

Fresando engrenagens cilíndricas com dentes retos

Na aula passada você viu como furar na fresadora, utilizando a mesa divisora. Nesta aula você vai aprender a fresar engrenagens, utilizando o aparelho divisor universal e fazendo a divisão indireta.

A operação de fresar engrenagens é uma das mais importantes que o fresador executa. Ela pode ser realizada em máquinas fresadoras, no caso de uma só engrenagem. Ou em máquinas especiais, quando se trata de produção em série, como veremos mais tarde na aula reservada para isso.

Você provavelmente sabe o que é engrenagem. É um conjunto de pelo menos duas rodas dentadas em que uma transmite movimento à outra. Mas no dia-a-dia da oficina, costuma-se chamar engrenagem à própria roda dentada.

A engrenagem tem várias aplicações. Assim você vai encontrar engrenagens em uma máquina de moer cana ou no câmbio de um automóvel. Além de, naturalmente, encontrar engrenagens no sistema de transmissão de movimento das máquinas, de um modo em geral.

Estude bem, faça os exercícios e, quando necessário, não hesite em rever conceitos dados em aulas anteriores.

Como fresar engrenagens cilíndricas com dentes retos

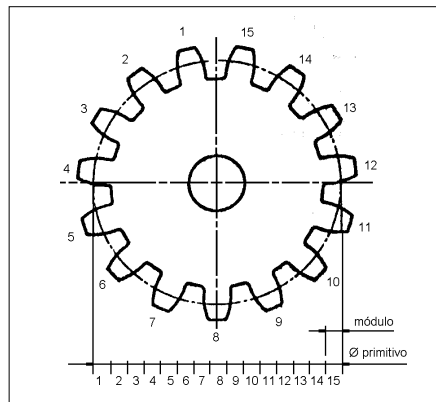
Nossa aula

Já dissemos que as engrenagens podem ser produzidas em máquinas especiais além das fresadoras. Nas fresadoras, os dentes das engrenagens são usinados com fresas de perfil constante também chamadas de fresas módulo.

O conceito de módulo já foi introduzido em **Cálculo Técnico**. Nesta aula você vai aprender como fazer os cálculos para selecionar corretamente a fresa módulo e poder assim usinar as engrenagens. Mas primeiro vamos retomar o conceito de módulo.

Recordar é aprender

Módulo de uma engrenagem é o quociente resultante da divisão do diâmetro primitivo pelo número de dentes. O módulo é sempre expresso em milímetros. Com o módulo, você pode calcular quase todas as dimensões de uma engrenagem. O módulo é normalizado e expresso com números inteiros ou decimais muito simples. Veja abaixo a figura de um módulo.



Percebeu o que é o módulo? Cada parte do diâmetro primitivo, não é mesmo? Isso nos leva a deduzir que se o módulo é expresso em uma medida inteira ou decimal muito simples, também serão expressas por números inteiros e decimais muito simples a medida do diâmetro primitivo e outras dimensões múltiplas do módulo.

Você relembrou o conceito de módulo, podemos então calcular os elementos necessários à construção de um par de engrenagens.

Vamos supor que você recebe a tarefa de fazer um par de engrenagens. Você sabe que o número de dentes da engrenagem 1 (Z_1) é igual a 25, o da engrenagem 2 (Z_2) igual a 80 e o módulo igual a 3. Por onde começar?

Primeiro, você deve conferir se as dimensões da peça (o blanque) que recebeu estão corretas. Para isso, você calcula os diâmetros primitivo e externo das engrenagens bem como o comprimento dos dentes.

Cálculo do diâmetro primitivo das engrenagens

$$m = \frac{dp}{z} \therefore dp = m \times Z$$

Calculando vem:

para a engrenagem 1

$$dp_1 = m \times Z_1$$

$$dp_1 = 3 \times 25$$

$$dp_1 = 75 \text{ mm}$$

para a engrenagem 2

$$dp_2 = m \times Z_2$$

$$dp_2 = 3 \times 80$$

$$dp_2 = 240 \text{ mm}$$

Assim, tem-se que o diâmetro primitivo da engrenagem 1 é igual a 75 mm e o da engrenagem 2 igual a 240 mm.

Feito isso, você pode calcular o diâmetro externo (d_e) das engrenagens.

Cálculo do diâmetro externo das engrenagens

$$de = dp + 2m$$

para a engrenagem 1

$$de_1 = 75 + 2 \times 3 \therefore de_1 = 75 + 6 \therefore de_1 = 81 \text{ mm}$$

para a engrenagem 2

$$de_2 = 240 + 2 \times 3 \therefore de_2 = 240 + 6 \therefore de_2 = 246 \text{ mm}$$

Assim, o diâmetro externo da engrenagem 1 é igual a 81 mm e o da engrenagem 2 igual a 246 mm. Essas devem ser também as medidas do diâmetro externo dos blanques.

Após isso, é preciso calcular o comprimento dos dentes (b) das engrenagens.

Dica tecnológica

Segundo a ABNT, a medida do comprimento dos dentes oscila de 6 a $10 \times m$. É usual trabalhar com a média: 8 m.

Cálculo do comprimento dos dentes

Tanto para a engrenagem 1 quanto para a engrenagem 2, tem-se que:

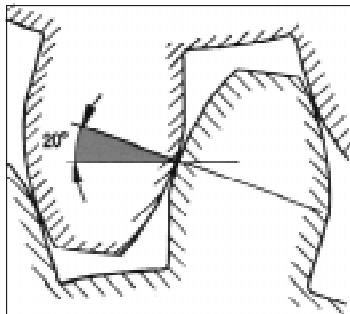
$$b = 8 \times m$$

$$b = 8 \times 3$$

$$b = 24 \text{ mm}$$

Com os valores encontrados, você pode conferir o diâmetro externo e a largura dos blanques. Esta deve ser igual à medida do comprimento dos dentes. E em seguida calcular a altura dos dentes, a fim de determinar quanto você deverá aprofundar com a fresa no blanque para construir a engrenagem.

Para isso, você precisa conhecer o ângulo de pressão (**Elementos de Máquina e Cálculo Técnico**). Veja figura abaixo.



Recordar é aprender

O ângulo de pressão (α) pode ter 15 ou 20°, conforme o perfil da fresa que for utilizada. O mais utilizado é o de 20°.

Cálculo da altura do dente

Antes de calcular a altura do dente, é preciso saber que ela é normalizada como segue:

DIN/ABNT	ASA (USA)	ISO (UNE 10.016)
$2,166 \times m$	$2,157 \times m$	$2,25 \times m$

Vamos supor que para executar sua tarefa, você vai usar a norma DIN/ABNT e $\alpha = 20^\circ$. Qual deve ser então o valor de h ?

Você tem que:

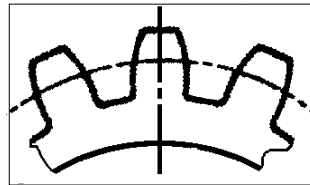
$$h = 2,166 \times m$$

Substituindo vem:

$$h = 2,166 \times 3$$

$$h = 6,498 \text{ mm}$$

Assim, a altura do dente é de 6,498 mm. Isso significa que a fresa deve penetrar no blanke nesta profundidade. Veja a figura abaixo.



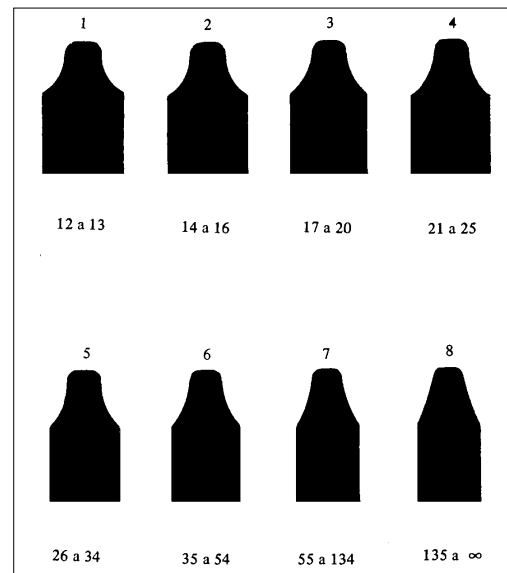
Feitos todos os cálculos, só resta escolher a fresa.

Escolha da fresa

As fresas para usinar engrenagens são as fresas módulo. Elas são fornecidas em um jogo de oito para cada módulo até o módulo 10. A partir deste módulo, as fresas módulo são fornecidas em um jogo de 15, porque os perfis dos dentes têm maior dimensão.

Dica tecnológica

Acima do módulo 4, recomenda-se que a engrenagem seja desbastada com uma fresa apropriada. E em seguida, para o acabamento, pode-se retomar a fresa de trabalho original.



A escolha da fresa está condicionada ao número de dentes das engrenagens.

Nº DA FRESA MÓDULO	Nº DE DENTES DA ENGRENAGEM (Z)
1	12 e 13
2	14 a 16
3	17 a 20
4	21 a 25
5	26 a 34
6	35 a 54
7	55 a 134
8	135 para cima e cremalheira

Já para usinar engrenagens acima do módulo 10, o jogo de 15 fresas é fornecido como segue:

Nº DA FRESA	1	1 ^{1/2}	2	2 ^{1/2}	3	3 ^{1/2}	4	4 ^{1/2}	5	5 ^{1/2}	6	6 ^{1/2}	7	7 ^{1/2}	8
Nº DE DENTES (Z)	12	13	14	15 e 16	17 e 18	19 e 20	21 e 22	23 e 25	26 e 29	30 e 34	35 e 41	42 e 54	55 e 79	80 e 134	135 para cima

Com esses dados, você já pode escolher a fresa para executar sua tarefa. Assim, para a engrenagem 1, em que $Z_1 = 25$, a fresa deve ser a número 4. Já para a engrenagem 2, em que $Z_2 = 80$, a fresa deve ser a número 7.

Usinando dentes retos para engrenagens cilíndricas

Você vai aprender a usinar dentes retos, utilizando a mesma tarefa do início da aula. Nela pede-se que você faça um par de engrenagens, sendo que a engrenagem 1 deve ter 25 dentes e a engrenagem 2 ter 80 dentes. Você tem ainda as seguintes medidas:

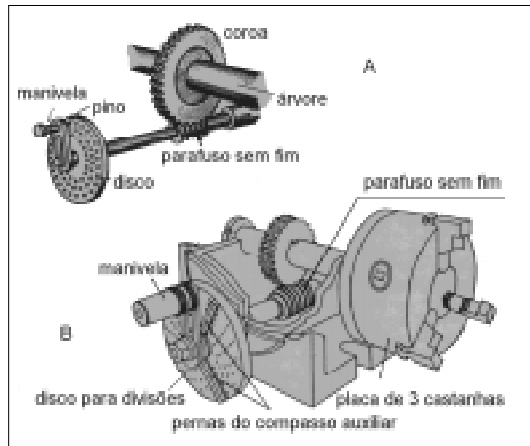
<i>engrenagem 1</i>	<i>engrenagem 2</i>
$Z = 25$	$Z = 80$
$dp = 75 \text{ mm}$	$dp = 240 \text{ mm}$
$de = 81 \text{ mm}$	$de = 246 \text{ mm}$
$b = 24 \text{ mm}$	$b = 24 \text{ mm}$
$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 20^\circ$
$h = 6,498 \text{ mm}$	$h = 6,498 \text{ mm}$

Fresando a engrenagem 1

Monte e prepare o cabeçote divisor. Para isso você precisa calcular o número de furos que o disco deve ter. Este cálculo, como dissemos no início da aula, deve ser o da divisão indireta. Vamos ver como fazer?

Cálculo da divisão indireta

A divisão indireta é mais utilizada que a divisão direta, pois permite maior número de divisões. O nome divisão indireta provém do sistema de transmissão de movimento do manípulo para a árvore. Veja a figura a seguir.



Para fazer uma divisão indireta simples, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$n = \frac{RD}{Z}$$

em que:

RD = relação do divisor

Z = número de divisões a efetuar

Dica tecnológica

A relação do divisor é de 40/1, 60/1, 80/1 e 120/1, sendo a mais utilizada a de 40/1.

Vamos supor que o cabeçote da máquina com a qual você está trabalhando tenha uma relação de divisão de 40/1. Agora é só efetuar o cálculo.

Então para uma engrenagem de 25 dentes e uma relação de divisor de 40/1, tem-se que:

$$n = \frac{RD}{Z}$$

Substituindo vem:

$$n = \frac{40}{25} \text{ ou } \begin{array}{l} 40 \text{ discos} \\ \hline 25 \text{ furos} \end{array} \begin{array}{l} 1 \text{ volta} \\ \hline 15 \end{array}$$

Com o resultado obtido, tem-se que é preciso dar uma volta e mais 15 furos em um disco de 25 furos. Como não existe um disco de 25 furos, é necessário montar uma fração equivalente a 15/25. Veja abaixo:

$$\frac{15}{25} \# \frac{5}{5} = \frac{3}{5}$$

A fração obtida leva a outra fração equivalente. Isto vai permitir escolher um disco com número de furos normalizados. Veja:

$$\frac{3}{5} \times \frac{3}{3} = \frac{9}{15}$$

O resultado encontrado foi 9/15. Isto significa que você deve utilizar um disco com 15 furos e nele deslocar 9 furos.

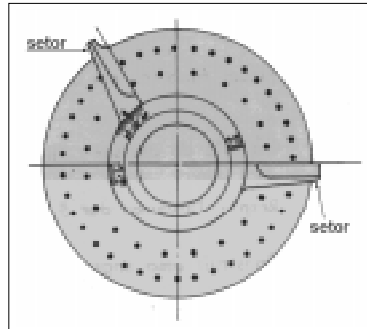
Dica tecnológica

Você pode também utilizar um disco de 20 furos e deslocar 12.

Resumindo, para cada dente fresado, você deve girar uma volta completa e mais 9 furos no manípulo do aparelho divisor.

Vamos à usinagem:

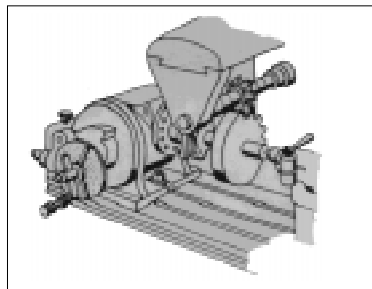
- Fixe a peça em um mandril e este no aparelho divisor.
- Fixe o disco no aparelho divisor e regule o setor para 9 furos. Veja a figura ao lado.
- Fixe a fresa. Esta deve ser para módulo 3, nº 4, uma vez que a engrenagem deve ter 25 dentes.



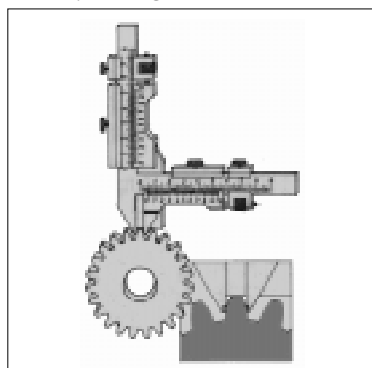
Observação: Sabemos que a fresa a utilizar deve ser a módulo 3, nº 4, pela tabela normalizada de fresas.

- Faça a primeira ranhura. Para isso, posicione a fresa no centro do eixo e tangencie a peça.
- Retire a fresa de cima da peça e suba a mesa até a profundidade de corte desejada.
- Inicie o corte manualmente e em seguida complete o passe com o movimento automático.

Observação: Dê quantos passes forem necessários para obter a altura do dente que é $h = 6,498$ mm.



- Gire a peça para fresar a ranhura seguinte. Para isso, desloque novamente o manípulo do aparelho divisor em uma volta mais 9 furos. Faça a ranhura. Após isso, estará pronto o primeiro dente.
- Meça o dente usinado. Veja a figura.



- Proceda da mesma maneira para fazer as demais ranhuras e dentes.

Fresando a engrenagem 2

Para fresar a engrenagem 2, você deve seguir os mesmos passos que para fresar a engrenagem 1. Mas com algumas diferenças. Como agora a engrenagem a usinar deve ter 80 dentes, vai ser necessário escolher um outro disco para o aparelho divisor assim como uma outra fresa.

Escolher a fresa é simples. Basta consultar a tabela. Sabendo que $m = 3$ e $Z = 80$, a fresa deve ser a módulo 3, nº 4.

Quanto ao disco é necessário fazer o cálculo de divisão indireta. Vamos fazê-lo?

Vamos tomar a fórmula:

$$n = \frac{RD}{Z}$$

Substituindo vem:

$$n = \frac{40}{80}$$

Simplificando vem:

$$n = \frac{1}{2}$$

Com o resultado obtido, isto é, $1/2$, sabe-se que é preciso dar meia-volta em qualquer disco de número par de divisões.

**Pare! Estude!
Responda!**

Exercício 1

Que fresa deve ser utilizada para fresar uma engrenagem com 120 dentes e módulo 4? (Utilize a tabela.)

Exercício 2

Sabendo que a engrenagem a fresar tem 120 dentes e a relação do aparelho divisor é de $40/1$, responda:

- Quantos furos deve ter o disco divisor?
- Quantas voltas e quantos furos devem ser avançados?