

Removendo o cavaco

Na aula passada, tratamos das noções gerais sobre a operação de usinagem feita com máquinas fresadoras. Vimos, de modo geral, como se dá a **fresagem** e aprendemos um pouco sobre as **fresadoras** e sua ferramenta, a **fresa**.

Mas isso ainda não é suficiente para você saber como fresar uma peça. Faltam os parâmetros de corte, sobre os quais você aprendeu no livro 2 deste módulo. Pois bem, nesta aula vamos tratar dos parâmetros de corte específicos para a fresagem.

Por exemplo, suponha que na oficina seu chefe lhe dá a tarefa de fresar uma peça com as seguintes características: aço com 85 kgf/mm de resistência, 4 mm de profundidade de corte, fresa HSS de 6 dentes e 40 mm de diâmetro. Como solucionar este problema?

Ao longo desta aula você aprenderá a resolver este e outros problemas relacionados à fresagem. Mas lembre-se! É muito importante não deixar dúvidas para trás. Assim, não hesite em reler aulas passadas ou pedir ajuda ao seu orientador de aprendizagem.

Nossa aula

Como calcular a rpm, o avanço e a profundidade de corte em fresagem

Você deve estar lembrado que rpm, avanço e profundidade de corte são parâmetros de corte para qualquer tipo de usinagem. A escolha dos parâmetros de corte é uma etapa muito importante na fresagem. Parâmetros de corte inadequados podem causar sérios problemas, como alterar o acabamento superficial da peça e até mesmo reduzir a vida útil da ferramenta.

Como então calcular os parâmetros de corte na fresagem? O primeiro passo é calcular a melhor rotação. Esta depende basicamente de dois elementos: o diâmetro da fresa e a velocidade de corte. A velocidade de corte, por sua vez, vai depender de fatores como o tipo de material a ser usinado, o material da fresa e o tipo de aplicação da fresa.

Escolher a velocidade de corte é uma tarefa relativamente simples. Os fabricantes das fresas fornecem tabelas com as velocidades de corte relacionadas com o material da fresa e da peça a ser trabalhada. Isso não é bom?

Mas fique ligado, porque as tabelas podem trazer tanto valores de V_c para ferramentas de aço rápido, as HSS (*High Speed Steel*), quanto para as fresas de metal duro. Ou ainda contemplar em um mesmo espaço as V_c dos dois materiais: aços rápidos e metal duro.

Dica tecnológica

As V_c para ferramentas de metal duro chegam a ser entre 6 a 8 vezes maior que as V_c utilizadas para ferramentas de aço rápido. Isso porque as ferramentas de metal duro têm maior resistência ao desgaste.

Escolha da velocidade de corte

Suponha que você deve desbastar 4mm de profundidade em uma peça de aço de 85 kgf/mm² de resistência, utilizando uma fresa de aço rápido. Qual deve ser a velocidade de corte da ferramenta?

Para responder a esta questão, a primeira coisa a fazer é observar a tabela abaixo.

ESCOLHA DA VELOCIDADE DE CORTE PARA FRESAS DE AÇO RÁPIDO

MATERIAL a ser cortado	Velocidade de corte em m/min		
	Desbaste até a profundidade de		Acaba- mento 1,5 mm
	8 mm	5 mm	
Aço até 60 kgf/mm ²	16 - 20	22 - 26	32 - 36
Aço de 60-90 kgf/mm ²	14 - 16	20 - 24	26 - 30
Aço de 90-110 kgf/mm ²	12 - 14	18 - 22	22 - 26
Aço acima de 110 kgf/mm ²	8 - 12	14 - 16	16 - 20
Ferro fundido até 180 HB	18 - 22	24 - 28	18 - 32
Ferro fundido acima de 180 HB	10 - 14	12 - 18	18 - 22
Latão	32 - 48	46 - 72	60 - 120
Metais leves	220 - 320	280 - 480	400 - 520
Cobre	40 - 50	60 - 80	80 - 100

O passo seguinte é verificar na coluna de materiais a classificação em que se enquadra a peça. Veja detalhe.

aço de 60 - 90 kgf/mm	14 - 16	20 - 24	26 - 30
-----------------------	---------	---------	---------

Observou que o aço da peça está classificado entre 60 e 90 kgf/mm²? Agora é só relacionar a resistência do aço à profundidade de desbaste pedida. Veja o detalhe abaixo.

aço de 60 - 90 kgf/mm	14 - 16	20 - 24	26 - 30
-----------------------	---------	---------	---------

Então, a V_c que se deve usar para usinar um aço de 85 kgf/mm² de resistência a uma profundidade de 4 mm é de 20 a 24 m/min.

Caso a profundidade de corte fosse outra, 8 mm, por exemplo, a velocidade de corte seria de **14 a 16 m/min**.

Dica tecnológica

Observe na tabela. Quanto maior a profundidade de corte, menor será o valor da velocidade de corte.

Acima demos o exemplo de um tipo de tabela em que se relacionam a resistência e a dureza Brinell de alguns materiais com a velocidade de corte da fresa. Ainda há também a simples classificação de materiais como o latão, por exemplo, sem referência à sua resistência ou dureza.

Mas há outros tipos de tabelas. Para ter acesso a uma maior variedade delas, você deve consultar uma biblioteca ou pedir catálogos de fornecedores de fresas. Aliás, consultar catálogos é algo que você deve fazer com frequência, pois vai garantir que você fique ligado com o que há de mais atualizado no mercado.

**Pare! Estude!
Responda!**

Exercício 1

Qual é a velocidade de corte adequada para fazer o acabamento em uma peça de ferro fundido com dureza Brinell de 200HB e profundidade de corte de 1,5 mm, utilizando-se uma fresa de aço rápido?

Achada a velocidade de corte, podemos calcular a rpm. Antes, porém, é preciso mais um dado, o **diâmetro da fresa**. Mas este não é preciso calcular: basta medir a fresa. Então, vamos ao cálculo da rpm?

Cálculo da rotação da fresa (rpm)

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d}$$

Calculamos a rpm com a fórmula acima. Vamos ver como aplicá-la?

Tomemos o exemplo do aço com 85 kgf/mm e profundidade de corte de 4 mm. Tínhamos que **V_c = 20 - 24 m/min**. Supondo que devemos utilizar uma fresa de diâmetro de 40 mm, que rpm deverá ser selecionada na máquina?

Considerando π igual a aproximadamente 3,14, temos:

$$n = \frac{22 \cdot 1000}{3,14 \cdot 40}$$

$$n = 175 \text{ rpm}$$

Como se vê, o valor utilizado foi de **22 m/min**, ou seja, a média da velocidade de corte encontrada na tabela. E o resultado: **n = 175 rpm**.

O valor **175 rpm** deve ser selecionado na fresadora. Mas vamos supor que a gama de rotações da sua fresadora não contempla este valor. Mas dispõe de valores aproximados, 120 e 210 rpm, por exemplo.

Qual dos valores utilizar? De preferência utilize o valor maior, que garante maior produção de peças. Cuide porém para que ele não ultrapasse a velocidade de corte recomendada pelo fabricante.

Caso contrário, pode haver problemas com sua ferramenta, como queima dos dentes de corte e, conseqüentemente, perda do corte. E também problemas no acabamento superficial, que pode ficar rugoso, por exemplo.

Então, se optamos pelo maior valor de rpm encontrado, no exemplo acima 210 rpm, devemos calcular a **velocidade de corte real**.

Para isso invertemos a fórmula usada para o cálculo da rpm. Veja abaixo.

$$V_c = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad \therefore$$

Substituindo os novos valores temos:

$$V_c = \frac{210 \cdot 3,14 \cdot 40}{1000} \quad \therefore$$

$$V_c = 26,39 \text{ m/min}$$

Como se vê acima, o valor encontrado ultrapassou a faixa recomendada pelo fabricante. Neste caso não é possível utilizar a rpm maior mais próxima na máquina. Então, a escolha deve recair sobre a menor rpm mais próxima, a fim de não danificar a fresa.

Exercício 2

Calcule a rpm necessária para fresar uma peça de latão com uma fresa de aço rápido com diâmetro de 50 mm e profundidade de corte de 3 mm.

**Pare! Estude!
Responda!**

Calculamos a rpm. O que já permite pôr a ferramenta em movimento. Mas ainda precisamos fazer avançar a mesa que leva a peça ao encontro da ferramenta. Isso porque se a peça não avança até a ferramenta, não há a retirada contínua do cavaco. Então vamos aprender a calcular o avanço da mesa?

Cálculo do avanço da mesa

Para calcular o avanço da mesa, consultamos inicialmente uma tabela. Isto nos dá o valor de avanço por dente da fresa. Para consultar a tabela, é preciso conhecer o material, o tipo de fresa e identificar se a operação é de desbaste ou acabamento.

Também é preciso saber o número de dentes da fresa. Para isto basta observá-la.

ESCOLHA DO AVANÇO POR DENTE PARA FRESAS DE AÇO RÁPIDO

MATERIAL a ser cortado	TIPO da fresa	AVANÇO em milímetro por dente		
		desbaste		acab.
		até 8mm	até 5mm	até 1mm
Aço até 60 kgf/mm ² Aço de 60-90 kgf/mm ² Aço de 90-110 kgf/mm ² Aço acima de 110 kgf/mm ² Ferro fundido, até 180HB Ferro fundido, acima de 180HB Latão Metais leves Cobre	Cilíndrica DIN 884	0,22 0,20 0,17 0,10 0,22 0,18 0,24 0,10 0,26	0,26 0,24 0,22 0,12 0,30 0,20 0,28 0,12 0,26	0,10 0,08 0,06 0,04 0,08 0,06 0,10 0,04 0,08
Aço até 60 kgf/mm ² Aço de 60-90 kgf/mm ² Aço de 90-110 kgf/mm ² Aço acima de 110 kgf/mm ² Ferro fundido, até 180 HB Ferro fundido, acima de 180HB Latão Metais leves Cobre	de topo DIN 841 DIN 1880	0,25 0,22 0,22 0,12 0,25 0,18 0,25 0,12 0,26	0,30 0,27 0,24 0,14 0,34 0,22 0,30 0,16 0,30	0,12 0,10 0,08 0,06 0,10 0,08 0,10 0,06 0,10
Aço até 60 kgf/mm ² Aço de 60-90 kgf/mm ² Aço de 90-110 kgf/mm ² Aço acima de 110 kgf/mm ² Ferro fundido, até 180 HB Ferro fundido, acima de 180 HB Latão Metais leves Cobre	Circulares dentes retos DIN 885B	0,08 0,07 0,06 0,05 0,08 0,06 0,08 0,10 0,10	0,12 0,11 0,10 0,09 0,12 0,10 0,12 0,14 0,14	0,05 0,04 0,03 0,03 0,06 0,03 0,05 0,06 0,05
Aço até 60 kgf/mm ² Aço de 60-90 kgf/mm ² Aço de 90-110 kgf/mm ² Aço acima de 110 kgf/mm ² Ferro fundido, até 180 HB Ferro fundido, acima de 180 HB Latão Metais leves Cobre	Circulares dentes cruzados DIN 885A	0,13 0,12 0,10 0,09 0,13 0,10 0,13 0,15 0,15	0,19 0,18 0,16 0,15 0,19 0,16 0,19 0,22 0,22	0,08 0,07 0,05 0,04 0,08 0,05 0,08 0,09 0,09

Vamos ver como aplicar essas informações?

Ainda tomando o primeiro exemplo, vamos supor que é preciso fazer o desbaste de 4 mm de profundidade em uma peça de aço com 85 kgf/mm de resistência. A fresa é cilíndrica com 6 dentes e 40 mm de diâmetro. Qual será o avanço adequado?

Primeira medida é localizar na tabela da página anterior o material da peça. Veja detalhe abaixo.

aço de 60-90 kgf/mm	cilíndrica	0,20	0,24	0,08
---------------------	------------	------	------	------

Localizado o material, é possível relacioná-lo com o tipo de fresa escolhido. Veja detalhe.

aço de 60-90 kgf/mm	cilíndrica	0,20	0,24	0,08
---------------------	------------	------	------	------

Feito isso, é só relacionar o material e o tipo de fresa ao tipo de usinagem desejado. No caso, desbaste com 4 mm de profundidade. Veja detalhe abaixo.

aço de 60-90 kgf/mm	cilíndrica	0,20	0,24	0,08
---------------------	------------	------	------	------

Pois bem, o avanço recomendado é:

$$0,24 \text{ mm/dente}$$

Achado o avanço por dente da fresa, resta encontrar o avanço da mesa, a ser selecionado na máquina como fizemos com a rpm. Veja como proceder.

Vamos supor uma fresa de trabalho com seis dentes ($z = 6$). Se cada dente avançar 0,24 mm, em uma volta da fresa quanto avançará a mesa? Para achar a resposta é só multiplicar o número de dentes (z) pelo avanço por dentes (ad). Veja abaixo:

$$av = ad \cdot z$$

em que:

z = número de dentes

ad = avanço por dente

av = avanço por volta

Substituindo vem:

$$av = 0,24 \cdot 6$$

$$av = 1,44 \text{ m/volta}$$

O resultado é que o avanço da mesa por volta da fresa é de 1,44 mm. Mas vamos continuar nosso raciocínio.

Temos que em cada volta da fresa a mesa avançou 1,44 mm com a fresa trabalhando em uma rotação de 120 rpm. Tivemos que optar pela menor rpm, devido à velocidade de corte, lembra-se? Mas então quanto avançará a mesa em um minuto?

Respondemos a esta pergunta, utilizando a fórmula de avanço da mesa:

$$am = av \cdot n$$

em que:

am = avanço da mesa

av = avanço por volta

n = rotação

Substituindo vem:

$$am = 1,44 \cdot 120$$

$$am = 172,8 \text{ mm/min}$$

O resultado é que a mesa avançará 172,8 mm/min, com a fresa trabalhando em 120 rpm.

O valor de **172,8 mm/min** deve ser selecionado na fresadora. Caso não seja possível, deve-se escolher o avanço menor mais próximo. Isso evitará que cada dente corte um valor acima do recomendado pelo fabricante. O que poderia acarretar um desgaste excessivo e até mesmo a quebra do dente.

Agora podemos entender por que no começo da aula dissemos, com relação ao cálculo da rpm, que devemos escolher a rotação maior. Vamos ao cálculo!

Vamos ver em quanto avançaria a mesa, se usássemos a rotação de 210 rpm em vez de 120 rpm. Teríamos:

$$am = 1,44 \cdot 210$$

$$am = 302,4 \text{ mm/min}$$

Ou seja, com a fresa trabalhando em 210 rpm, a mesa avançará 302,4 mm/min.

Dica tecnológica

Maior rotação da fresa gera maior avanço da mesa. E o resultado é maior produção de peças em um mesmo intervalo de tempo.

**Pare! Estude!
Responda!**

Exercício 3

Dada uma peça de aço de 55 kgf/mm de resistência e utilizando uma fresa circular de 40 dentes retos, diâmetro de 80 mm e profundidade de corte de 7 mm, determine:

Vc	rpm	ad	av	am

Profundidade de corte

Finalmente, o último passo antes de usinar uma peça é escolher a profundidade de corte, para saber quantas passadas a ferramenta deve dar sobre a peça a fim de retirar o sobremetal e deixar a peça no tamanho desejado.

Este é um dado prático. Depende muito da experiência do operador em identificar a resistência e robustez da fresadora.

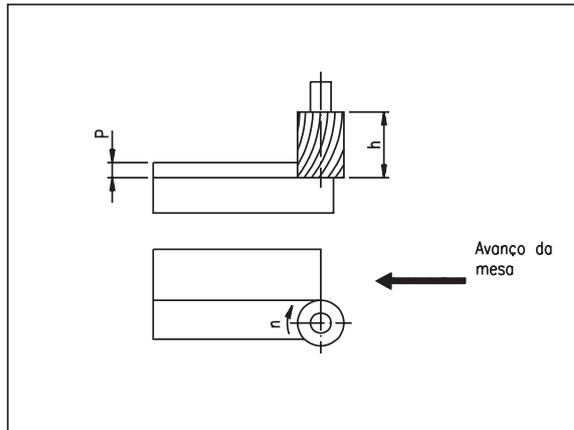
$$n^{\circ} \text{ de passadas} = \frac{\text{sobremetal}}{\text{profundidade de corte}}$$

Para escolher a profundidade de corte, é preciso antes medir a peça em bruto, a fim de determinar a quantidade de sobremetal a ser removida. Com este dado em mãos, decide-se o número de passadas da fresa sobre a peça.

Durante a operação, as passadas são executadas sobre a peça, levantando-se a mesa da fresadora ou abaixando-se a fresa.

Dica tecnológica

Na prática, a máxima profundidade de corte adotada é de até 1/3 da altura da fresa.



Em que:

p = profundidade de corte (máximo 1/3 da altura da fresa)
 h = altura da fresa

Exercício 4

Você recebeu uma peça de ferro fundido com dureza Brinell de 170HB e 15 mm de sobremetal. A fresa disponível é cilíndrica de 8 dentes, 40 mm de diâmetro e máxima profundidade de corte de 5 mm. Determine:

Vc	rpm	ad	av	am	nº de passes

**Pare! Estude!
Responda!**

