

OTIMIZAÇÃO DO FRESAMENTO FRONTAL DE DIVERSAS SUPERFÍCIES DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

Jorge Antonio Giles Ferrer – professor do Centro SENAI Fundação Romi Formação de Formadores em Santa Bárbara D'Oeste - SP

Anselmo Eduardo Diniz – professor da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP - SP

Resumo

A maior parte dos estudos sobre o processo de fresamento frontal abordam a usinagem de superfícies planas sem descontinuidades, o que na prática dificilmente acontece. Normalmente existem superfícies interrompidas com furos, superfícies estreitas que são usinadas com fresas de diâmetro grande, devido a uma pequena porção de largura maior, superfícies com rebaixos de 90°, o que faz com que todas as outras superfícies tenham que ser usinadas com uma fresa com este ângulo de posição, etc. Este trabalho pretende abordar alguns problemas gerados pelo fresamento de superfícies como as citadas. Assim, os ensaios deste trabalho foram realizados em peça de ferro fundido real do meio produtivo (carcaça de compressor do sistema de freio de ônibus), que contém 3 superfícies a serem fresadas com características diferentes umas das outras. No fresamento de desbaste com ferramenta de metal duro se adotaram diferentes velocidades e sentidos de corte (concordante e discordante). As principais conclusões deste trabalho foram: a) em operações de superfícies com rebaixo de 90°, em que o corte discordante se inicia com espessura de corte igual a zero em cada aresta da ferramenta, o corte concordante teve melhor desempenho em termos de desgaste da ferramenta; b) superfícies estreitas que são fresadas com fresas de diâmetro grande, devido à existência de uma pequena porção de largura maior, e que não possuem rebaixos para serem usinados, apresentaram melhor desempenho em termos de desgaste de ferramenta quando usinadas no sentido discordante; c) estas superfícies tem maior desgaste quanto maior o número de descontinuidades que possuir.

Palavras-Chave :

Fresamento, ferro fundido cinzento, metal duro, desgaste de ferramenta.

1. INTRODUÇÃO

Muito se tem pesquisado sobre o processo de fresamento frontal no tocante à posição relativa fresa-peça, diâmetro da fresa em relação à largura da superfície usinada, melhores condições de usinagem, sentido de corte, etc. Porém, quase a totalidade destes estudos teórico/práticos são realizados usinando-se superfícies planas sem interrupções, o que nos processos industriais raramente ocorre.

Na prática normalmente encontramos superfícies interrompidas com furos e geometrias complexas, com larguras de corte variáveis, nas quais fresas de diâmetro grande são necessárias para usinar somente uma parte da superfície da peça (que apresenta largura compatível com o diâmetro da fresa), sendo que em outras partes da peça que apresentam larguras menores, a fresa opera em condições desfavoráveis, gerando vibração e desgaste prematuro das pastilhas, acelerando o desgaste por lascamento. Também é comum a existência de superfícies da peça com rebaixos de 90°, o que faz com que todas as outras superfícies tenham que ser usinadas com uma fresa projetada com este ângulo de posição, para minimizar o custo de ferramental e diminuir os tempos mortos com trocas de ferramenta. Porém, a utilização de uma fresa com ângulo de posição de 90° tende a acelerar o desgaste das pastilhas pelo mecanismo de atrito.

Além dos parâmetros de corte, a definição do sentido de usinagem é de fundamental importância para garantir maior vida útil da ferramenta, pois influencia diretamente nos diversos mecanismos de desgaste presentes. Cada sentido de corte apresenta limitações e sua influência deve ser analisada em função das diversas geometrias das peças a ensaiar.

Isto posto, os principais objetivos deste trabalho são:

- Entender o mecanismo de desgaste em ferramentas de metal duro no fresamento de desbaste de superfícies descontínuas de ferro fundido cinzento que apresentam geometrias diversas;

- Avaliar a influência da velocidade de corte, sentido de usinagem e posicionamento da ferramenta de corte na vida da ferramenta e na produtividade do processo de usinagem;
- Estabelecer critérios para a seleção de velocidade de corte e sentido de usinagem no fresamento de superfícies descontínuas que apresentem características geométricas comuns com as peças ensaiadas.

2. REVISÃO TEÓRICA

Para que se entenda este trabalho, é importante definir os fresamentos concordante e discordante. Fresamento tangencial concordante é aquele em que o sentido de rotação da fresa concorda com o sentido de avanço da mesa da fresadora e o discordante é aquele em que o inverso ocorre.

Muitas vezes no fresamento discordante a espessura de corte h aumenta progressivamente de zero até um valor máximo. Inicialmente, quando a aresta toca a peça, ela é forçada para dentro da peça, criando um excessivo atrito (com conseqüente deformação plástica daquela região da peça, ao invés da formação do cavaco) e altas temperaturas. Além disso, freqüentemente o contato é realizado com uma superfície encruada, causada pelo corte do dente anterior. Quando a pressão da aresta cortante atinge um valor capaz de vencer a tensão de ruptura do material da peça, a ferramenta penetra a peça e, com os movimentos de usinagem, retira uma porção de cavaco em forma de vírgula. Assim, no início da operação de cada dente, a componente perpendicular à direção de avanço no plano de trabalho tende a afastar a ferramenta da peça e a empurra, enquanto que no fim da operação de um dente, a aresta cortante tende a puxar a peça em sua direção. Segundo Diniz⁽¹⁾ esta alternância desta componente da força de usinagem produz vibrações indesejáveis, que prejudicam o acabamento superficial e a tolerância da peça fresada.

No fresamento concordante tais defeitos são sanados, já que a componente da força de usinagem perpendicular ao avanço sempre tem o mesmo sentido, isto é, sempre empurra a peça. Porém, ainda existem inconvenientes. A aresta de corte ao penetrar a peça o faz com h máximo e este valor diminui a medida que a aresta penetra a peça, podendo atingir um valor de h igual a zero. Por isto, nas peças que apresentam uma camada superficial endurecida (crosta de fundição ou de forjamento, por exemplo) o contato inicial da aresta cortante se dá em condições desfavoráveis, o que diminui a vida da ferramenta. Outro inconveniente é que a componente da força de usinagem na direção de avanço possui o mesmo sentido de avanço da mesa. A porca do sistema de avanço da máquina (sistema fuso-porca que está preso à mesa) para poder fazer a mesa andar em um sentido, tem que fazer força no fuso no sentido oposto. Esta força, portanto, também está no sentido oposto da força de usinagem no sentido do avanço, que tem módulo variável, devido à variação da espessura de corte. Então, a força resultante sobre o fuso da máquina varia em módulo e em sentido, o que pode gerar vibração. Este inconveniente pode ser corrigido diminuindo-se folgas entre fuso e porca ou utilizando-se de fusos esferas recirculantes, nos quais não existe folga e todo contato entre fuso e porca é feito através das esferas.

No fresamento frontal (aquele em que a superfície gerada é perpendicular ao eixo da fresa) esta definição de fresamento concordante e discordante não pode ser totalmente aplicada. Nos fresamentos frontais simétricos de rasgo (figura 1a) e comum (figura 1b), a definição realmente não se aplica pois, na primeira metade do contato do dente da fresa com a peça, a espessura de corte cresce (o que poderia ser chamado de corte discordante) e na segunda metade deste contato, a espessura diminui (o que poderia ser chamado de corte concordante). Nos fresamentos assimétricos mostrados nas figuras 1c e 1d, pode-se pensar em fresamento discordante quando, na maior parte do contato do dente com a peça, a espessura do corte cresce e em fresamento concordante, quando, na maior parte do contato do dente com a peça, a espessura do corte decresce. Nestes casos também se aplicam as vantagens e desvantagens destes tipos de fresamento citadas anteriormente quando se comentou sobre o fresamento tangencial.

Porém, há que se ressaltar alguns outros pontos, quais sejam:

- 1) Segundo literatura da Sandvik⁽²⁾, no tipo de fresamento frontal assimétrico mostrado na figura 1d, recomenda-se que a largura cortada a_c seja maior que metade do diâmetro da fresa, para que, quando da utilização do corte concordante, o choque aresta-peça seja aliviado,

conforme figura 2. Vê-se nesta figura que quando $a_e < D/2$ o choque aresta-peça se dá na extremidade da pastilha, bem próximo à aresta, enquanto que, quando $a_e > D/2$, este choque se dá no corpo da pastilha, longe da aresta, em uma região mais resistente à quebra. Mas vários tipos de peças fresadas não podem obedecer a esta regra, pois parte da superfície tem largura grande, enquanto que parte da mesma superfície tem largura pequena. Assim, é necessário que se tenha uma fresa de diâmetro grande para usinar a parte da superfície com maior largura, mas em boa parte do corte esta fresa estará usinando uma largura pequena, com $a_e < D/2$, como é o caso da peça que será utilizada neste trabalho. O que fazer então? Utilizar-se o corte discordante, apesar de seus inconvenientes já citados? Responder a esta pergunta é um dos objetivos deste trabalho.

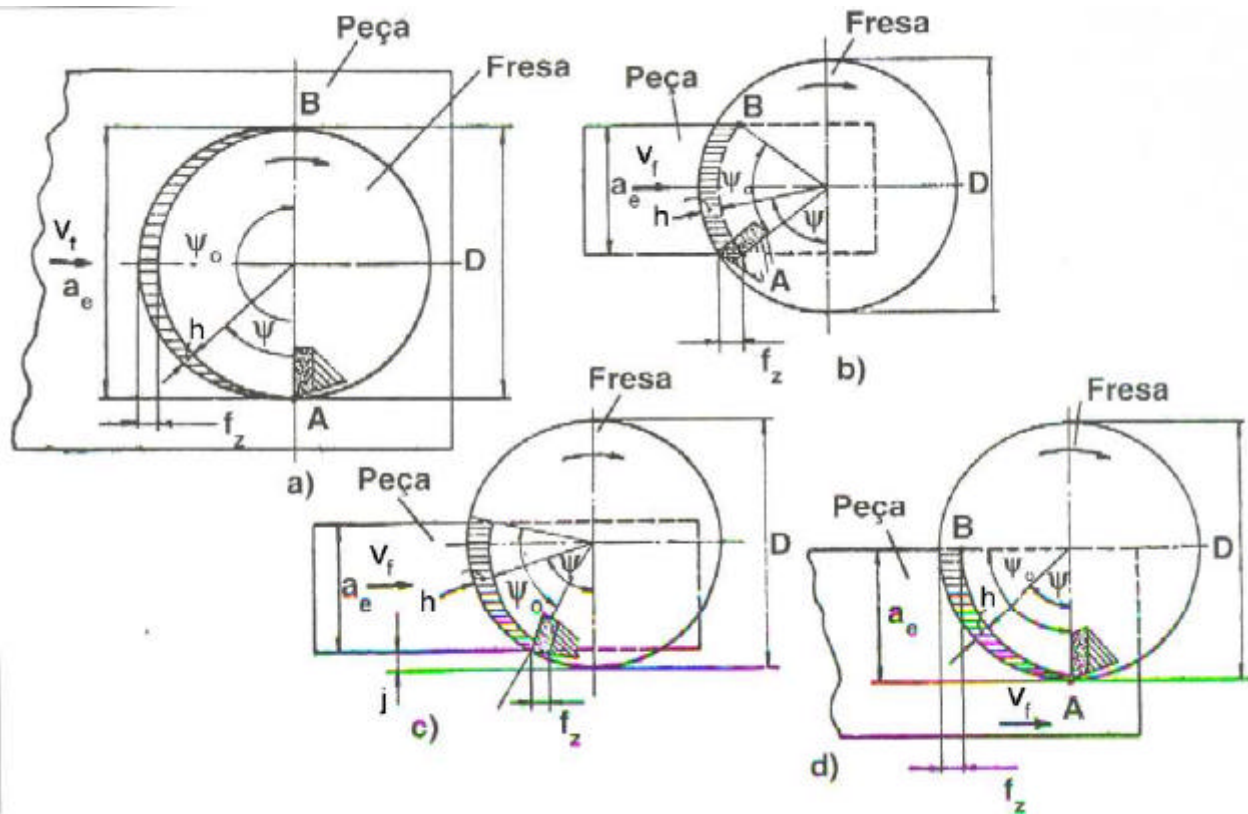


Figura 1 - Fresamento Frontal : a) simétrico de rasgo, b) simétrico comum, c) assimétrico com usinagem total da superfície d) assimétrico com usinagem parcial

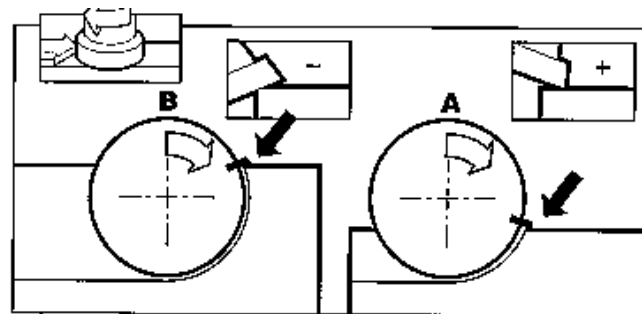


Figura 2 – Posicionamentos das pastilhas no momento do choque do dente da fresa com a peça quando $a_e > D/2$ e quando $a_e < D/2$

2) No fresamento frontal em que o diâmetro da fresa é maior que a largura fresada ($D > a_e$), como os mostrados nas figuras 1b e 1c, surge a questão de qual o melhor método para se realizar o corte: simetricamente, como na figura 1b? ou assimetricamente, como na figura 1c? Se o corte assimétrico for realizado, ele o será com corte discordante (conforme os sentidos de rotação da fresa e avanço da peça mostrado na figura 1c), ou concordante (com sentido de avanço da peça inverso daquele mostrado na figura 1c)? O corte simétrico tem como vantagem o fato de que o ângulo de contato (ψ_0) entre dente da fresa e peça é menor que no corte assimétrico. Assim, o desgaste da fresa tende a ser também menor. Porém, segundo Machado⁽³⁾ muitas vezes a vida de uma fresa deste tipo termina não devido ao desgaste causado pelo contato (atrato) fresa-cavaco-peça, mas sim devido à avarias como lascas e trincas causadas pelo choque e pela variação térmica inerentes ao processo, nessa condição, o corte assimétrico pode apresentar vantagens. Segundo literatura da Sandvik, o corte simétrico apresenta ainda o inconveniente da direção das forças radiais, que varia à medida que a aresta de corte penetra na peça, o que poderá levar à vibrações e à quebra prematura da aresta. É lógico que este problema é minimizado quando se tem mais de um dente simultaneamente no corte. Quando o corte é assimétrico, a variação da direção da componente radial da força de usinagem é bem menor e, com isso, menor a tendência à vibração. Mas se este tipo de corte for utilizado, a decisão seria escolher entre o sentido concordante, apresentando a dimensão “j” grande (ver figura 1c) ou discordante com a dimensão “j” pequena. Neste caso, o corte discordante não apresenta a desvantagem de se ter a espessura de corte igual a zero na entrada do dente no corte, causando elevado atrito, como citado anteriormente, e também a variação de sentido da componente da força de usinagem que puxa (ou empurra) a peça da mesa (neste caso, esta componente nunca vai estar no sentido de empurrar a peça para a mesa, pois nunca a espessura de corte vai ser zero). Por sua vez, o corte concordante continua com o inconveniente do maior choque na entrada da aresta de corte na peça. Porém, no corte discordante, a saída do dente do corte se dá com espessura de corte grande. Segundo Pekelharing⁽⁴⁾, isto deve gerar trincas na aresta. Este pesquisador afirma que uma das causas do excessivo lascamento de pastilhas de metal duro no fresamento é um fenômeno que denominou de *foot forming*. Quando a aresta de corte está prestes a sair da peça, causa uma rotação em torno da zona primária de cisalhamento, tornando o ângulo de cisalhamento negativo e instantaneamente aumentando os esforços de corte. Quanto maior a espessura de corte na saída da aresta do corte, maior é a intensidade deste fenômeno. Então, qual é o método mais adequado? O concordante, com grande choque na entrada do dente, ou o discordante, com o *foot forming*?

Diniz e Caldeirani⁽⁵⁾ realizaram diversos ensaios com fresa frontal de facear com pastilhas intercambiáveis de metal duro recoberto ISO P25 no corte de aço 1045. Nestes ensaios os autores variaram o valor de “j”, desde de um valor bem pequeno (3,8 % do diâmetro da fresa – assimétrico discordante), até um valor bem grande (26,2% do diâmetro da fresa – assimétrico concordante), passando pelo corte simétrico, em que “j” era 15% do diâmetro da fresa. Os resultados destes ensaios demonstraram que a medida que “j” cresce, a ferramenta passa a lascas mais e sua vida diminui substancialmente. A diferença da vida da ferramenta entre o corte assimétrico discordante com o menor “j” e o corte simétrico foi de 24% e de mais de 100%, quando comparado com o corte simétrico concordante (com o maior “j” utilizado). Este resultado é muito interessante, pois mostra que uma simples modificação da posição da fresa em relação à peça, que não implica em nenhuma outra mudança no processo como aumento do tempo de corte, dano à rugosidade da superfície usinada, etc. pode significar uma economia substancial de ferramenta. Há que se ressaltar, porém, que todos estes resultados foram obtidos no fresamento de superfícies lisas, sem interrupção. O que aconteceria se o corte fosse realizado em uma superfície que possuísse interrupções, como furos, o que é típico de peças utilizadas no meio industrial? Neste caso, ter-se-ia que pensar não somente no choque inicial da aresta de corte com a peça, mas também com os outros choques que cada aresta vai ter durante uma revolução. Além disso, o que ocorreria se a largura fresada a_e não permanecesse constante durante o corte, como também é típico? Neste caso, tem-se variação do parâmetro “j” e conseqüente variação da espessura de corte na entrada e saída do dente da peça. Responder a estas perguntas também é objetivo deste trabalho.

3. MATERIAIS, MÉTODOS E EQUIPAMENTOS

O material a usinar foi o ferro fundido cinzento com dureza entre 193-226 HBS, apresentando na sua estrutura perlita com pequenas áreas de ferrita e veios de grafita, com porcentagem de carbono entre 3,12-3,25%, segundo os ensaios realizados nas amostras.

As ferramentas de corte empregadas foram pastilhas de metal duro com código ISO SPHX1205PCERGPB, classe K20 (KC925M), recobertas com multicamadas de TiN/Al₂O₃ pelo processo CVD, montadas numa fresa de 63 mm de diâmetro, 8 pastilhas e ângulo de posição 90°. Todos os ensaios foram realizados sem a presença de fluido de corte (corte a seco).

A máquina utilizada nos ensaios foi um centro de usinagem CNC Romi, modelo Polaris V400, com potência de 20 CV e rotação máxima de 6000 RPM.

Os desgastes das ferramentas foram medidos utilizando-se um microscópio com ampliação de 60 vezes acoplado a uma câmera fotográfica.

Um ensaio se dava nas mesmas condições de corte com o mesmo conjunto de arestas da ferramenta, até que três destas atingissem o valor de desgaste de flanco de $V_B = 0,3$ mm ou até se atingir 110 passadas na superfície a ser usinada, o que ocorresse primeiro. De tempos em tempos, a ferramenta era retirada da máquina para que o desgaste de suas arestas fosse medido.

Três diferentes geometrias de superfície foram fresadas, conforme mostram as figura 3a,b e c. Estas superfícies são idênticas aquelas que devem ser fresadas no compressor. Com tal objetivo foi solicitada a fundição em ferro fundido cinzento, de três tipos de peças diferentes contendo as superfícies a serem analisadas. O grande desafio foi realizar a otimização da usinagem das três superfícies com uma única fresa. Pode-se ver que, para se usinar as três superfícies com a mesma fresa, é necessário que ela tenha ângulo de posição de 90°, devido ao rebaixo que deve ser usinado na superfície 1 e tenha no mínimo um diâmetro de 63 mm, devido a largura maior de parte da superfície 3. Porém, boa parte do corte das três superfícies vai ser feito com a largura da superfície bem menor que metade do diâmetro da fresa, com os inconvenientes já citados anteriormente.

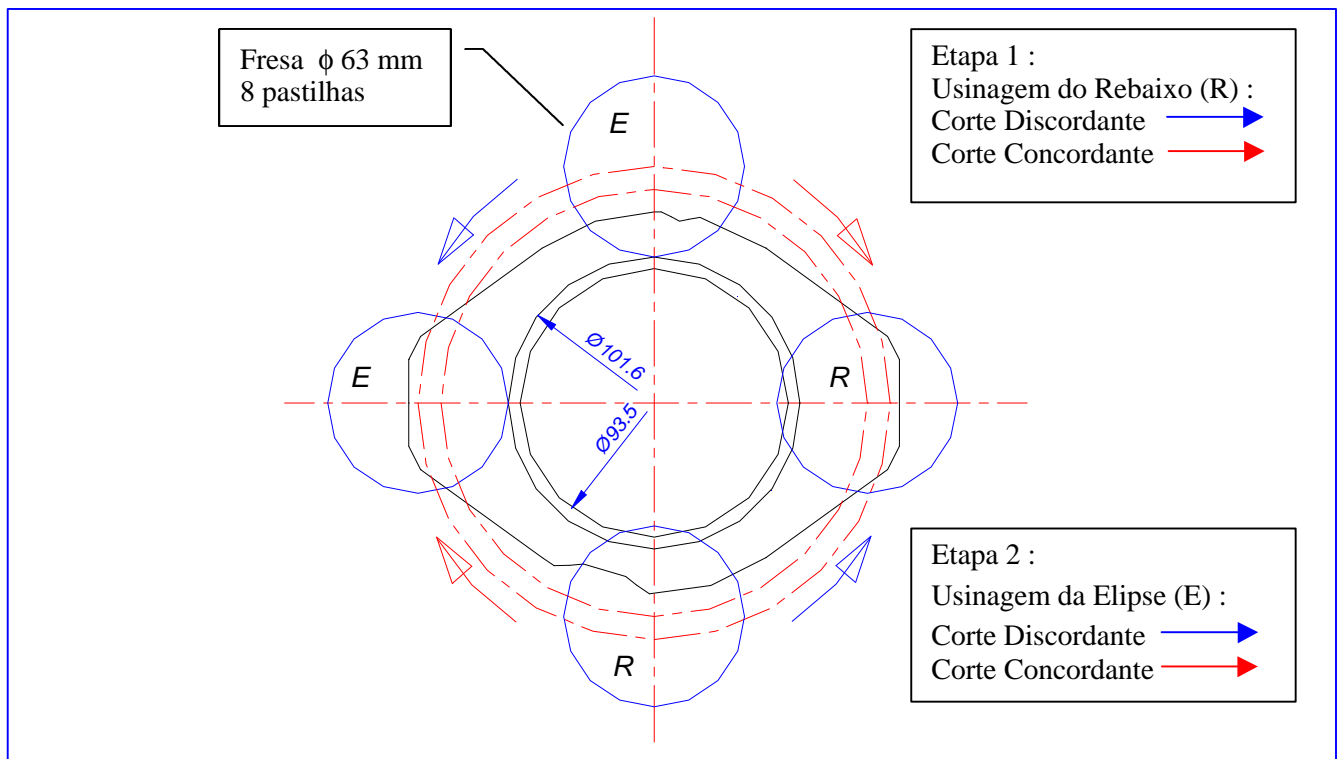


Figura 3a – Usinagem da Superfície 1 nos sentidos concordante e discordante

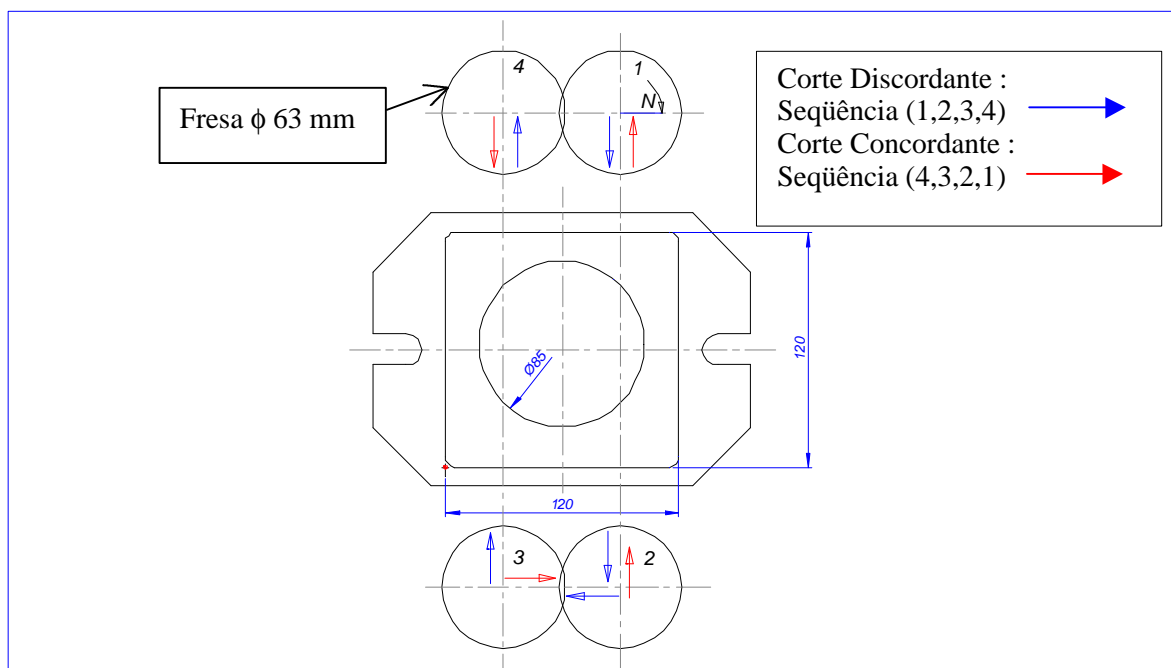


Figura 3b – Usinagem da Superfície 2 nos sentidos concordante e discordante

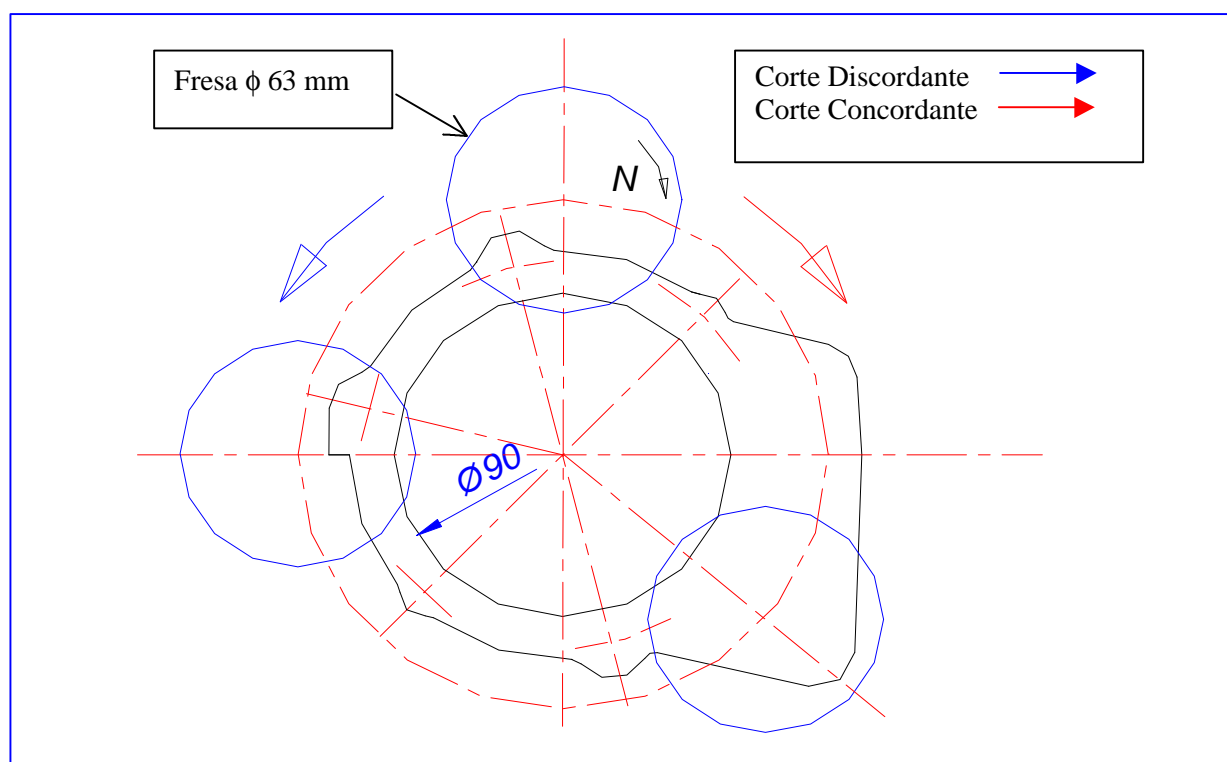


Figura 3c – Usinagem da Superfície 3 nos sentidos concordante e discordante

Além de ter como variável o tipo de superfície a ser fresada, duas outras variáveis foram testadas, quais sejam: a velocidade de corte (230, 280 e 340 m/min) e sentido do corte (concordante e discordante). O avanço por dente e a profundidade de usinagem foram mantidas constantes nos valores $f_z = 0,25$ mm e $a_p = 1$ mm.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os ensaios nas três peças foram comparados tomando como base o mesmo volume de cavaco removido de 775 cm³, os valores de desgaste de flanco V_B , mostrados nos gráficos correspondem à média dos valores encontrados nas três pastilhas mais críticas do conjunto.

4.1. Peça 1 (Elíptica)

O sentido concordante mostrou-se melhor em termos de desgaste do que o sentido discordante, como mostrado na Figura 4. O sentido discordante apresenta vários problemas, principalmente a espessura de cavaco é zero na entrada, fato inevitável pela existência do rebaixo, gerando elevado atrito na entrada da ferramenta na peça. Outro problema no sentido discordante é o fenômeno denominado *foot forming* relatado por Pekelharing⁽⁴⁾, já mencionado anteriormente, provocando lascamento na aresta. Esse problema é mais crítico quando maior é a espessura de corte na saída da aresta de corte. Na peça 1, o corte atinge espessura máxima no diâmetro maior da elipse, a fresa usina nessa região crítica aproximadamente 25% do tempo de usinagem. O sentido concordante tem também uma desvantagem nesta peça: a linha de centro da fresa fica fora da peça aproximadamente 75% do tempo de corte, portanto o corte freqüentemente começa com a parte mais extrema da pastilha tocando a peça, incentivando o lascamento da pastilha. A utilização de pastilha com tenacidade média, como a utilizada nos ensaios, foi uma opção apropriada para o corte concordante, por não ser tão sensível ao impacto. Conclui-se então que o atrito gerado na entrada do dente no corte discordante é muito mais prejudicial para a vida da ferramenta que o choque aresta-peça que ocorre no sentido concordante.

Pode-se verificar também na figura 4 que a velocidade de corte influenciou mais o desgaste da ferramenta no sentido discordante que no concordante. Como já visto, a ocorrência mais crítica para o desgaste no sentido discordante é o atrito aresta contra a peça em sua entrada no corte, enquanto que para o sentido concordante a ocorrência mais crítica é o choque na entrada do corte. Assim, o elevado atrito contra a peça no sentido discordante faz com que a temperatura da aresta cresça, o que facilita o desgaste por abrasão na entrada do corte. Quanto mais alta a velocidade, mais se faz sentir este efeito do atrito na entrada do corte para o sentido discordante, diminuindo drasticamente a vida útil da ferramenta, por esse motivo não foi realizado o ensaio para $v_c = 340$ m/min no sentido discordante.

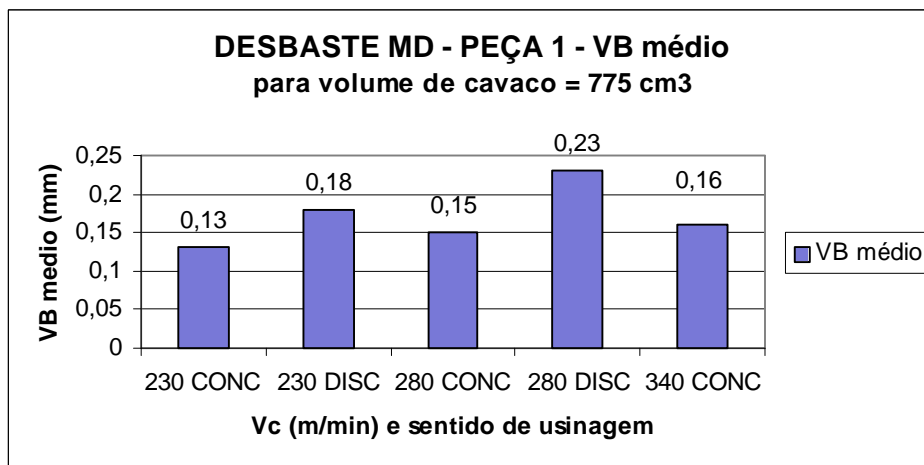


Figura 4 – Desgaste de flanco médio no final do ensaio - Peça 1

4.2. Peça 2 (Quadrada)

Para esta peça, o sentido discordante mostrou-se sempre melhor que o concordante (figura 6). No sentido concordante em aproximadamente 50% do tempo de corte a linha de centro da fresa fica fora da peça, incentivando o lascamento. Também, aproximadamente em 30% do tempo de corte acontecem dois golpes de entrada da pastilha por volta da fresa. Estes dois choques ocorrem para os dois sentidos de corte, mas para o sentido concordante estes choques se dão com maiores espessuras de corte h . No corte discordante não se tem nunca $h=0$ e sim o valor de j (ver figura 1c) muito

pequeno, aproximadamente 3 mm. Esta situação é muito favorável, pois minimiza o problema de desgaste por abrasão. Por outro lado, o fenômeno *foot forming* é desprezível, visto que a espessura de corte na saída da aresta de corte é pequena, atingindo somente o valor máximo em dois instantes (ponto de interseção da trajetória do centro da fresa e o círculo de diâmetro 85 mm), um tempo muito menor que no caso da peça 1.

Nos ensaios para 230 e 280 m/min o desgaste aumenta com o aumento da velocidade de corte, porém, para 340 m/min existe uma melhoria na vida da ferramenta, como mostrado na Figura 5. Uma hipótese para explicar o fato de que com $v_c = 280$ m/min obteve-se maior desgaste do que com $v_c = 340$ m/min é a seguinte: os principais incentivadores do desgaste/avaria na usinagem desta peça são os choques (dois por volta), já que nunca se tem $h = 0$ na entrada do corte e o contato da aresta com a peça se dá em uma porção pequena dos 360° da rotação de cada aresta. Então, a abrasão, que é fortemente influenciada pela velocidade de corte, não é tão importante. A energia do choque da aresta com a peça também é influenciada pela velocidade, já que esta aumenta a força do impacto. O aumento da força do impacto quando se passou de 230 para 280 m/min foi tal a aumentar o desgaste/avaria da ferramenta. Porém, o aumento de v_c de 280 para 340 m/min não significou um impacto tão maior, ao ponto de deteriorar ainda mais a aresta. Assim, o desgaste da aresta permaneceu em níveis similares àqueles encontrados com a velocidade de 280 m/min.

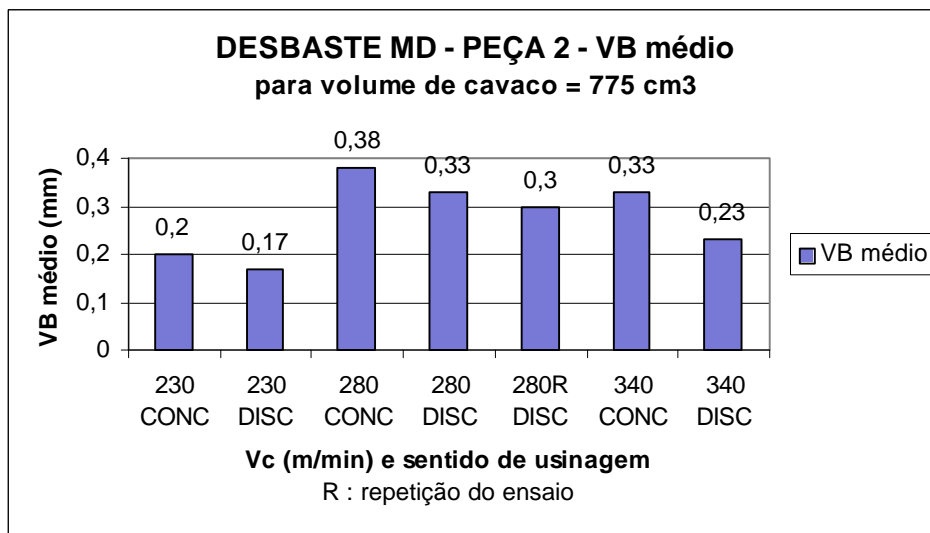


Figura 5 – Desgaste de flanco médio no final do ensaio- Peça 2

4.3. Peça 3 (Irregular)

No fresamento da peça 3, somente se verificou influência da velocidade e do sentido de corte quando se passou para $v_c = 340$ m/min (figura 6). Não é possível precisar para 230 e 280 m/min qual é a melhor velocidade e o melhor sentido de corte, porque os valores de desgaste são muito próximos, lembrando que os valores de V_B médio mostrados na figura correspondem à média dos valores encontrados nas três pastilhas mais críticas, não sendo necessariamente múltiplo da resolução de medição.

Para 340 m/min, o sentido discordante é melhor que o concordante, provavelmente devido a que não se tem $h = 0$ na entrada do corte. Um problema que acontece no sentido concordante é que em aproximadamente 80% do tempo de corte a linha de centro da fresa encontra-se fora da peça. Esta situação parece ser mais evidente no ensaio para 340 m/min devido a que a força de impacto é mais significativa quanto maior a velocidade de corte. Em outras palavras, quando se utiliza v_c pequena, o fato da linha de centro da fresa estar fora da peça e o choque da pastilha com a peça se dar em condições inadequadas (ver figura 1) não influencia muito na vida da ferramenta e, com isso, o concordante pode ser melhor ou igual ao corte discordante. Quando a velocidade cresce, a força de impacto fresa-peça é maior e então, o correto posicionamento da aresta de corte na entrada da peça é fundamental. Em forma semelhante a peça 2, temos um valor de j pequeno (aproximadamente 4 mm), o que minimiza o problema de lascamento e aumenta a vida da ferramenta.

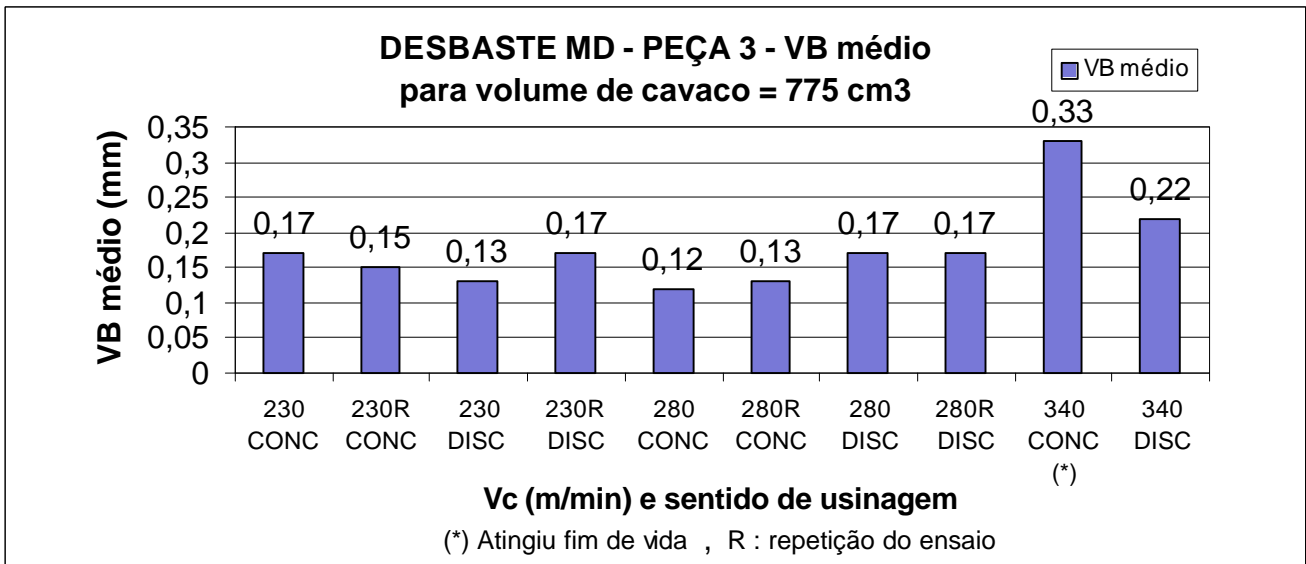


Figura 6 – Desgaste de flanco médio no final do ensaio- Peça 3

4.4. Fotos de pastilhas

A seguir se mostram algumas fotos de alguns ensaios.

Foto	Peça N°	v _c (m/min)	Sentido	Desgaste de flanco V _B (mm)	Mecanismo
a	1	230	Concordante	0,3	lascamento
b	2	280	Concordante	0,4	lascamento
c	3	280	Discordante	----	falha catastrófica

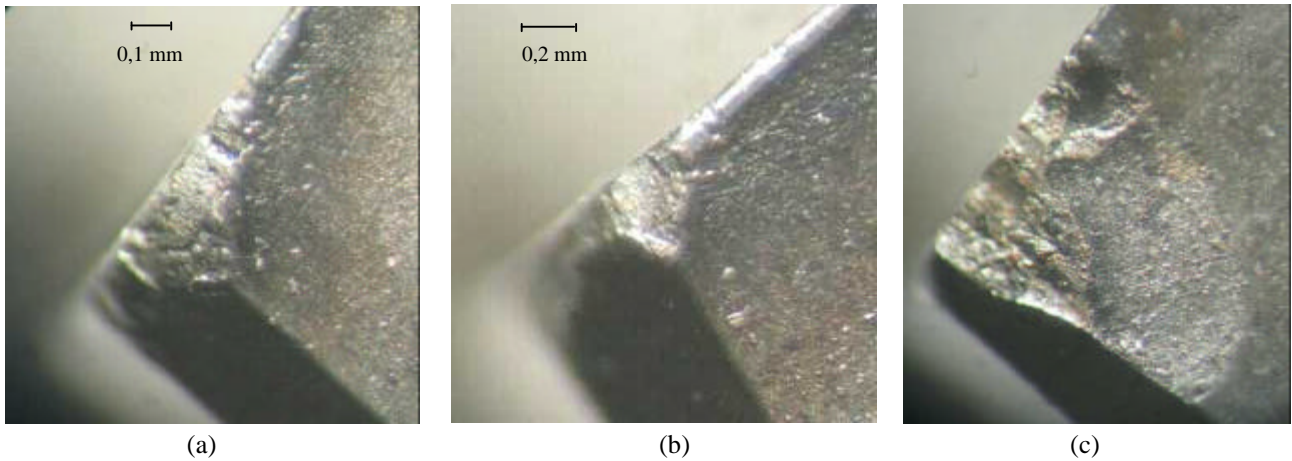


Figura 7 – Fotos de algumas pastilhas desgastadas

5. CONCLUSÕES

De acordo com o discutido neste trabalho, pode-se concluir para o fresamento frontal de superfícies de ferro fundido cinzento que:

1. Em operações de superfícies com rebaixo de 90° , em que o corte discordante se inicia com espessura de corte igual a zero em cada aresta da ferramenta, o corte concordante teve melhor desempenho em termos de desgaste da ferramenta, mesmo sendo a largura da peça menor que a metade do diâmetro da fresa em boa parte da superfície.
2. Em superfícies estreitas que são fresadas com fresas de diâmetro grande, devido a uma pequena porção da superfície de largura maior, e que não possuem rebaiços para serem usinados (assim não se tem $h = 0$ na entrada do corte), o sentido discordante propiciou menor desgaste/avaria da ferramenta. A vantagem do discordante em relação ao concordante torna-se mais evidente quanto maior é a velocidade de corte.
3. Todas as peças se mostraram adequadas para trabalhar em altas velocidades de corte (até 340 m/min). O aumento de v_c influenciou em menor proporção o aumento do desgaste/avaria.

6. REFERÊNCIAS

1. DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. Artliber Editora, São Paulo, 2000. 242 p.
2. SANDVIK COROMANT. **Modern Metal Cutting**, AB Sandvik Coromant, Sandviken, Sweden, 1994.
3. MACHADO, A. R.; SILVA, M. B. **Usinagem dos Metais**, (apostila do curso de Usinagem dos Metais da Universidade Federal de Uberlândia), Uberlândia, MG, 1994.
4. PEKELHARING, A. J. The Exit Failure of Cemented Carbide Face-Milling Cutters. Part I - Fundamentals and Phenomena, **Annals of the CIRP**, v. 33, 1984, p.47-50.
5. DINIZ, A. E.; CALDEIRANI FILHO, J. Influence of the Relative Positions of Tool and Workpiece on Tool Life, Tool Wear and Surface Finish in the Face Milling Process. **Wear**, v. 232 (1), p. 67 – 75, 1999.

OTIMIZAÇÃO DO FRESAMENTO DE FACEAMENTO DE SUPERFÍCIES INTERROMPIDAS DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

Abstract

Most of the works about face milling are carried out cutting uninterrupted plane surfaces, which, in industrial practice, rarely occur. Usually what occur are interrupted surfaces with holes, narrow surfaces which are milled with large diameter cutters, due to a small portion of the surface with larger width, surfaces with corners of 90° , which makes that all the other surfaces be milled with a 90° cutter, etc. This work deals with some problems generated by the milling of surfaces like those. So, the experiments of this work were carried out in parts of gray cast iron used in industrial production (block of compressor of a bus brake system), which contain three surfaces to be milled, with different features. The experiments were carried out using rough face milling with carbide tools with different cutting speeds and cutting direction (up and down milling). The main conclusions of this work were: a) in the milling of surfaces with 90° corners, in which the upmilling initiates with chip thickness equal to zero in each cutting edge, the down milling presented better performance in terms of tool wear; b) narrow surfaces which are milled with large diameter cutter, due to the fact that they present a small portion with larger width and which do not have corners to be machined, presented better performance in terms of tool wear when milled using upmilling; c) the higher the number of interruptions of these kind of surfaces, the larger is the tool wear.

Keywords.

milling, gray cast iron, carbide, tool wear