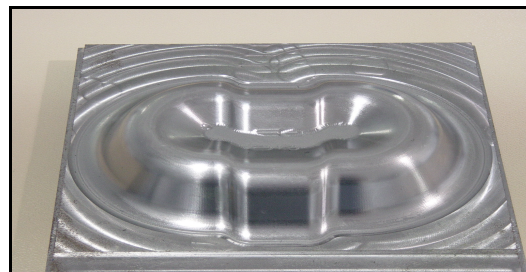
Tabela 3. Valores de rugosidade para a peça 2.

	Medidas longitudinais		Medidas Transversais	
	R_a Média 3 medições	R_z Média 3 medições	R_a Média 3 medições	R_z Média 3 medições
R1	1,09	5,59	1,33	6,57
R2	0,96	5,14	1,17	6,61
R3	0,63	3,47	1,13	5,33
R4	0,51	2,83	0,79	3,83
R5	0,73	4,13	0,88	4,28
R6	0,87	5,19	1,34	7,93
R7	0,75	4,60	1,20	8,52
R8	0,74	4,09	0,72	3,60

A qualidade superficial foi em geral melhor na peça 2. Contudo, com as estratégias usadas na peça 2, não ocorreu uma completa remoção do material, ficando uma sobremedida nos cantos da cavidade que a peça apresenta em sua parte superior (figura 9).



Peça 1



Peça 2

Figura 9 a e 9b. Peças 1 e 2 acabadas.

4. CONCLUSÕES

Para o desbaste, a vantagem encontrada com a estratégia 1 foi a otimização da vida da ferramenta. Nesse caso, ocorreu um desgaste progressivo do flanco da ferramenta. No entanto, o tempo de usinagem foi maior (1 hora e 16 minutos) do que para a estratégia 2 (37 minutos) e a segurança de processo foi comprometida, necessitando uma simulação realística dos percursos de usinagem. Apesar de na estratégia 2, a quase ausência de movimentos em rápido colaborar para rapidez e segurança de processo, não necessitando-se de simulação realística, a alternância de movimentos (concordante e discordantes) sobre a peça provocou a falha catastrófica da ferramenta de corte, inviabilizando a aplicação, com esses parâmetros de corte, num ambiente onde o operador supervisiona duas ou mais máquinas.

No acabamento, a melhor qualidade superficial obtida foi para o acabamento a 45°, simples ou cruzado, entretanto, necessitando de uma nova operação para acabar os cantos da cavidade. A escolha pelo acabamento seguindo as isolinhas da superfície na direção longitudinal, com sentido de corte concordante e com incrementos sendo feitos de cima para baixo, se mostrou a mais viável, apresentando valores de rugosidade próximos aos do acabamento a 45°, e se mostrando mais estável que as demais.

5. REFERÊNCIAS

- BIEKER, R., 1991, "NC-Fräsen von Stahlhohlformen", VDI-Verlag GmbH, ISBN 3-18-401190-9, Düsseldorf 1991.
- FALLBÖHMER, P., 1998, "Advanced Cutting Tools for the Finishing of Dies and Molds". VDI-Verlag GmbH, ISBN 3-18-349802-2, Düsseldorf.
- GOMES, J.O., 2001, "Fabricação de Superfícies de Forma Livre por Fresamento no Aço Temperado ABNT 420, na Liga de Alumínio AMP 8000 e na Liga de Cobre Cu-Be", Tese de Doutorado da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 150p.
- GOMES, J.O.; Vallejos, R.V.; Knodt, S.; 2003, "Ferramentas de Desbaste para o Fresamento dos Aços ABNT 420 e SAE H13", Universidade Federal de Uberlândia, Anais do Cobef-2003, 10 p.
- KIENZLE, O., 1952, "Bestimmung von Kräften und Leistungen an Spanenden", Werkzeugen und Werkzeugmaschinen. Verein Deutsche Ingenieure 94, pg. 299-305.
- KÖLLING, D., 1986. "Prozessoptimierung und Leistungssteigerung Beim Schafffräsen. Dissertation, RWTH-Aachen.

Abstract: The objective of this work is to carry out a study on the process of roughing and finishing of a free form surface on steel AISI P20, destined to the confection of injection molds. For the roughing the conclusions had been established in terms of tool life, lead-time security of operation. Only applying climb milling, with the tool leaving the part and incrementing the axial depth of the cut (a_p), external to the part, the life of the tool was optimized, but the lead-time was bigger (1 hour and 16 minutes) than alternative strategy (37 minutes) and also the process security was compromised, needing a realistic simulation. For the finishing of a free form surface, different milling strategies are composed and had been compared, analyzing the conditions of top contact in relation to quality of machined surface. The best quality surface was obtained for the finishing in 45° , simple or crossed, however, for this application, it would not be the ideal because it would cause the necessity of a new operation to finish the corners of the surface. Therefore, the most viable choice for the finishing was following isolines of the surface in the longitudinal direction, with climb milling and with increments being made from top to bottom.

key-words: *Moulds, Milling, Roughing, Finishing*