



Manual técnico de
treinamento

Tecnologia em
usinagem

SANDVIK
COROMANT



Apostila de treinamento em tecnologia de usinagem

Esta apostila servirá como a fonte principal de informações durante todo o treinamento em usinagem da Sandvik Coromant e também pode ser usada como uma referência em aplicações futuras.

Treine conosco

Aprofunde e amplie seus conhecimentos com nossos programas de treinamento. Oferecemos treinamentos básicos a avançados em nosso Centros distribuídos no mundo todo, permitindo que você combina teoria e prática no uso de equipamentos e máquinas de última geração.

Visite sandvik.coromant.com para ver o cronograma de atividades e se inscrever.

Torneamento

Teoria	A 4
Procedimento para seleção	A 12
Visão geral do sistema	A 16
Escolha das pastilhas	A 22
Escolha das ferramentas	
- Externa	A 49
- Interna	A 54
Chaves de código	A 64
Problemas e soluções	A 68

Cortes e canais

Teoria	B 4
Procedimento para seleção	B 7
Visão geral do sistema	B 11
Cortes e canais - como aplicar	B 16
- Corte	B 22
- Canais em geral	B 26
- Usinagem de canais circlip	B 28
- Usinagem de canais frontais	B 29
- Perfilamento	B 32
- Torneamento	B 34
- Saída para retífica	B 36
Problemas e soluções	B 37

Rosqueamento

Teoria	C 4
Procedimento para seleção	C 9
Visão geral do sistema	C 13
Como aplicar	C 19
Problemas e soluções	C 24
Rosqueamento com machos	C 28

Fresamento

Teoria	D 4
Procedimento para seleção	D 9
Visão geral do sistema	D 13
Escolha da pastilha – Como aplicar	D 24
Escolha das ferramentas – Como aplicar	D 29
Problemas e soluções	D 36

Furação

Teoria	E 4
Procedimento para seleção	E 15
Visão geral do sistema	E 20
Como aplicar	E 26
Qualidade do furo e tolerâncias	E 38
Problemas e soluções	E 43

Mandrillamento

Teoria	F 4
Procedimento para seleção	F 8
Visão geral do sistema	F 13
Escolha das ferramentas	F 16
Como aplicar	F 22
Problemas e soluções	F 27

Sistemas de fixação

Histórico e conceitos	G 4
Por que ferramentas modulares	G 8
Centros de torneamento	G 16
Centros de usinagem	G 25
Máquinas multitarefas	G 30
Mandris	G 35

Usinabilidade

Material da peça	H 4
Manufatura de metal duro	H 18
A aresta de corte	H 29
Materiais da ferramenta de corte	H 40
Desgaste da ferramenta e manutenção	H 52

Outras informações

Economia da usinagem	H 63
ISO 13399 - A norma da indústria	H 78
Fórmulas e definições	H 81
Aprendizado online	H 92



Torneamento

O torneamento gera perfis arredondados e cilíndricos com uma ferramenta de aresta única. Na maioria dos casos, a ferramenta fica fixa e a peça gira.

• Teoria	A 4
• Procedimento para seleção	A 12
• Visão geral do sistema	A 16
• Escolha das pastilhas – como aplicar	A 22
• Escolha das ferramentas – como aplicar	
- Externa	A 49
- Interna	A 54
• Chaves de código	A 64
• Problemas e soluções	A 68

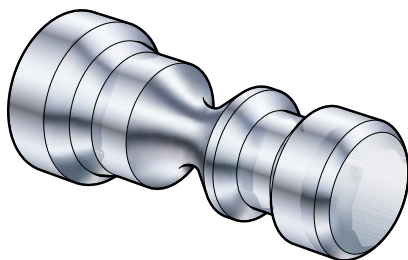
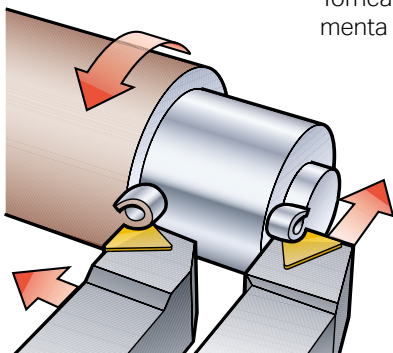
Operações de torneamento geral

Torneamento é a combinação de dois movimentos – rotação da peça e movimento de avanço da ferramenta.

O movimento de avanço da ferramenta pode ser ao longo do eixo da peça, o que significa que o diâmetro da peça será torneado até chegar a um tamanho menor. Como opção, a ferramenta pode avançar em direção ao centro (faceamento) ao final da peça.

Geralmente, os avanços são combinações destas duas direções, resultando em superfícies cônicas ou em raio.

Torneamento e faceamento como movimentos da ferramenta axial e radial.

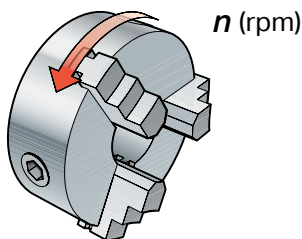


Três operações de torneamento comuns:

- Torneamento longitudinal
- Faceamento
- Perfilamento

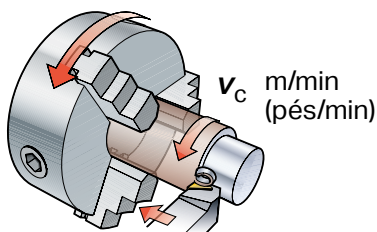
Definições de termos

Velocidade do fuso

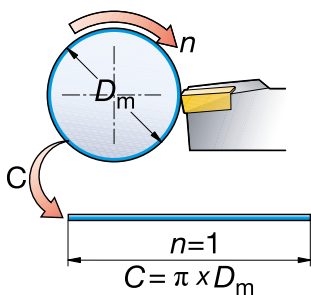


O rpm (rotação por minuto) de velocidade de fuso é a rotação do mandril e da peça.

Velocidade de corte



A velocidade de corte é a velocidade da superfície, m/min (pés/min), na qual a ferramenta se move ao longo da peça em metros (pés) por minuto.



Definição de velocidade de corte

A definição da velocidade de corte (v_c) como o resultado do diâmetro, pi (π) e a velocidade do fuso (n) em rotações por minuto (rpm). A circunferência (C) é a distância que a aresta de corte se move na rotação.

v_c = velocidade de corte, m/min (pés/min)
 D_m = diâmetro usinado, mm (pol.)
 n = velocidade do fuso, (rpm)
 C = Circunferência, $\pi \times D_m$ mm (pol.)
 π (pi) = 3,14

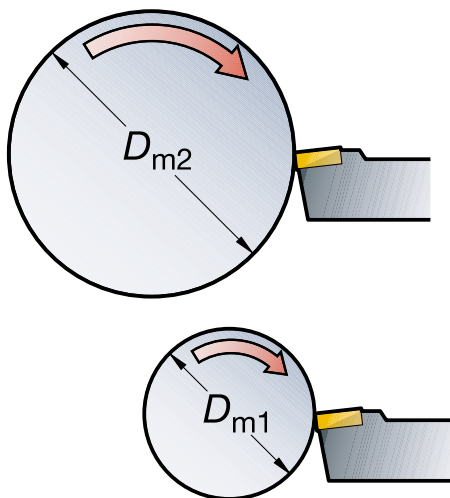
Métrico

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{1000} \text{ m/min}$$

Polegadas

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{12} \text{ pés/min}$$

Cálculo da circunferência (C)



- Circunferência = π x diâmetro
- π (pi) = 3,14

Exemplo:

$$D_{m2} = 100 \text{ mm (3,937 pol.)}$$

$$C = 3,14 \times 100 \\ = 314 \text{ mm}$$

$$C = 3,14 \times 3,937 \\ = 12,362 \text{ pol.}$$

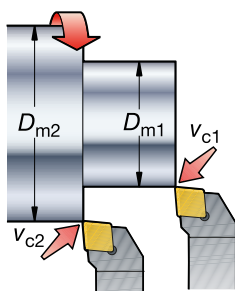
$$D_{m1} = 50 \text{ mm (1,969 pol.)}$$

$$C = 3,14 \times 50 \\ = 157 \text{ mm}$$

$$C = 3,14 \times 1,969 \\ = 6,183 \text{ pol.}$$

Exemplo de cálculo da velocidade de corte

A velocidade de corte difere de acordo com o diâmetro da peça.



Considere:

Velocidade do fuso, $n = 2000$ rpmDiâmetro, $D_{m1} = 50$ mm (1,969 pol.)Diâmetro, $D_{m2} = 80$ mm (3,150 pol.)

Métrico

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{1000} \text{ m/min}$$

$$v_{c1} = \frac{3,14 \times 50 \times 2000}{1000} = 314 \text{ m/min}$$

$$v_{c2} = \frac{3,14 \times 80 \times 2000}{1000} = 502 \text{ m/min}$$

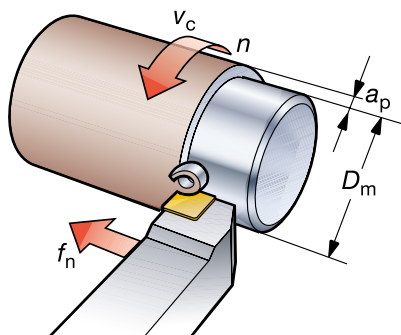
Polegadas

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{12} \text{ pés/min}$$

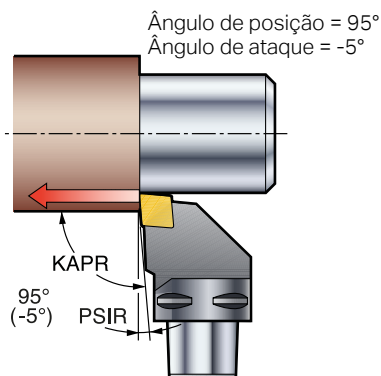
$$v_{c1} = \frac{3,14 \times 1,969 \times 2000}{12} = 1030 \text{ pés/min}$$

$$v_{c2} = \frac{3,14 \times 3,150 \times 2000}{12} = 1649 \text{ pés/min}$$

Definições de termos



n	= velocidade do fuso (rpm)
v_c	= velocidade de corte m/min (pés/min)
f_n	= avanço de corte mm/r (pol./r)
a_p	= profundidade do corte mm (pol.)
KAPR	= ângulo de posição
PSIR	= ângulo de ataque



Velocidade do fuso

A peça gira em um torno, em uma determinada velocidade do fuso (n), por um número de rotações por minuto (rpm) específico.

Superfície/velocidade de corte

A velocidade de corte (v_c) em m/min (pés/min) na qual a periferia de corte do diâmetro da peça passa pela aresta de corte.

Avanço

O avanço de corte (f_n) em mm/r (pol./r) é o movimento da ferramenta em relação ao movimento da peça. Este é o principal valor para determinar a qualidade da superfície que está sendo usinada e para garantir que a formação de cavacos esteja dentro do escopo da geometria da ferramenta. Este valor influencia não apenas a espessura do cavaco, mas também como ele se forma em relação à geometria da pastilha.

Profundidade de corte

A profundidade de corte (a_p) em mm (pol.) é metade da diferença entre o diâmetro não usinado e o usinado da peça. A profundidade de corte é sempre medida em ângulos retos em relação à direção do avanço da ferramenta.

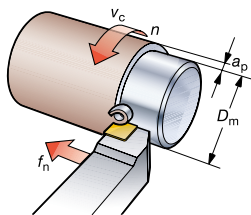
Ângulo de posição KAPR, ângulo de ataque PSIR

A abordagem da aresta de corte até a peça é expressa por meio do ângulo de posição (KAPR), o qual é o ângulo entre a aresta de corte principal e a direção de avanço. Também pode ser expresso como um ângulo de ataque (PSIR), o ângulo entre a aresta de corte e o plano da peça. O ângulo de posição é importante na seleção básica da ferramenta de torneamento correta para uma operação.

Cálculo dos dados de corte

Velocidade de corte

Exemplo de como calcular a velocidade de fuso (n) a partir da velocidade de corte (v_c).



Considere:

Velocidade de corte, $v_c = 400$ m/min (1312 pés/min)

Diâmetro $D_m = 100$ mm (3,937 pol.)

Métrico

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_m} \quad \text{r/min}$$

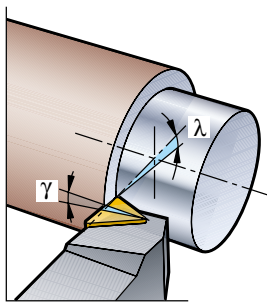
$$n = \frac{400 \times 1000}{3,14 \times 100} = 1274 \text{ r/min}$$

Polegadas

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times D_m} \quad \text{r/min}$$

$$n = \frac{1312 \times 12}{3,14 \times 3,937} = 1274 \text{ r/min}$$

Ângulos de saída e inclinação



Ângulo de inclinação

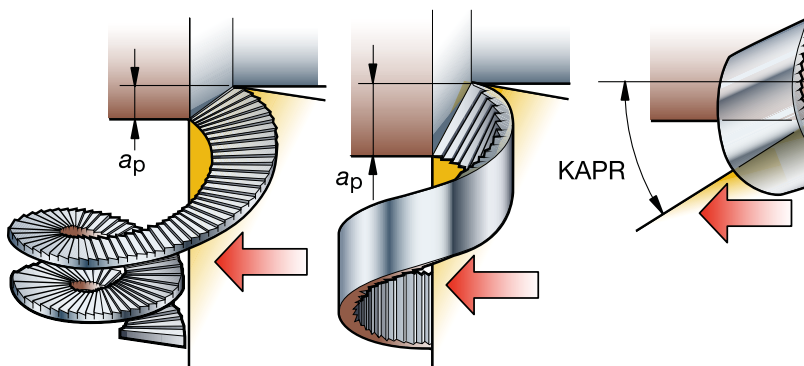
O ângulo de inclinação lambda (LAMS) é o ângulo em que a pastilha é montada no porta-ferramentas. Quando montada no porta-ferramentas, a geometria da pastilha e a inclinação do porta-ferramentas determinarão o ângulo de corte resultante no qual a aresta de corte corta.

Ângulo de saída

O ângulo de saída gama (GAMO) é uma medição da aresta em relação ao corte.

O ângulo de saída da própria pastilha costuma ser positivo e a face de folga é na forma de um raio, chanfro ou fase e afeta a força de corte da ferramenta, o consumo de potência, a capacidade de acabamento da ferramenta, a tendência à vibração e a formação de cavacos.

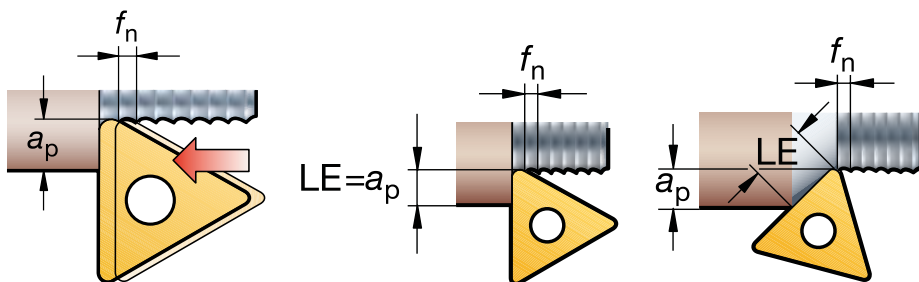
Profundidade de corte e formação de cavacos



A profundidade de corte (a_p) é o comprimento que a aresta entra na peça.

A formação de cavacos varia com a profundidade de corte, ângulo de posição (ataque), avanço, material e geometria da pastilha.

Faixa de avanço e comprimento efetivo da aresta de corte



Faixa de avanço

A faixa de avanço (f_n) é a distância que a aresta se move ao longo do corte por rotação.

Comprimento da aresta de corte

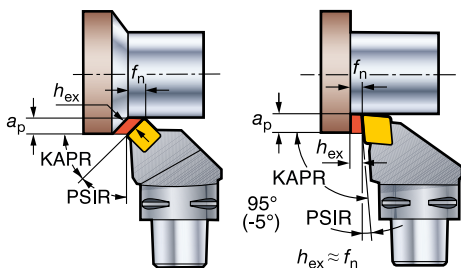
O comprimento efetivo da aresta de corte (LE) está relacionado à profundidade de corte e ao ângulo de posição (ataque).

Seleção do formato da pastilha, ângulo de posição (ângulo de ataque) e espessura dos cavacos

O ângulo de posição KAPR (ângulo de ataque PSIR) da ferramenta e o raio de ponta RE da pastilha afetam a formação de cavacos, pois a seção transversal do cavaco muda.

A espessura de cavaco é reduzida e a largura aumenta com um ângulo de posição menor ou um ângulo de ataque maior.

A direção do fluxo de cavaco também é alterada.



$$\text{KAPR} = 45^\circ$$

$$\text{PSIR} = 45^\circ$$

$$h_{ex} \approx f_n \times 0.71$$

Ângulo de posição KAPR (ângulo de ataque PSIR)

- É definido pelo alojamento (tip seat) do suporte em combinação com o formato da pastilha selecionada.

Espessura máxima do cavaco h_{ex}

- Redução relativa à faixa de avanço à medida que o ângulo de posição reduz (o ângulo de ataque aumenta).

Possibilidades de ângulos de posição (ataque) para as formas da pastilha



CNMG

Ângulo de posição KAPR:
95°

Ângulo de ataque PSIR:
-5°



DNMG

Ângulo de posição KAPR:
107,5°, 93°, 62,5°

Ângulo de ataque PSIR:
-17,5°, -3°, 27,5°



WNMG

Ângulo de posição KAPR:
95°

Ângulo de ataque PSIR:
-5°



SNMG

Ângulo de posição KAPR:
45°, 75°

Ângulo de ataque PSIR:
45°, 15°



RCMT

Ângulo de posição KAPR:
Variável

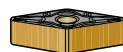
Ângulo de ataque PSIR:
Variável



TNMG

Ângulo de posição KAPR:
93°, 91°, 60°

Ângulo de ataque PSIR:
-3°, -1°, 30°








VNMG

Ângulo de posição KAPR:
117,5°, 107,5°, 72,5°

Ângulo de ataque PSIR:
-27,5°, -17,5°, 17,5°

O efeito do ângulo de posição (ângulo de ataque) na espessura dos cavacos

A espessura máxima do cavaco h_{ex} é reduzida em relação à faixa de avanço a medida que o ângulo de posição reduz (o ângulo de ataque aumenta).

Ângulo de posição KAPR					
Ângulo de ataque PSIR	95° -5°	75° 15°	60° 30°	45° 45°	90° mín 0° máx
Espessura do cavaco comparada ao avanço, mm (pol.)	1	0.96	0.87	0.71	Variável
Comprimento de contato l_a , mm (pol.) a a_p 2 mm (0,079 pol.)	2 (.079)	2.08 (.082)	2.3 (.091)	2.82 (.111)	Variável

Cálculo do consumo de potência

A potência líquida (P_c) necessária para a usinagem é muito importante no desbaste, é essencial garantir que a máquina tenha potência suficiente para a operação e é medida em kW e HP. O fator de eficiência da máquina também é muito importante.

Para informações sobre o valor k_c , veja a página H 16.

n = velocidade do fuso (rpm)

v_c = velocidade de corte m/min (pés/min)

f_n = avanço de corte mm/rot (pol./rot.)

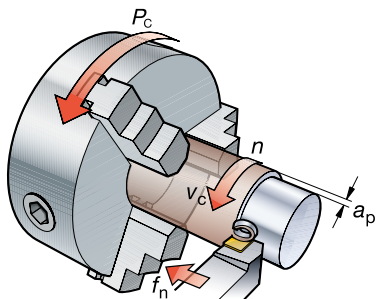
a_p = profundidade do corte mm (pol.)

k_c = força de corte específica N/mm² (lbs/pol²)

P_c = potência líquida kW (HP)

kW = quilowatts

HP = potência

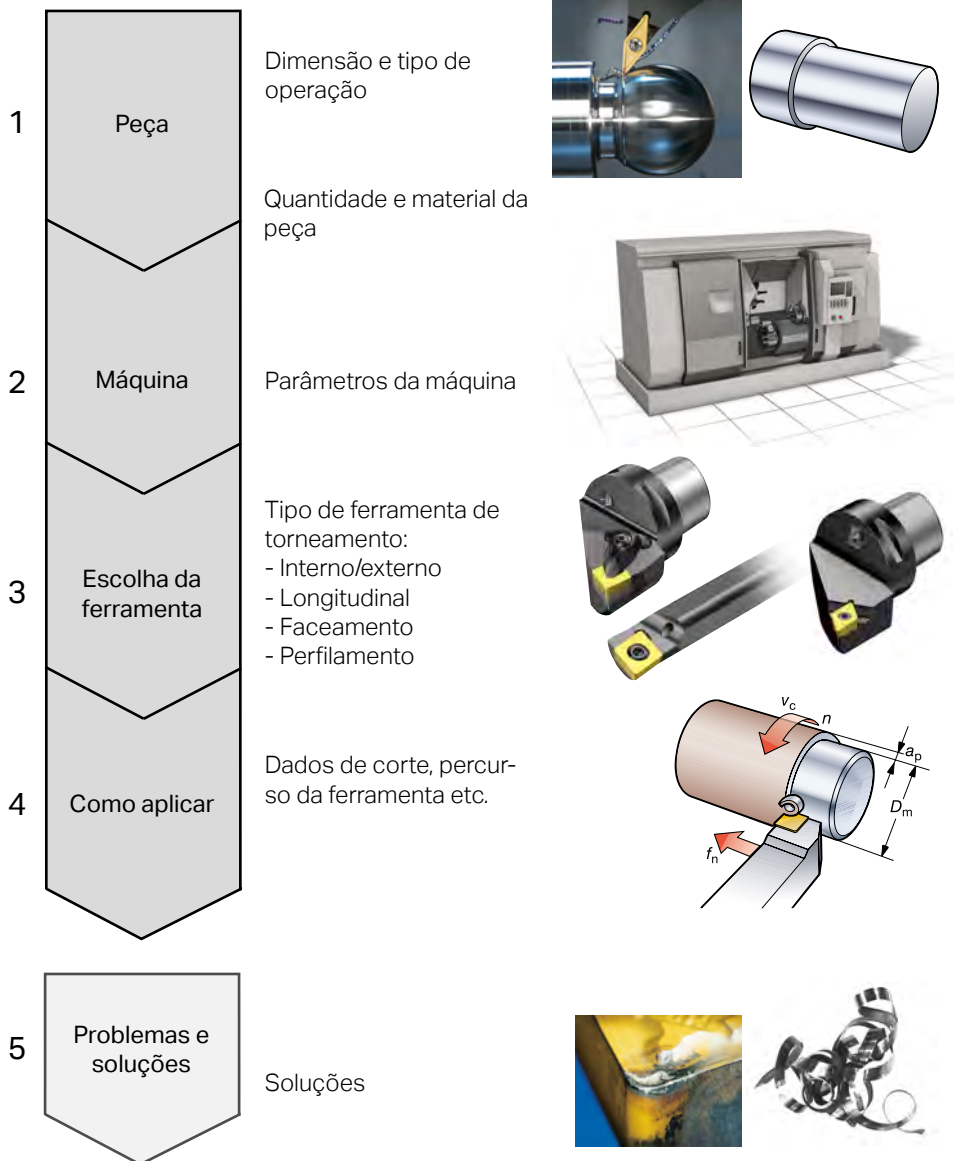


$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3} \quad \text{kW}$$

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{33 \times 10^3} \quad \text{HP}$$

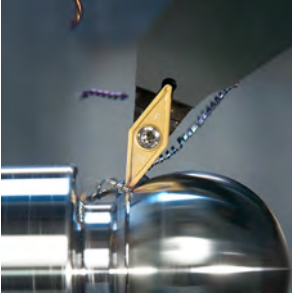
Procedimento para seleção

Processo de planeamento de produção



1. Peça e material da peça

Parâmetros a serem considerados



Peça

- Analise as dimensões e as exigências de qualidade da superfície a ser usinada
- Tipo de operação (longitudinal, faceamento e perfilamento)
- Externo, interno
- Desbaste, médio ou acabamento
- Percursos da ferramenta
- Número de passes
- Tolerâncias.

P	Aço
M	Aço inoxidável
K	Ferros fundidos
N	Materiais não ferrosos
S	Superligas resistentes ao calor e titânio
H	Aços endurecidos

Material

- Usinabilidade
- Fundido ou pré-usinado
- Quebra de cavacos
- Dureza
- Elementos da liga.

2. Parâmetros da máquina

Condição da máquina



Considerações importantes sobre a máquina :

- Estabilidade, potência e torque, especialmente para diâmetros maiores
- Fixação da peça
- Posição da ferramenta
- Tempo de troca de ferramenta/número de ferramentas na torre
- Limitações de velocidade do fuso (rpm), magazine de avanço de barras
- Subspindle ou contraponta disponível?
- Use todo suporte possível
- Fácil de programar
- Pressão do fluido de corte.

3. Escolha da ferramenta

Aplicação geral - Torneamento com pastilhas rômbrica



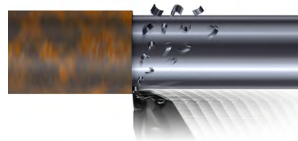
Vantagens

- Versatilidade operacional
- Ângulo de posição maior
- Para torneamento e faceamento
- Boa resistência no desbaste.

Desvantagens

- Pode causar vibração quando tornear peças mais delgadas.

Torneamento com pastilhas Wiper



Vantagens

- Aumento do avanço e ganho de produtividade
- Use a faixa de avanço normal e ganhe em acabamento superficial
- Impulsionador de produtividade.

Desvantagens

- Em torneamento reverso e perfilamento a aresta Wiper não é efetiva.

Conceitos exclusivos de torneamento Coromant



Vantagens

- Aumento dos dados de corte no perfilamento
- Aumento da habilidade de manter tolerância.



Vantagens

- Soluções com múltiplas arestas
- Controle de cavacos e vida útil previsível da ferramenta.

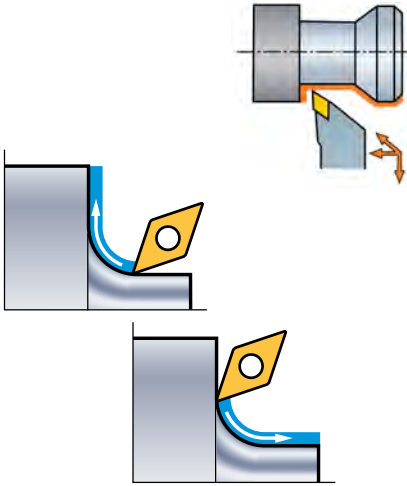


Vantagens

- Torneamento em todas as direções
- Torneamento eficiente e produtivo.

4. Como aplicar

Considerações importantes sobre a aplicação



O percurso da ferramenta tem impacto significativo no processo de usinagem.

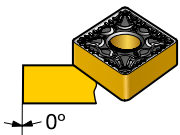
Ele influencia:

- Controle de cavacos
- Desgaste da pastilha
- Acabamento superficial
- Vida útil da ferramenta.

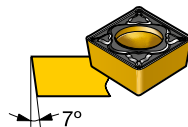
Na prática, o porta-ferramentas, a geometria da pastilha, a classe, o material da peça e o percurso da ferramenta influenciam consideravelmente o tempo de ciclo e a produtividade.

5. Problemas e soluções

Algumas áreas a considerar



Tipo negativo



Tipo positivo

Ângulo de folga da pastilha

- Use pastilhas positivas para forças de corte mais baixas em geral e para torneamento interno.

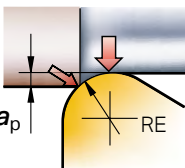


Quebra de cavacos

- Otimize a quebra de cavacos mudando a profundidade do corte, o avanço ou a geometria da pastilha.

Raio de ponta

- A profundidade do corte não deve ser inferior ao raio de ponta (RE).

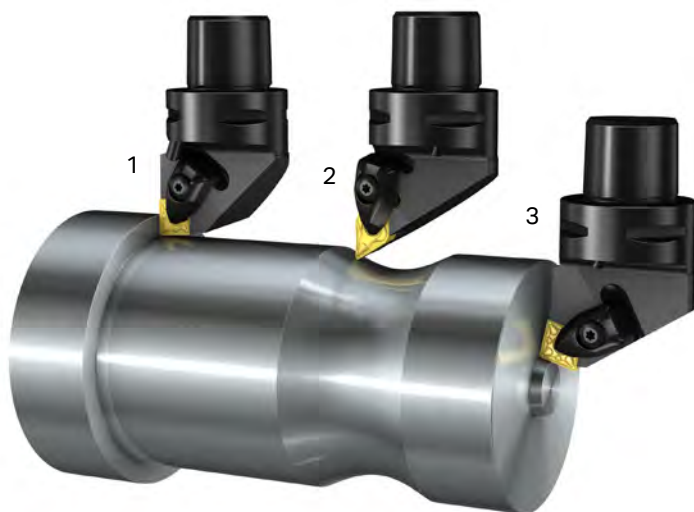


Desgaste da pastilha

- Certifique-se de que o desgaste de flanco não excede a recomendação geral de 0,5 mm (0,020 pol.).

Torneamento externo - pastilhas negativas

1. Torneamento longitudinal
2. Perfilamento
3. Faceamento



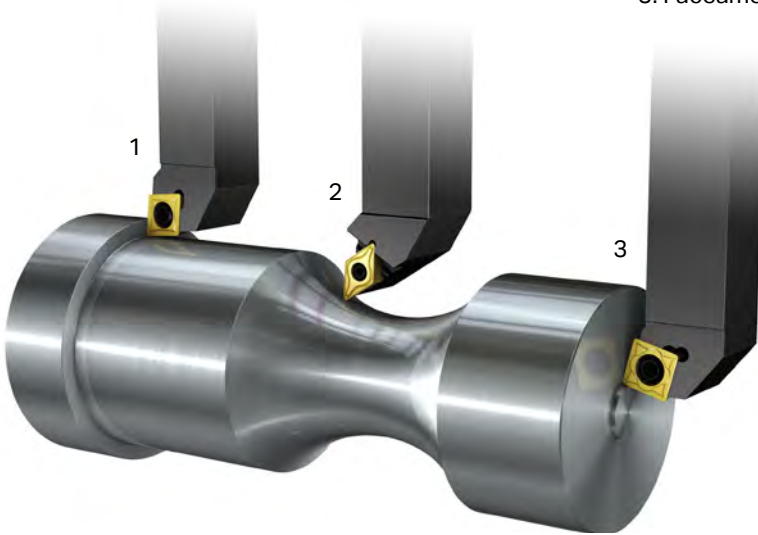
Visão geral do porta-ferramentas



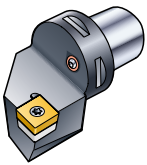
- Pastilha negativa
- Sistema de fixação rígida
- Ferramentas convencionais/modulares.
- Pastilha negativa
- Sistema de fixação por alavanca
- Ferramentas convencionais/modulares.
- Pastilhas negativas/positivas
- Todos os sistemas de fixação
- Cabeças de corte
- Ferramentas convencionais/modulares.
- Pastilhas negativas
- Sistema de fixação por alavanca
- Refrigeração de precisão
- Ferramentas convencionais/modulares.

Torneamento externo - pastilhas positivas

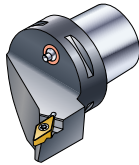
1. Torneamento longitudinal
2. Perfilamento
3. Faceamento



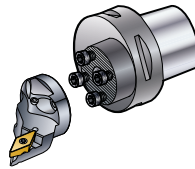
Visão geral do porta-ferramentas



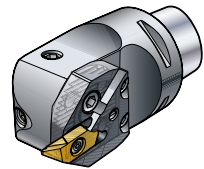
- Pastilha positiva
- Sistema de fixação do parafuso
- Ferramentas convencionais/modulares.
- Refrigeração de precisão.



- Pastilha positiva
- Sistema de fixação do parafuso
- Interface tipo trilho iLock™
- Ferramentas convencionais/modulares.

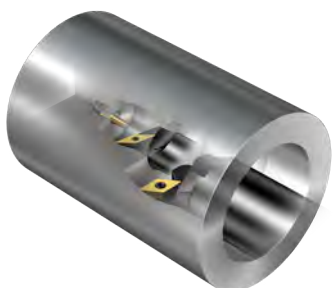


- Pastilha negativa/positiva
- Todos os sistemas de fixação
- Cabeças de corte
- Ferramentas convencionais/modulares.

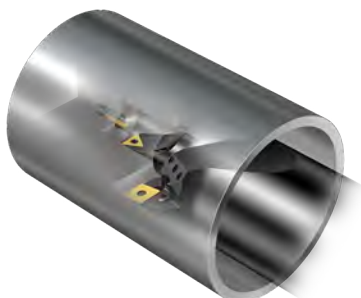


- Pastilha positiva
- Sistema de fixação por parafuso
- Ferramentas convencionais/modulares.

Torneamento interno, pastilhas negativas/positivas



Pastilhas positivas

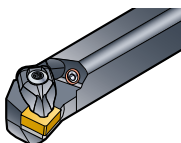


Pastilhas negativas

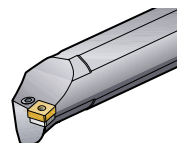
Visão geral do porta-ferramentas interno



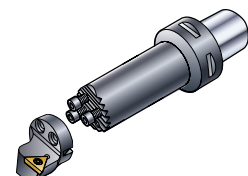
- Pastilhas negativas/positivas
- Barras de mandril anti-ibratórias
- Barras de mandril



- Pastilha negativa
- Sistema de fixação rígida
- Barras modulares/de mandril.



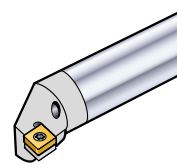
- Pastilha negativa
- Sistema de fixação por alavanca
- Barras modulares/de mandril.



- Pastilha negativa/positiva
- Todos os sistemas de fixação
- Cabeças de corte
- Barras de mandril anti-ibratórias /modulares
- Refrigeração de precisão.

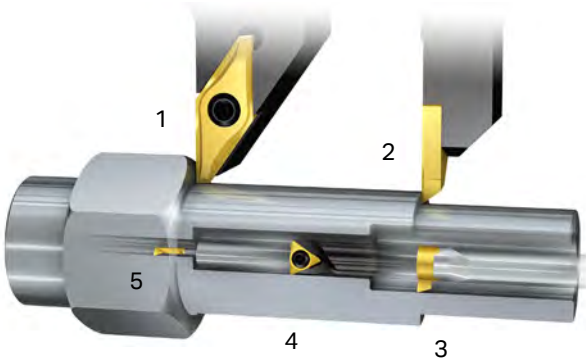


- Pastilha positiva
- Sistema de fixação do parafuso
- Cabeças de corte
- Barras modulares/de mandril.
- Refrigeração de precisão.



- Barras de mandril anti-ibratórias
- Barras de mandril.

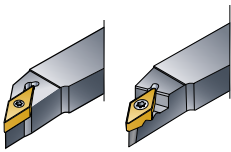
Ferramentas para usinagem de peças pequenas



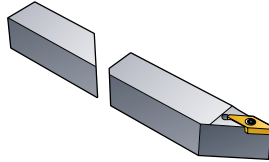
1. Torneamento externo
2. Torneamento externo (Máquinas de cabeçote móvel)
3. Torneamento interno (Pastilhas intercambiáveis)
4. Torneamento interno
5. Torneamento interno (Hastes de metal duro)

Visão geral do porta-ferramentas

Ferramentas externas



- Pastilha positiva
- Sistema de fixação por parafuso
- Ferramenta convencional
- Refrigeração de precisão.

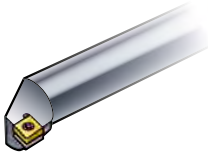


- Ferramentas de troca rápida
- Pastilha positiva
- Sistema de fixação por parafuso.

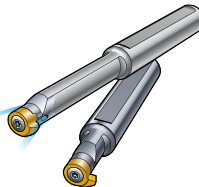


- Pastilha positiva
- Sistema de fixação por parafuso.

Ferramentas internas



- Pastilha positiva
- Sistema de fixação por parafuso
- Refrigeração de precisão.



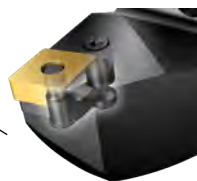
- Pastilha positiva
- Sistema de fixação por parafuso.



- Pastilha positiva
- Hastas de metal duro
- Barras adaptadas à máquina.

Visão geral dos sistemas de fixação da pastilha

Fixação de pastilhas de formato básico negativo

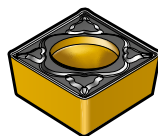


Sistema de fixação rígida

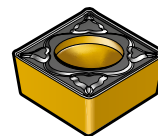


Sistema de fixação por alavanca

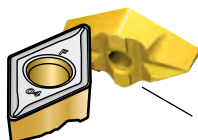
Sistema de fixação por parafuso



Sistema de fixação por parafuso

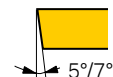


Fixação de pastilhas positivas iLock™



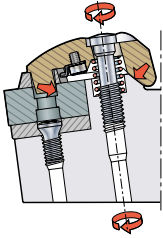
iLock™

Sistema de fixação por parafuso



Fixação moderna da pastilha para ferramentas de torneamento

Fixação rígida



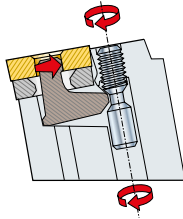
- Pastilhas negativas
- Excelente fixação
- Fácil indexação.



B

Cortes e canais

Fixação por alavanca



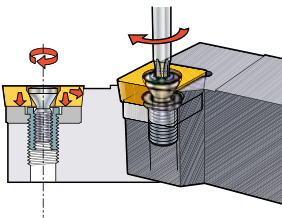
- Pastilhas negativas
- Fluxo livre de cavacos
- Fácil indexação.



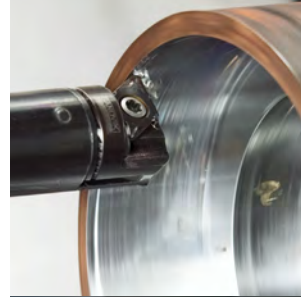
C

Rosqueamento

Fixação por parafuso



- Pastilhas positivas
- Fixação segura da pastilha
- Fluxo livre de cavacos.



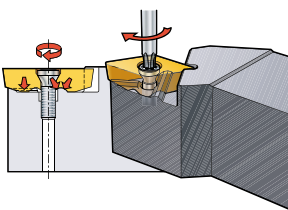
D

Fresamento

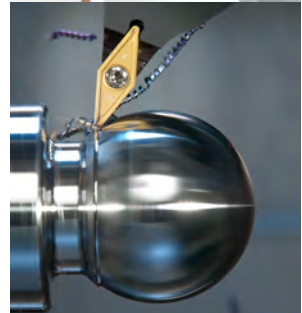
E

Furação

Sistema de fixação por parafuso, iLock™



- Pastilhas positivas
- Fixação muito segura
- Alta precisão



F

Mandrilamento

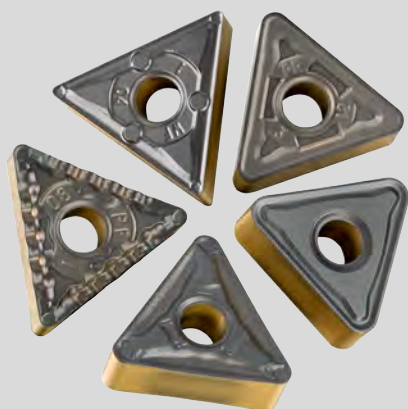
G

Sistemas de fixação

H Usinabilidade
Outras informações

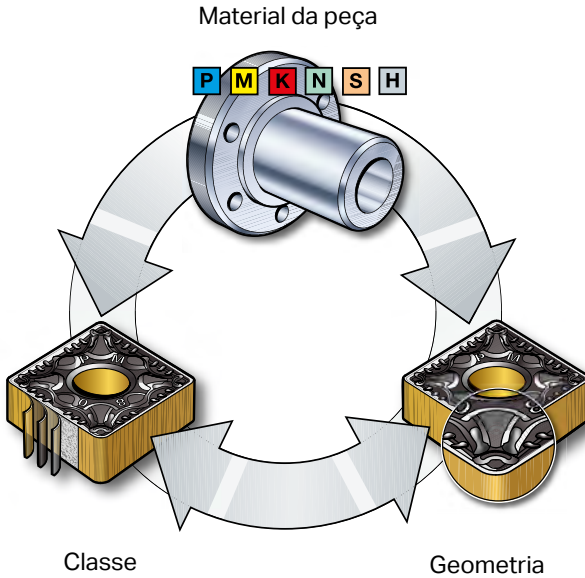
Escolha da ferramenta

- Fatores básicos A 23
- Geometria da pastilha A 31
- Classes de pastilhas A 38
- Formato, tamanho e raio de ponta da pastilha A 41
- Efeito dos dados de corte na vida útil da ferramenta A 47



O complexo mundo da usinagem

Ter os processos de usinagem certos, significa conhecer o material da peça, escolher a geometria e a classe corretas da pastilha que se adequem à aplicação específica.



- A interação entre geometria otimizada e classe da pastilha para um material determinado é a chave para uma usinagem bem-sucedida
- Estes três fatores básicos principais devem ser cuidadosamente considerados e adaptados para a operação de usinagem em questão.
- O conhecimento e a compreensão de como trabalhar e usar esses fatores são de vital importância.

A usinagem começa na aresta de corte

Sequências de quebra-cavacos típicas com imagens em alta velocidade.



Seis grupos de materiais

Na indústria de usinagem, há uma enorme quantidade de desenhos de peças feitas de diferentes materiais. Cada material tem suas próprias características exclusivas influenciadas aos elementos de liga, tratamento térmico, dureza etc. Isso tem grande influência na escolha da geometria da ferramenta de corte, classe e dados de corte.

Os materiais da peça foram divididos em 6 grupos principais de acordo com a norma ISO, onde cada grupo tem propriedades exclusivas em relação à usinabilidade.

Grupos de material da peça

P Aço



- **ISO P** – O aço é o maior grupo de materiais na área de usinagem, variando de materiais sem ligas a de alta liga, incluindo aços fundidos e aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos. A usinabilidade geralmente é boa, mas varia muito de acordo com a dureza do material, do teor de carbono, etc.

M Aço inoxidável



- **ISO M** – Os aços inoxidáveis são materiais com liga com um mínimo de 12% de cromo. Outras ligas são níquel e molibdênio por exemplo. As diferentes condições como ferríticos, martensíticos, austeníticos e austeníticos-ferríticos (duplex) compõem este grupo de material abrangente. Um fator comum para todos esses tipos é que eles expõem a aresta de corte a uma grande quantidade de calor, desgaste tipo entalhe e aresta postiça.



**K** Ferros fundidos

- **ISO K** – Ao contrário dos aços, os ferros fundidos são um tipo de material de cavacos curtos. Os ferros fundidos cinzentos (GCI) e os ferros fundidos maleáveis (MCI) são consideravelmente fáceis de usinar, enquanto que os ferros fundidos nodulares (NCI), ferros fundidos vermiculares (CGI) e ferros fundidos austemperados (ADI) são mais difíceis. Todos os ferros fundidos contêm carboneto de silício (SiC) que é muito abrasivo para a aresta de corte.

N Alumínio

- **ISO N** – Os metais não ferrosos como o alumínio, cobre, latão, etc, são mais macios. O alumínio contém um teor de silício (Si) de 13% que é muito abrasivo. Geralmente, altas velocidades de corte e vida útil longa podem ser esperadas para pastilhas com arestas vivas.

S Ligas resistentes ao calor

- **ISO S** – As superligas resistentes ao calor incluem um grande número de ferros alta-liga, níquel, cobalto e materiais à base de titânio. Esses materiais são pastosos, criam arestas postiças e geram calor, são muito semelhantes à área ISO M, porém são muito mais difíceis de usinar e resultam em vida útil mais curta das arestas de corte

H Aços endurecidos

- **ISO H** – Esse grupo abrange aços com uma dureza entre 45-65 HRc e também ferros fundidos coquilhados com cerca de 400-600 HB. A dureza faz com que sejam difíceis de usinar. Os materiais geram calor durante o corte e são muito abrasivos para a aresta de corte.

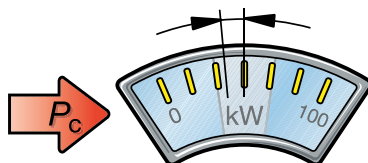
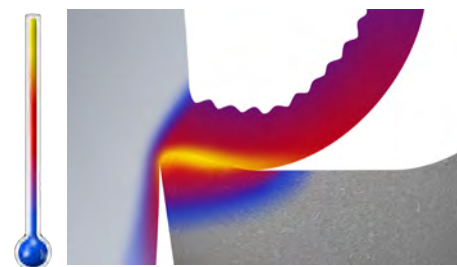
Forças de cortes

Outra expressão das diferenças nestes seis grupos de materiais é através da força (F_T) necessária para cortar uma seção transversal de cavaco específica em determinadas condições.

Este valor, o valor específico da força de corte (k_c), é indicado para vários tipos de material da peça e é usado no cálculo da potência necessária para uma operação.

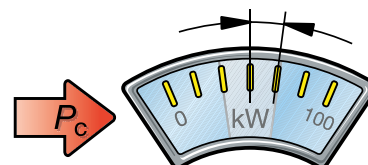
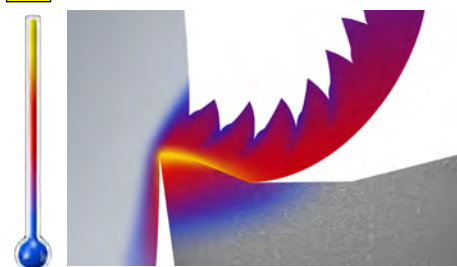
k_{c1} = força de corte específica para uma espessura de cavaco média de 1 mm (0,039 pol.).

P Aço



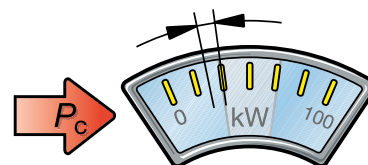
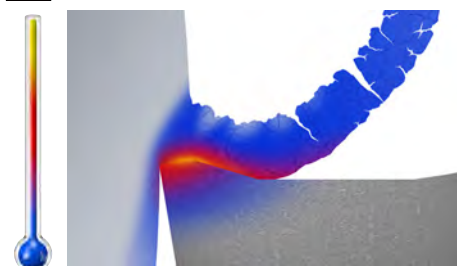
- Materiais P têm uma variação k_{c1} de: 1500-3100 N/mm² (217,500-449,500 lbs/pol²)

M Aço inoxidável



- Materiais M têm uma variação a k_{c1} de: 1800-2850 N/mm² (261,000-413,250 lbs/pol²)

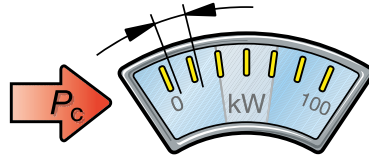
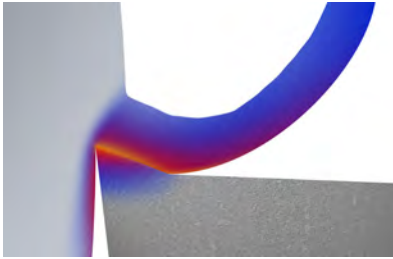
K Ferros fundidos



- Materiais K têm uma variação k_{c1} de: 790-1350 N/mm² (114,550-195,750 lbs/pol.²)

**N**

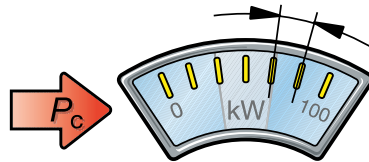
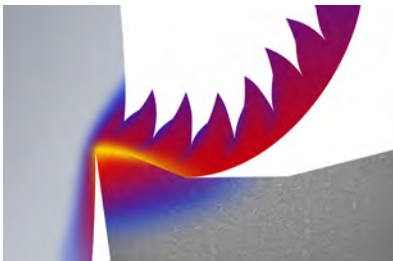
Alumínio



- Materiais N têm uma variação k_{c1} de: 350-1350 N/mm² (50,750-195,750 lbs/pol.²)

S

Superligas resistentes ao calor

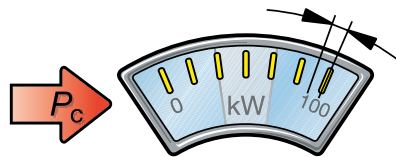
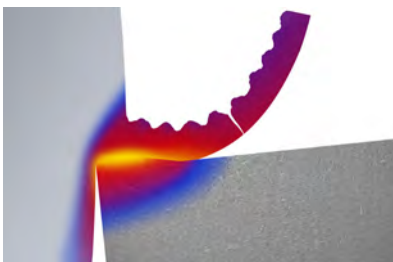


- Materiais S têm uma variação k_{c1} de: 2400-3100 N/mm² (348,000-449,500 lbs/pol.²) para HRSA

1300-1400 N/mm²
(188,500-203,000 lbs/pol.²) para ligas de titânio

H

Aços endurecidos

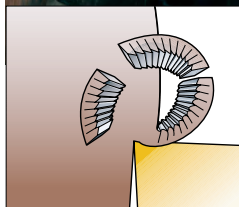


- Materiais H têm uma variação k_{c1} de: 2550 – 4870 N/mm² (369,750-706,150 lbs/pol.²)

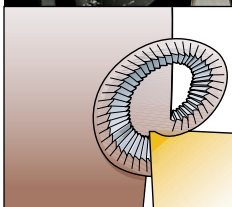
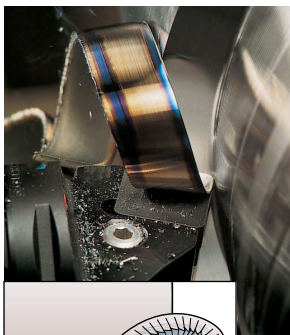
Formação de cavacos

Há três padrões para a quebra de um cavaco depois de ser cortado.

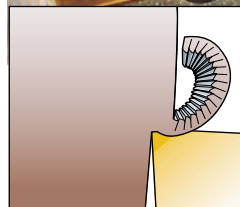
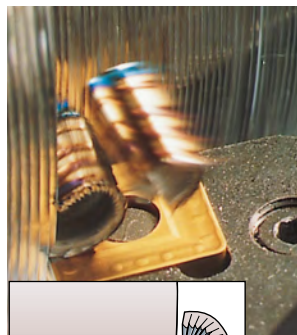
Quebra automática



Contra a ferramenta



Contra a peça



Quebra automática, quando a curvatura do cavaco que está sendo gerado, está adequada, isso conduz a uma ruptura e faz com que ele se solte da pastilha por si só.

Quebra de cavacos contra a ferramenta, quando o cavaco se curva até que faça contato com a face de folga da pastilha ou do porta-ferramentas, fazendo com que a tensão resultante o quebre. Embora amplamente aceito, este método pode, em alguns casos, causar o martelamento do cavaco que, por sua vez, danificará a pastilha.

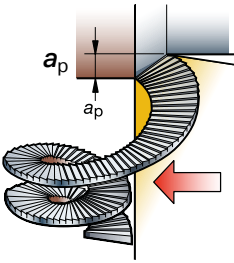
Quebra de cavacos contra a peça, o cavaco se parte ao entrar em contato com a superfície que acaba de ser usinada. Este tipo de quebra de cavacos não costuma ser adequada para aplicações onde é necessário um bom acabamento superficial, devido ao possível dano causado à peça.



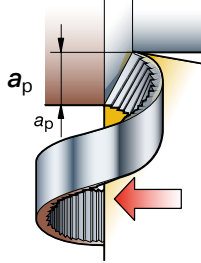
► A formação de cavacos varia com parâmetros diferentes

A formação de cavacos varia com a profundidade de corte, avanço, material e geometria da ferramenta.

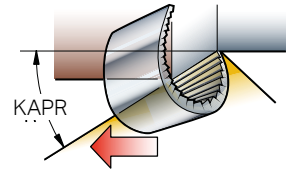
Quebra automática



Contra a ferramenta



Contra a peça

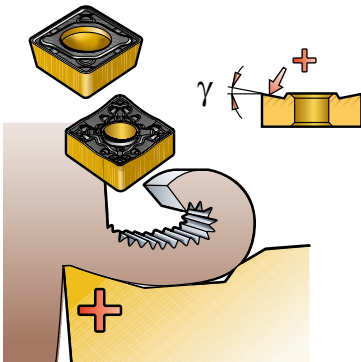


Ângulo de saída da pastilha

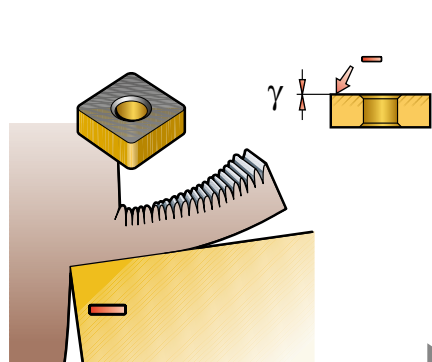
O ângulo de saída (γ) gama (GAMO) é uma medição da aresta em relação ao corte. Ele pode ser através de ferramentas negativas ou positivas.

Com base nisso, há pastilhas negativas e positivas, onde os ângulos de folga são zero ou vários graus positivos. Isto determina como a pastilha pode ser inclinada no porta-ferramentas, promovendo uma ação de corte negativa ou positiva.

Ação de corte positiva



Ação de corte negativa



► Ângulo de saída da pastilha

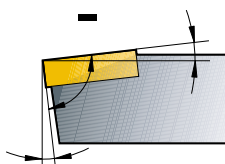
Há uma distinção na geometria da aresta de corte entre a geometria de pastilha negativa e positiva:

- Uma pastilha negativa tem um ângulo de cunha de 90° visto em uma seção transversal da forma básica da aresta de corte.

- Uma pastilha positiva tem um ângulo de cunha menor que 90° .

A pastilha negativa precisa ser negativamente inclinada no porta-ferramentas para fornecer um ângulo de folga tangencial para a peça enquanto que a pastilha positiva tem esta folga integrada.

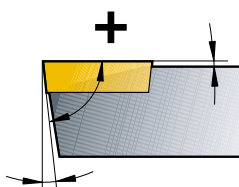
Tipo negativo



- Face dupla/face única
- Resistência da aresta
- Folga zero
- Usinagem externa/interna
- Condições de corte pesado.

Nota: O ângulo de folga é o ângulo entre a face frontal da pastilha e o eixo vertical da peça.

Tipo positivo



- Face única
- Forças de corte baixas
- Folga lateral
- Usinagem externa/interna
- Eixos delgados, furos pequenos.

Geometrias das pastilhas

Usinagem consiste em uma ciência que estuda a remoção de cavacos do material da peça da forma correta. Os cavacos devem ser formados e quebrados em comprimentos favoráveis para não afetar o processo na máquina.



- Em fresamento e furação, vários parâmetros influenciam a formação de cavacos comparado ao torneamento.
- O torneamento é uma operação de corte simples com uma ferramenta estacionária e uma peça rotativa.
- O ângulo de saída, a geometria e o avanço da pastilha desempenham um papel importante no processo de formação de cavacos.
- A remoção do calor da zona de corte através do cavaco (80%) é uma questão essencial.

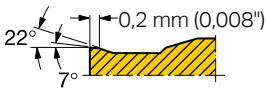
O projeto de uma pastilha moderna

Definições de termos e desenho da geometria

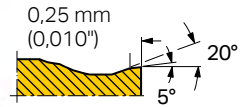
Projeto de aresta do raio de ponta

Macrogeometria com quebra-cavacos

Geometria para profundidades de corte pequenas



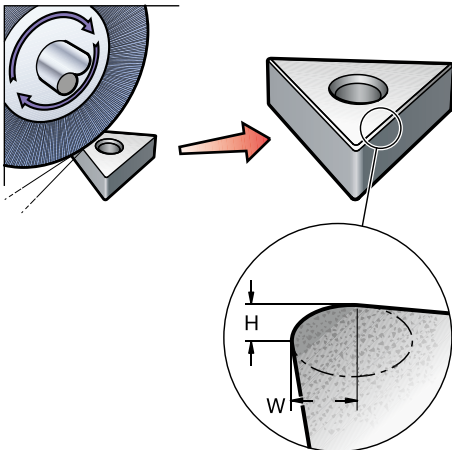
Desenho da aresta de corte principal



- Reforço da aresta de corte 0,25 (0,010")
- Ângulo de saída 20°
- Fase primária 5°

A aresta de corte reforçada

O tratamento ER (edge roundness - arredondamento da aresta) proporciona à aresta de corte a micro geometria final.

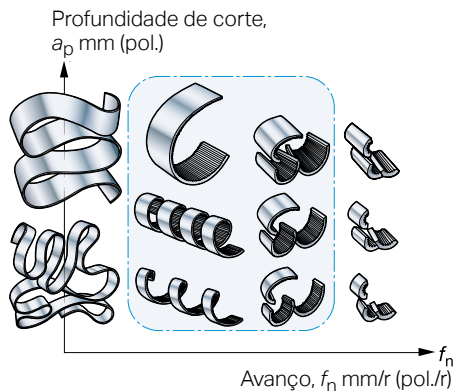


- O tratamento ER (edge roundness - arredondamento da aresta) é feito antes da cobertura e define a forma final da aresta de corte (microgeometria).
- A relação entre L/A é que torna as pastilhas adequadas para diferentes aplicações.

A área de trabalho da geometria de uma pastilha

Um diagrama de quebra-cavacos para uma geometria de pastilha é definido pelo

quebra-cavacos aceitável para o avanço e profundidade de corte.



- Profundidade de corte (a_p) e avanço (f_n) devem ser adaptados à área de quebra de cavaco da geometria a fim de se obter um controle de cavacos aceitável.
- A quebra de cavacos muito duros pode causar a quebra da pastilha.
- Cavacos muito longos podem causar perturbações no processo de usinagem além de um acabamento superficial insatisfatório.

Três métodos principais de torneamento

R = Desbaste

M = Usinagem média

F = Acabamento

Desbaste

- Taxa máxima de remoção de metal e/ou condições severas
- Combinações de grande profundidade de corte e faixa de avanço
- Altas forças de cortes.

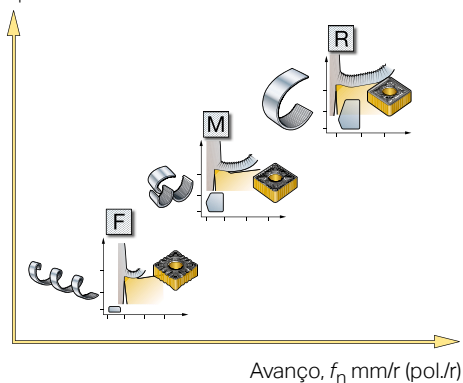
Usinagem média

- Maioria das aplicações – uso geral
- Operações de usinagem média até desbaste leve
- Ampla gama de combinações de profundidade de corte e faixa de avanço.

Acabamento

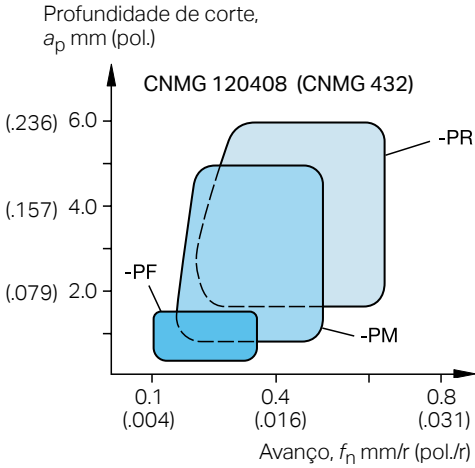
- Profundidades de corte pequenas e baixos avanços
- Forças de corte baixas.

Profundidade de corte,
 a_p mm (pol.)



Área de quebra de cavacos

Torneamento de aços baixa-liga



Desbaste – R

Combinações de profundidade maior de corte e faixa de avanço. Operações que requerem maior segurança da aresta.

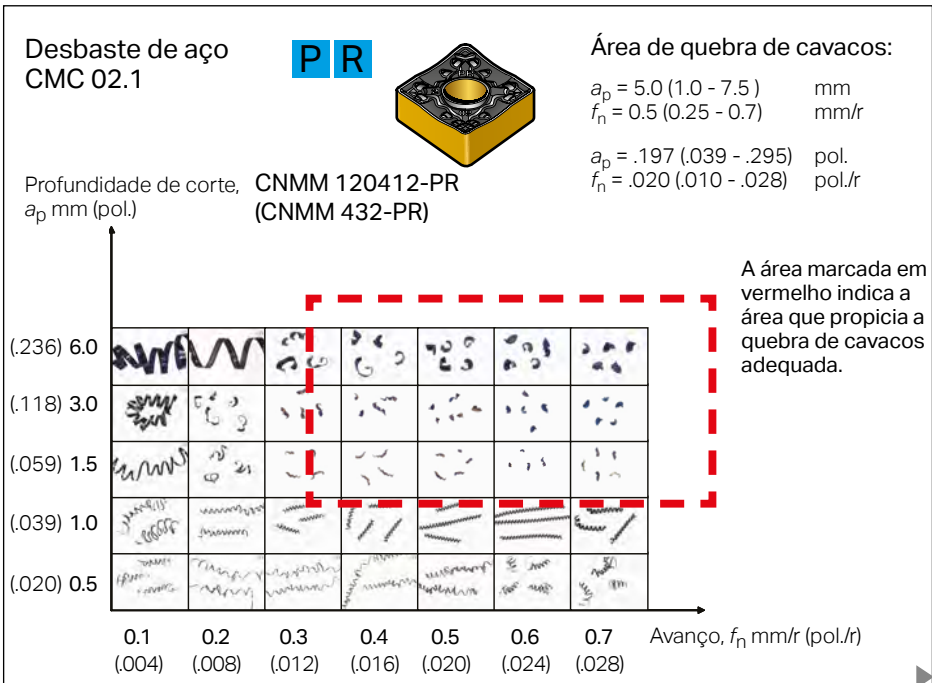
Média – M

Operações de usinagem média até desbaste leve. Ampla gama de combinações de profundidade de corte e faixa de avanço.

Acabamento – F

Operações com profundidades de corte leves e baixas faixas de avanço. Operações que requerem baixas forças de cortes.

Diagrama do quebra-cavacos



Usinagem média de
aço CMC 02.1

P M



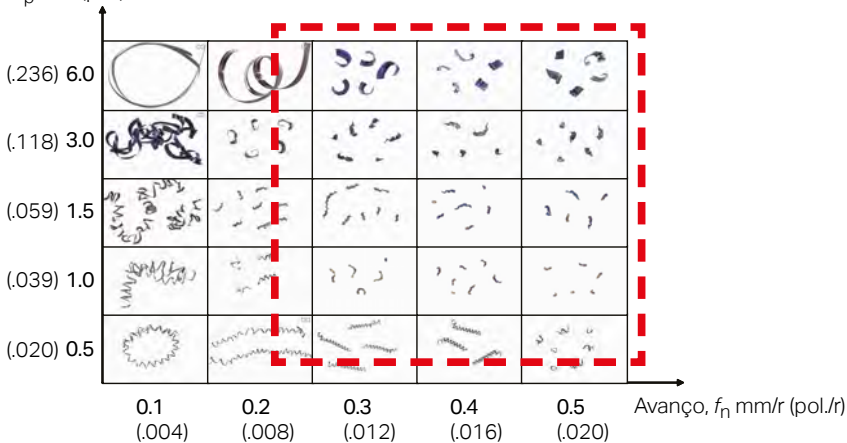
Área de quebra de cavacos:

$$a_p = 3.0 \text{ (0.5 - 5.5)} \quad \text{mm}$$

$$f_n = 0.3 \text{ (0.15 - 0.5)} \quad \text{mm/r}$$

$$a_p = .118 \text{ (.020 - .217)} \quad \text{pol.}$$

$$f_n = .012 \text{ (.006 - .020)} \quad \text{pol./r}$$

CNMG 120408-PM
(CNMG 432-PM)Profundidade de corte,
 a_p mm (pol.)Acabamento do aço
CMC 02.1

P F



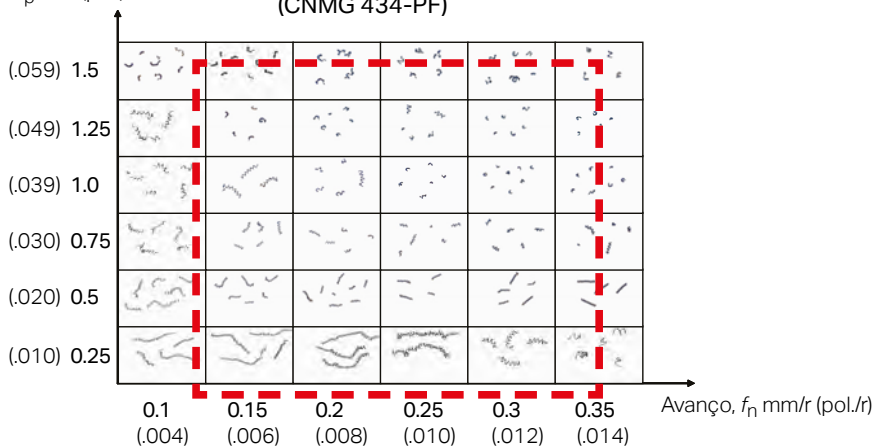
Área de quebra de cavacos:

$$a_p = 0.4 \text{ (0.25 - 1.5)} \quad \text{mm}$$

$$f_n = 0.15 \text{ (0.07 - 0.3)} \quad \text{mm/r}$$

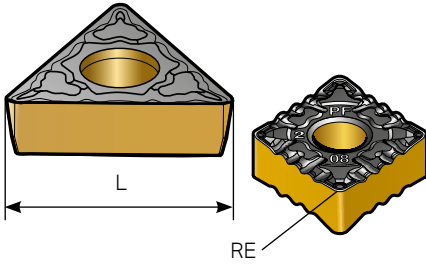
$$a_p = .016 \text{ (.010 - .059)} \quad \text{pol.}$$

$$f_n = .006 \text{ (.003 - .012)} \quad \text{pol./r}$$

CNMG 120404-PF
(CNMG 434-PF)Profundidade de corte,
 a_p mm (pol.)

Seleção de pastilhas

Considerações ao selecionar as pastilhas



L = comprimento da aresta de corte (tamanho da pastilha)
RE = raio de ponta

É importante selecionar o tamanho, o formato, a geometria e o raio de ponta corretos da pastilha para obter um bom controle de cavacos.

- Selecione a pastilha com o maior ângulo de ponta possível para resistência e economia.
- Selecione o maior raio de ponta possível para resistência da pastilha.
- Selecione o menor raio de ponta se houver tendência a vibrações.

Pastilhas dedicadas para as áreas ISO P, M, K e S

As diferentes micro e macrogeometrias são adaptadas às várias solicitações nas aplicações.

Material da peça	Acabamento	Médio	Desbaste
P			
M			
K			
S			

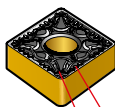
Descrição de geometria

Todas as pastilhas têm uma área de trabalho com controle de cavacos otimizado.

Há também uma descrição da geometria e informações sobre a aplicação disponíveis.

Área de trabalho da geometria	Descrição de geometria	Aplicação
-------------------------------	------------------------	-----------

-PM



CNMG 432-PM
(CNMG 12 04 08-PM)

$a_p = 0,5 - 5,5$ mm
 $f_n = 0,15 - 0,5$ mm/r

$a_p = .020 - .217$ pol.
 $f_n = .006 - .020$ pol./r

-PM – para torneamento médio com ampla capacidade para aço.

Avanço (f_n): 0,1 – 0,65 mm/r (0,004 – 0,026 pol./r).

Profundidade de corte (a_p): 0,4 – 8,6 mm (0,016 – 0,339 pol.).

Operações: torneamento, faceamento e perfilamento.

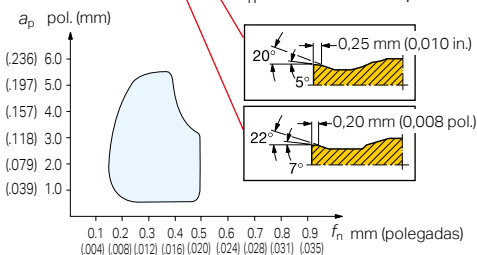
Vantagens: uso geral, confiável, com usinagem sem problemas.

Peças: hastes, eixos, cubos, engrenagens etc.

Limitações: profundidade do corte e avanço, risco de sobrecarga na aresta de corte.

Recomendações gerais Combine-o com a classe resistente ao desgaste para melhor produtividade.

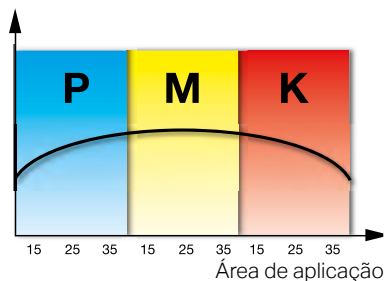
Possível otimização: geometria WMX.



De pastilhas para torneamento universais a otimizadas

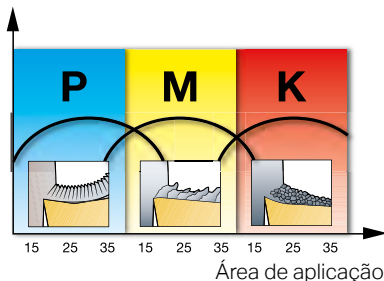
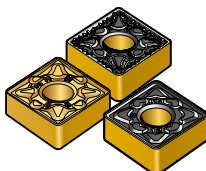
Pastilhas universais

- Geometria universal
- Otimização com classes
- Desempenho comprometido.



Pastilhas otimizadas

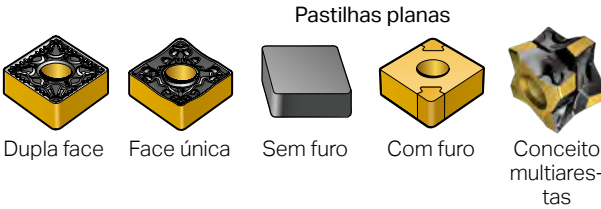
- Geometrias e classes especiais
- Desempenho otimizado de acordo com o material da peça e a usinabilidade.



Pastilhas para torneamento geral

A escolha de diferentes conceitos de pastilhas

Pastilhas de face única/dupla negativas



- Uma pastilha negativa tem um ângulo de cunha de 90° visto em uma seção transversal da forma básica da aresta de corte.
- Disponível como pastilhas face dupla/face única com furo P ou planas.

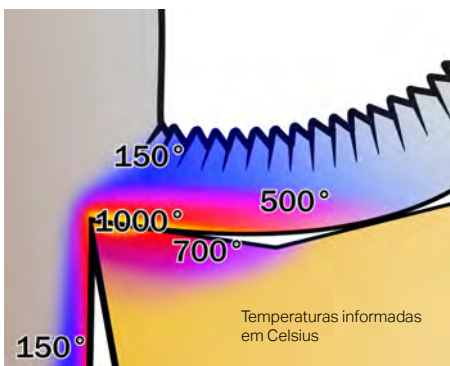
Pastilhas de face única positivas



- Uma pastilha positiva tem um ângulo em cunha menor que 90° .
- Disponível com ângulo de folga de 7° ou 11° .
- As pastilhas positivas iLock™ têm um ângulo de folga de 5° ou 7° .

Formação de cavacos em alta pressão e temperaturas

A escolha do material de corte e da classe é fundamento para o sucesso



O material ideal da ferramenta de corte deve:

- ser duro o bastante para resistir ao desgaste de flanco e deformação
- ser tenaz para resistir à quebra em grande volume de remoção
- não interagir quimicamente com o material da peça
- ser quimicamente estável para resistir à oxidação e à difusão
- ter boa resistência à mudanças térmicas repentinas.

A gama principal de materiais da ferramenta de corte

Os materiais de ferramentas de corte mais comuns estão divididos nos seguintes grupos principais:

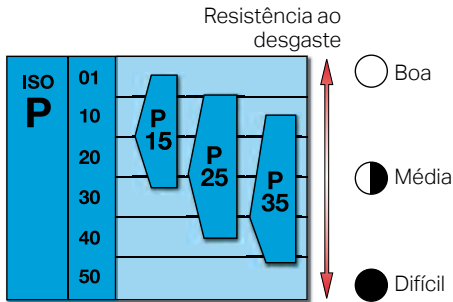
- Metal duro sem cobertura (HW)
- Metal duro com cobertura (HC)
- Cermets (HT, HC)
 - HT Cermet sem cobertura contendo principalmente carbonetos de titânio (TiC) ou nitretos de titânio (TiN) ou ambos.
 - HC Cermet conforme acima, porém, com cobertura.
- Cerâmicas (CA, CM, CN, CC)
 - CA Cerâmicas à base de óxido contendo principalmente óxido de alumínio (Al_2O_3).
 - CM Cerâmicas mistas contendo principalmente óxido de alumínio (Al_2O_3) e outros elementos além de óxidos.
 - CN Cerâmicas à base de nitreto, contendo principalmente nitreto de silício (Si_3N_4).
 - CC Cerâmicas como acima, porém com cobertura.
- Nitreto Cúbico de Boro (BN)
- Diamantes policristalinos (DP, HC)
 - DP Diamantes policristalinos.
 - HC Diamantes policristalinos, mas com cobertura.



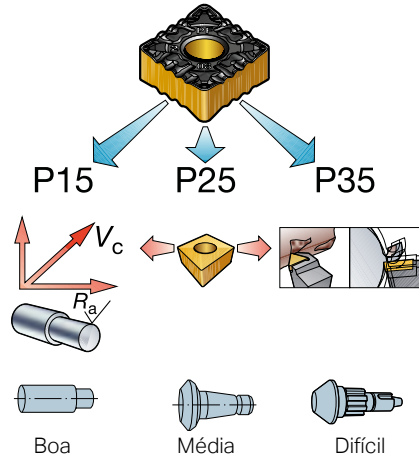
Como escolher a geometria e a classe da pastilha

Selecione a geometria e a classe de acordo com a aplicação.

Composição de uma tabela de classes



Condições de usinagem



Condições de usinagem



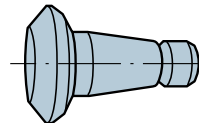
Boas condições

- Cortes contínuos
- Altas velocidades
- Peças pré-usinadas
- Excelente fixação da peça
- Balanços pequenos.



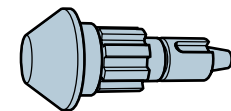
Condições médias

- Perfilamento
- Velocidades moderadas
- Peça forjada ou fundida
- Boa fixação da peça.



Condições difíceis

- Cortes interrompidos
- Baixas velocidades
- Casca pesada na peça forjada ou fundida
- Fixação insatisfatória da peça.

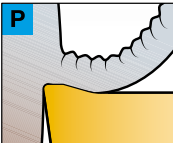
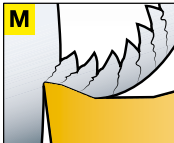
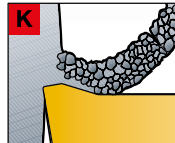
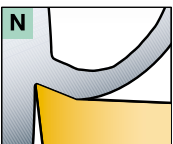
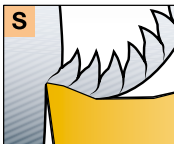
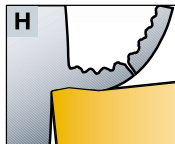


Classes dedicadas

Classes dedicadas para minimizar o desenvolvimento de desgaste das ferramentas

O material da peça influencia o desgaste durante a ação de corte de maneiras diferentes. Portanto, foram desenvolvidas classes dedicadas para lidar com os mecanismos básicos de desgaste, ex.:

- Desgaste de flanco, craterização e deformação plástica
- Arestas postiças e desgaste do entalhe.

ISO P	Aço	ISO M	Aço inoxidável	ISO K	Ferros fundidos
					
ISO N	Materiais não ferrosos	ISO S	Super ligas e ligas resistentes ao calor	ISO H	Aços endurecidos
					

Seleção do formato da pastilha

A influência do ângulo de ponta grande e pequeno

O formato da pastilha e o ângulo de ponta variam consideravelmente, da menor com 35° até a pastilha redonda.

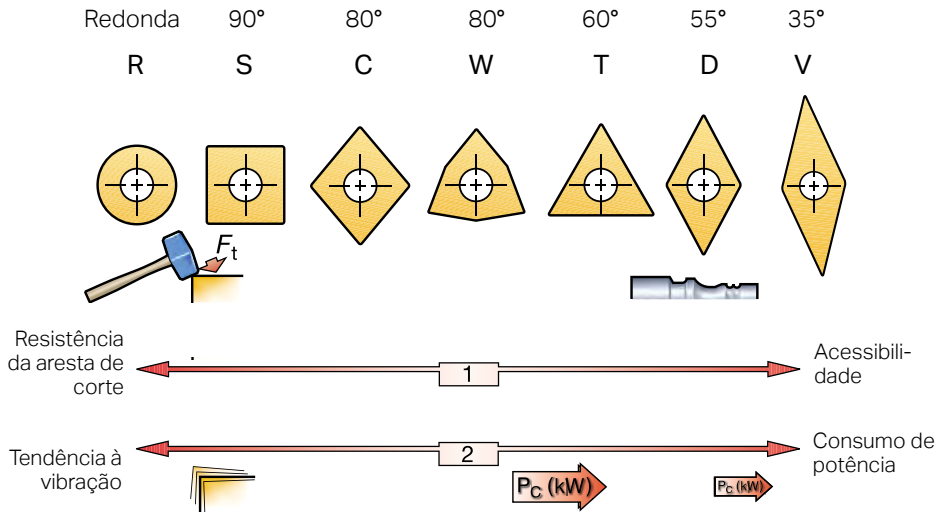
Cada formato tem propriedades exclusivas:

- algumas oferecem maior força para desbaste.
- outras oferecem melhores condições para perfilamento.

Cada formato também tem suas limitações exclusivas.

Por exemplo:

- alta acessibilidade da aresta durante a usinagem leva a arestas de corte mais fracas.



Ângulo da ponta grande








- Aresta de corte mais robusta
- Taxas de avanço mais altas
- Maiores forças de corte
- Maior vibração.

Ângulo da ponta pequeno

- Arestas de corte mais fracas
- Maior acessibilidade
- Forças de corte menores
- Menor vibração.

Fatores que afetam a escolha do formato da pastilha








O formato da pastilha deve ser selecionado em relação à acessibilidade do ângulo de posição (ataque) da ferramenta. O maior ângulo de ponta possível deve ser aplicado para propiciar resistência e confiabilidade à pastilha.

Formato da pastilha							
Robustez	++	++	++	+	+		
Desbaste leve/semi-acabamento		+	++	+	++	++	
Acabamento			+	+	++	++	++
Torneamento longitudinal			++	+	+	++	+
Perfilamento	+				+	++	++
Faceamento	+	++	++	+	+	+	
Versatilidade operacional	+		++	+	+	++	+
Potência limitada da máquina			+	+	++	++	++
Tendências à vibração				+	++	++	++
Materiais duros	++	++					
Usinagem intermitente	++	++	+	+	+		

++ = Mais adequado

+ = Adequado

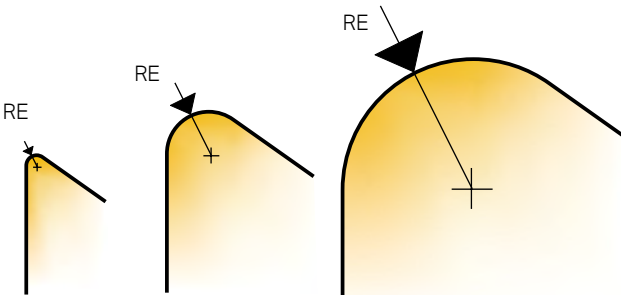
Número de arestas de corte

Formato da pastilha							
ISO (primeira letra)	R	S	C	W	T	D	V
Número de arestas, pastilhas negativas	8*	8	4	6	6	4	4
Número de arestas, pastilhas positivas	4*	4	2	3	3	2	2

*Dependendo de a_p

Seleção dos raios de canto

Efeitos de raios de ponta grandes e pequenos



Raio do canto pequeno

- Ideal para profundidades de corte pequenas
- Reduz as vibrações
- Aresta de corte fraca.

Raio do canto grande

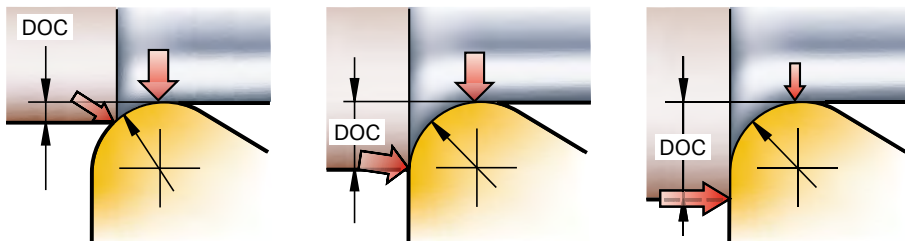
- Faixas de avanço pesadas
- Grandes profundidades de corte
- Segurança da aresta robusta
- Pressões radiais maiores.

Regra geral

A profundidade do corte não deve ser inferior ao raio de ponta (RE).

Um raio de ponta pequeno deve ser a primeira escolha

Com um raio de ponta pequeno, as forças de corte radiais podem ser mantidas em um mínimo enquanto faz uso das vantagens de um raio de ponta maior que leva a uma aresta de corte mais robusta, melhor textura superficial e pressão mais uniforme na aresta de corte.

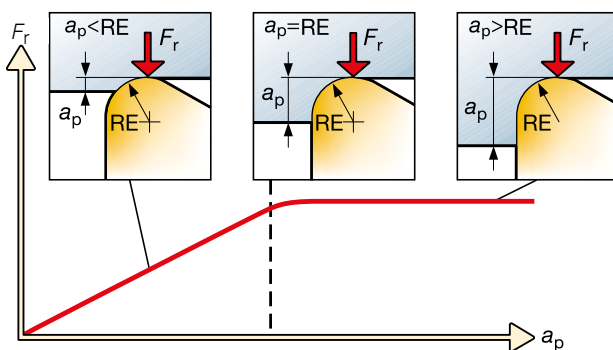


- A relação entre o raio de ponta e a profundidade de corte ($DOC = \text{Depth Of Cut}$) afeta a tendência a vibrações. Geralmente é vantajoso escolher um raio de ponta que seja menor que a profundidade de corte.

Efeito do raio de ponta e a profundidade de corte (DOC)

A força radial exercida sobre a peça aumenta linearmente até que o raio de ponta da pastilha seja menor do que a profundidade de corte onde ela estabiliza no valor máximo.

Entretanto, com uma pastilha redonda, a pressão radial nunca estabilizará porque o raio de ponta teórico é metade do diâmetro da pastilha (IC).

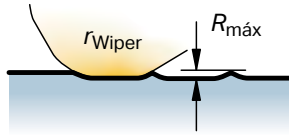


Torneamento com altos avanços e pastilhas Wiper

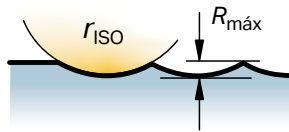
Wiper – Informações gerais



Pastilha Wiper (alisadora)



Pastilha convencional



Por que usar uma wiper

- Aumento do avanço e ganho de produtividade
- Use a faixa de avanço normal e ganhe em acabamento superficial.

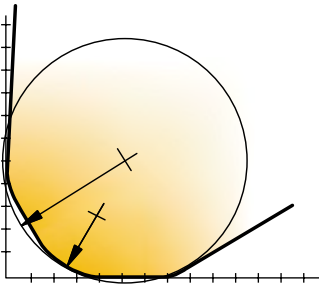
Quando usar Wipers

- Use Wipers como a primeira escolha, sempre que possível.

Limitações

- A limitação geral é vibração
- Visualmente, as superfícies podem parecer diferentes embora a superfície medida esteja ótima.

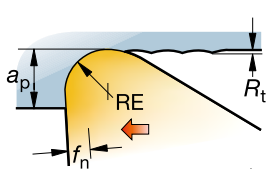
Wiper – Solução técnica



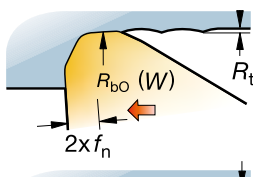
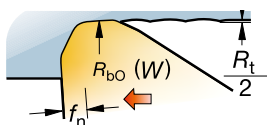
- Uma aresta de corte Wiper baseia-se em um raio de 3-9.
- A superfície de contato entre a pastilha e a peça é maior com as Wipers.
- A superfície de contato maior resulta em um acabamento superficial melhor.
- A superfície de contato maior aumenta as forças de corte o que torna a pastilha wiper mais sensível à vibração ao usinar peças instáveis.

Um raio de ponta convencional comparado a um raio de ponta Wiper.

Wiper – Acabamento superficial



Pastilha tradicional

Pastilha wiper duas vezes o avanço, mesmo R_a Pastilha Wiper mesmo avanço, metade de R_a

TECHNOLOGY
Wiper

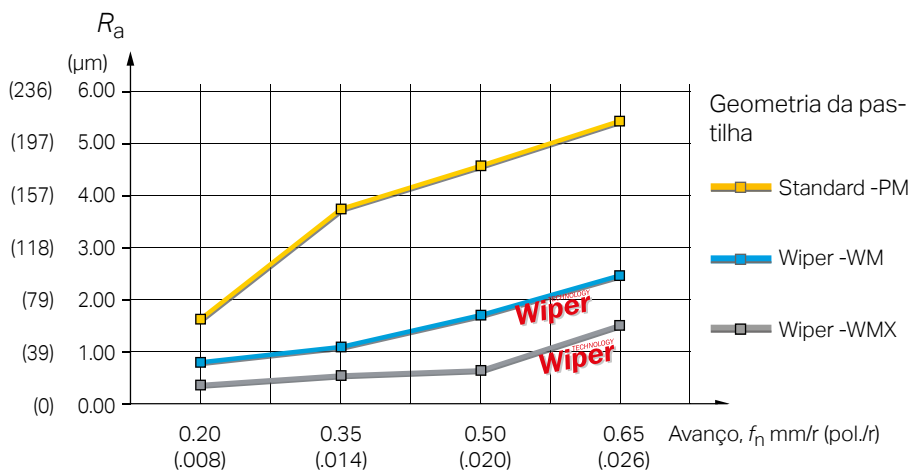
Regra geral

- Avanço duas vezes maior com a Wiper irá gerar acabamento superficial igual às geometrias convencionais com avanço normal.
- O mesmo avanço com um Wiper irá gerar acabamento superficial muito melhor se comparado com as geometrias convencionais.

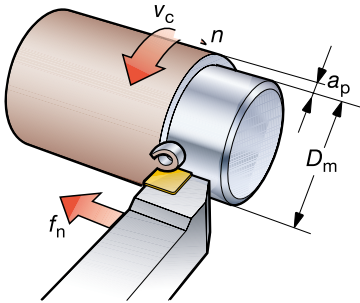
R_t = Valor máximo da altura do pico ao fundo

R_a = Altura média aritmética do perfil

Superfície alcançada – pastilhas ISO tradicionais e Wipers

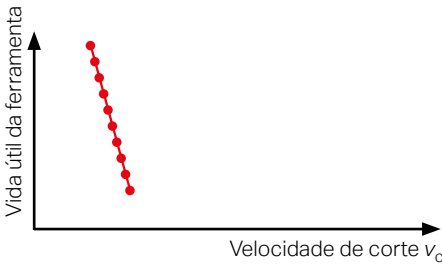


Os parâmetros dos dados de corte afetam a vida útil da ferramenta



Use o potencial de:

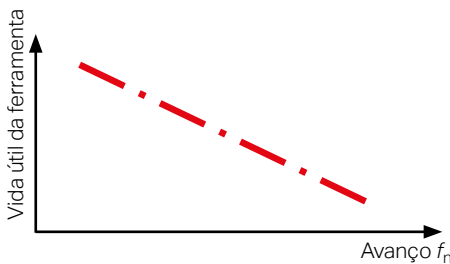
- a_p – para reduzir a quantidade de cortes
- f_n – para tempo de corte mais curto
- v_c – para melhor vida útil da ferramenta



Velocidade de corte

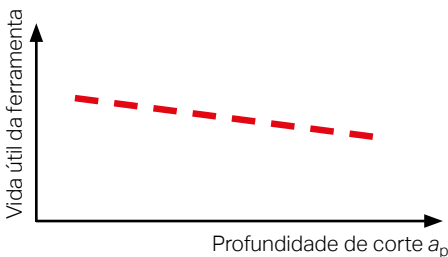
v_c – grande efeito na vida útil da ferramenta.

Ajuste v_c para melhor economia



Avanço

f_n – Afeta menos a vida útil da ferramenta que v_c

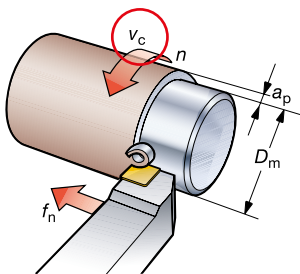


Profundidade de corte

a_p – pouco efeito na vida útil da ferramenta

Efeitos da velocidade de corte

O fator principal que determina a vida útil da ferramenta



Muito alta

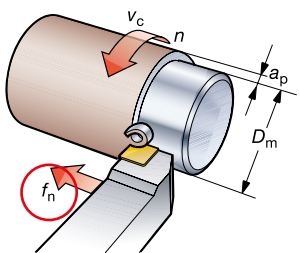
- Rápido desgaste de flanco
- Acabamento insatisfatório
- Craterização rápida
- Deformação plástica.

Muito baixa

- Arestas postiças (BUE)
- Não é econômico.

Efeitos da faixa de avanço

O fator principal que determina a produtividade



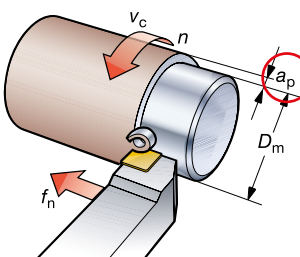
Muito alta

- Perda do controle de cavacos
- Acabamento superficial insatisfatório
- Craterização, deformação plástica
- Alto consumo de potência
- Soldagem/adesão de cavacos
- Martelamento do cavaco.

Muito baixa

- Cavacos em forma de fita
- Não é econômico.

Efeitos da profundidade de corte



Muito profunda

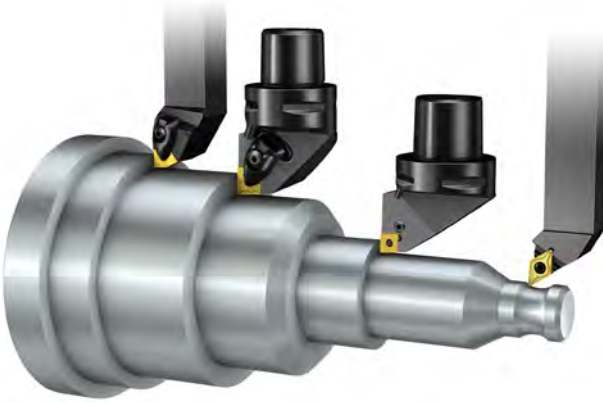
- Alto consumo de potência
- Quebra da pastilha
- Maiores forças de corte.

Muito pequena

- Perda do controle de cavacos
- Vibrações
- Calor excessivo
- Não é econômico.

Torneamento externo

Seleção da ferramenta e como aplicar

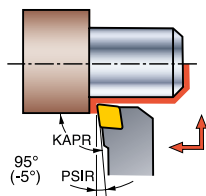


Orientações gerais

- A fixação da pastilha e do porta-ferramentas é um fator essencial para a estabilidade durante o torneamento.
- Os tipos de porta-ferramentas são definidos pelo ângulo de posição (ataque), a forma e o tamanho da pastilha usada.
- A seleção do sistema de porta-ferramentas baseia-se principalmente no tipo de operação.
- Outra seleção importante é o uso de pastilhas negativas comparado à pastilhas positivas.
- Sempre que possível escolha ferramentas modulares.

Quatro principais áreas de aplicação

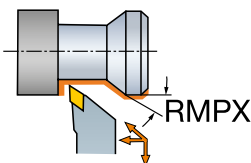
Torneamento/faceamento longitudinal



A operação de torneamento mais comum

- Geralmente é utilizada a pastilha de forma rômbrica estilo C (80°).
- Os suportes com ângulos de posição de 95° e 93° (ângulos de ataque de -5° e -3°) são os mais comumente usados.
- Alternativas para a pastilha estilo C são o estilo D (55°), estilo W (80°) e estilo T (60°).

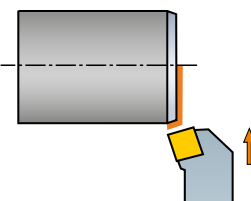
Perfilamento



Versatilidade e acessibilidade são fatores determinantes

- O ângulo de posição KAPR (ângulo de ataque PSIR) efetivo deve ser considerado para uma usinagem satisfatória.
- O ângulo de posição = 93° (ângulo de ataque is -3°) mais comumente usado porque ele permite um ângulo de cópia entre 22°-27°.
- Os formatos de pastilha mais comumente usados são as pastilhas estilo D (55°) e estilo V (35°).

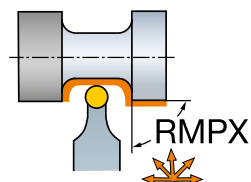
Faceamento



O avanço da ferramenta ocorre em direção ao centro

- Dê atenção à velocidade de corte, a qual irá mudar progressivamente quando o avanço vai em direção ao centro.
- Os ângulos de posição de 75° e 95°/91° (Ângulos de ataque de 15° e -5°/-1°) são os mais comumente usados.
- Geralmente são usadas pastilhas estilo C (80°) e estilo S (90°).

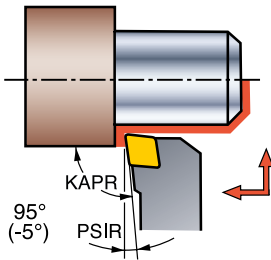
Usinagem de bolsões



Um método para produzir ou alargar canais rasos

- As pastilha redonda são muito úteis para o torneamento em mergulho, pois podem ser usadas para avanços radiais e axiais.
- Os suportes neutros de 90° para pastilhas redondas são os mais comumente usados.

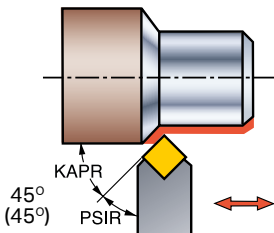
Ângulo de posição maior (ângulo de ataque menor)



Características e benefícios

- Forças de corte direcionadas ao mandril
- Podem ficar contrárias ao canto a 90 graus
- Forças de corte mais altas na entrada e saída do corte
- Tendência para entalhe no HRSA e em materiais duros.

Ângulo de posição pequeno (ângulo de ataque grande)



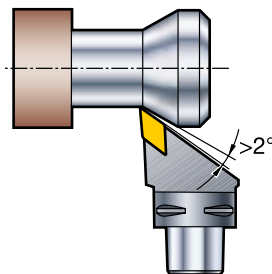
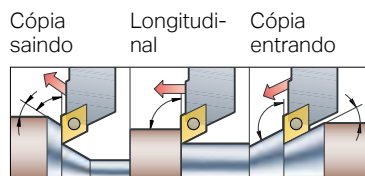
Características e benefícios

- Produz um cavaco mais fino
- Aumento da produtividade
- Redução no desgaste tipo entalhe
- Não podem ficar contrárias ao canto a 90 graus

O ângulo de posição e o ângulo de cópia

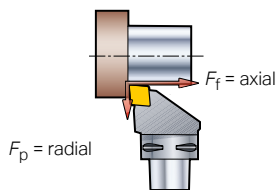
Consideração importante em torneamento de perfis

- Em torneamento de perfis, o corte pode variar em relação à profundidade de corte, espessura de cavaco e velocidade.
- O ângulo de ponta mais adequado na pastilha deve ser selecionado para resistência e boa relação custo/benefício, mas o ângulo de ponta da pastilha também deve ser considerado em relação à acessibilidade para uma folga adequada entre o material e a aresta de corte.
- Os ângulos de ponta mais comumente usados são 55° e 35° .
- O ângulo de posição, de ataque e o de ponta da pastilha são fatores importantes para acessibilidade. O perfil da peça deve ser analisado para selecionar o ângulo de cópia mais adequado.
- Deve-se considerar um ângulo de corte livre de pelo menos 2° entre a peça e a pastilha.

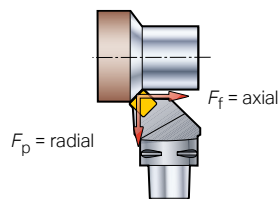


Forças de corte axiais e radiais

Ângulo de posição grande
(ângulo de ataque pequeno)


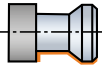











Ângulo de posição pequeno
(ângulo de ataque grande)



- As forças são direcionadas para o mandril. Menor tendência à vibração.
- Forças de corte mais altas, especialmente na entrada e saída do corte
- As forças são direcionadas axial e radialmente.
- Carga reduzida na aresta de corte.
- As forças são direcionadas axial e radialmente.
 - Tendência à vibração

A recomendação da pastilha depende da operação

Formato da pastilha	Torneamento longitudinal	Perfilamento	Faceamento	Usinagem de bolsões
++ = Recomendação + = Alternativa				
 Rômbica 80°	++		+	
 Rômbica 55°	+	++	+	
 Redonda	+	+	+	++
 Quadrado	+		++	
 Triangular	+	+	+	
 Trigonal 80°	+		+	
 Rômbica 35°		+		

Seleção do ângulo de folga da pastilha

Alavanca	Fixação rígida	Fixação por cunha	Fixação por parafuso	Conceito de fixação
				

Torneamento interno

Seleção da ferramenta e como aplicar



Orientações gerais

- No torneamento interno (operações de mandrilamento) a escolha da ferramenta é bastante restrita em função do diâmetro e do comprimento da peça.
 - Escolha o maior diâmetro da barra possível e o menor balanço possível
 - O escoamento de cavacos é um fator crítico para um mandrilamento bem-sucedido.
 - O método de fixação tem efeito decisivo no desempenho e no resultado
 - A aplicação de refrigeração pode melhorar o escoamento de cavaco.

Fatores de seleção

Ferramenta e geometria da pastilha

- Ângulo de posição (ataque)
- Formato da pastilha, negativa/positiva
- Geometria da pastilha
- Raio de ponta
- Raio de canto.

Escoamento de cavacos

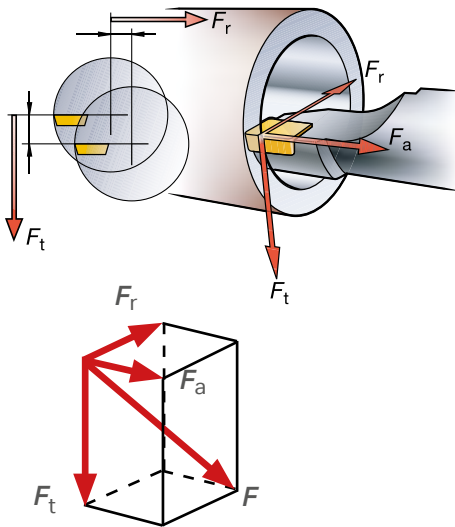
- Tamanho do cavaco
- Controle de cavacos
- Técnicas
- Refrigeração.

Especificações da ferramenta

- Comprimento reduzido
- Maiores diâmetros
- Formato otimizado
- Diferentes materiais da ferramenta
- Fixação
- Soluções antivibratórias.

Efeito das forças de corte no torneamento interno

As forças de corte radiais e tangenciais refletem na barra de mandrilar



Força de corte tangencial, F_t

- Força a ferramenta para baixo, distanciando da linha de centro
- Promove um ângulo de folga reduzido.

Força de corte radial, F_r

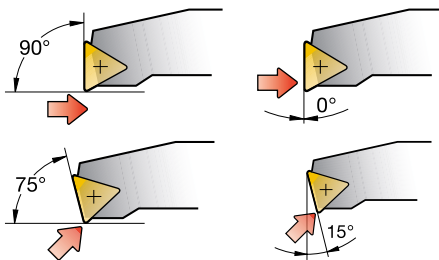
- Altera a profundidade de corte e a espessura de cavaco
- Sai da dimensão de tolerância e há risco de vibração.

Força de avanço, F_a

- Direcionada ao longo do avanço da ferramenta.

Seleção dos ângulos de posição (ataque)

Ângulo de posição (ataque) e forças de corte

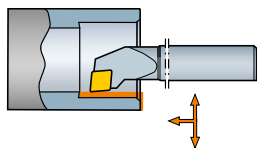


- Selecione um ângulo de posição próximo de 90° (ângulo de ataque próximo de 0°).

- Se possível, não escolha um ângulo de posição menor que 75° (ângulo de ataque de no máximo 15°), já que isto pode causar um aumento dramático na força de corte radial F_r .

- Força menor na direção radial = menos deflexão.

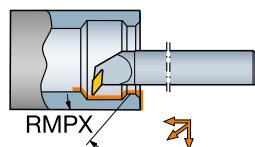
Quatro principais áreas de aplicação



A operação de torneamento interno mais comumente utilizada.

- Geralmente é utilizada a pastilha de forma rômbrica estilo C 80°.
- As barras de mandrilar com um ângulo de posição (ataque) de 95° (-5°) e 93° (-3°) são as mais comumente usadas.
- Os formatos de pastilha do estilo D 55°, estilo W 80° e estilo T 60° também são frequentemente utilizadas.

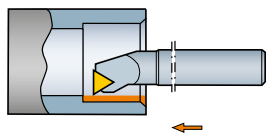
Perfilamento



Versatilidade e acessibilidade são fatores determinantes.

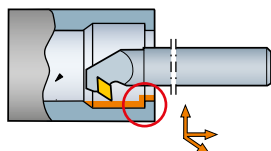
- O ângulo de posição, KAPR (ângulo de ataque, PSIR) efetivo deve ser considerado.
- Barras com um ângulo de posição (ataque) de 93° (-3°), que permitem um ângulo de cópia entre 22–27°, são as mais comumente usadas.
- As pastilha mais comumente usadas são as estilo D 55° e estilo V 35°.

Torneamento longitudinal



As operações de mandrilamento são realizadas para alargar os furos existentes.

- Recomenda-se um ângulo de posição (ataque) próximo a 90° (0°).
- Use o menor balanço possível.
- Geralmente são usadas pastilhas estilo C 80°, estilo S 90° e estilo T 60°.

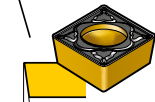
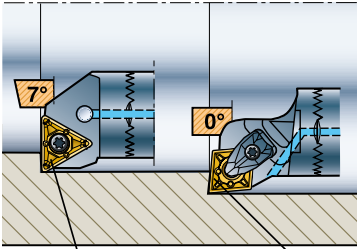


O mandrilamento reverso é uma operação de mandrilamento com avanço reverso.

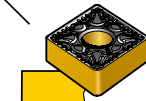
- Ele é usado para o torneamento de cantos com menos de 90°.
- Barras de mandrilar com ângulo de posição (ataque) 93° (-3°) e as pastilhas estilo D 55° são as mais comumente usadas.

Seleção do ângulo de folga da pastilha

As pastilhas positivas geram forças de corte e deflexão da ferramenta mais baixas



7°, pastilhas de face única, positivas



0° Pastilhas dupla face, negativas

- Pastilhas com ângulo de folga 7°
 - A primeira escolha para furos pequenos e médios com 6 mm (0,236 pol.) de diâmetro.
- Para melhor economia
 - Use pastilhas negativas em condições estáveis e com balanço curto.

A recomendação da pastilha depende da operação

Formato da pastilha	Torneamento longitudinal	Perfilamento	Faceamento
++ = Recomendação + = Alternativa			
Rômbica 80°	+		++
Rômbica 55°	+	++	+
Redonda	+		+
Quadrado	+		
Triangular	++		+
Trigonal 80°	+		+
Rômbica 35°		+	

Ângulo de ponta da pastilha

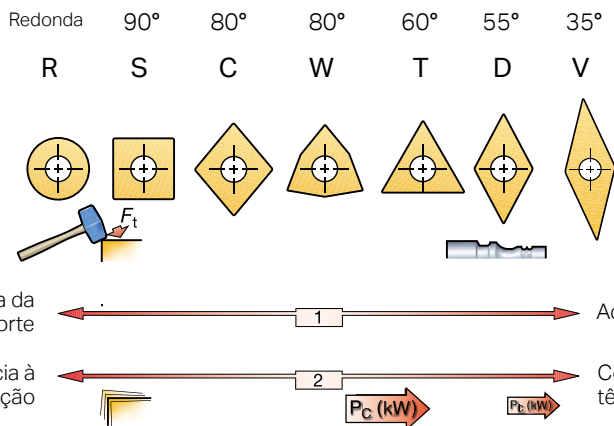
Ângulo da ponta grande:

- Aresta de corte mais robusta
- Taxa de avanço mais alta
- Maiores forças de corte
- Maior vibração

Ângulo da ponta pequeno:

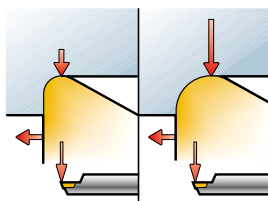
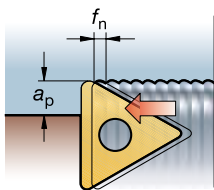
- Maior acessibilidade
- Menor vibração
- Diminui as forças de corte

Use o menor ângulo que forneça força aceitável e economia



Área do cavaco e raio de canto

Forças de corte e deflexão da ferramenta de corte



Regra geral!

Escolha um raio de ponta menor que a profundidade de corte.

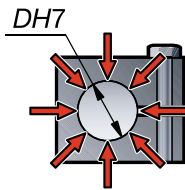
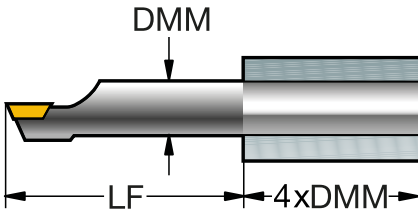
• Tanto uma área de cavaco pequena quanto uma grande podem causar vibração:

- Grande, devido às altas forças de corte
- Pequena, devido ao atrito muito alto entre a ferramenta e a peça.

- A relação entre RE (raio de ponta) e a_p (profundidade do corte) afeta as tendências à vibração.
- Força menor na direção radial = menos deflexão.

Fixação da barra de mandrilar

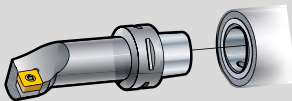
Fatores de estabilidade críticos para desempenho otimizado



- Contato máximo entre a ferramenta e o porta-ferramentas (desenho, tolerância dimensional).
- Comprimento da fixação 3 a 4 vezes o diâmetro da barra (para equilibrar as forças de corte).
- Robustez e estabilidade do suporte.

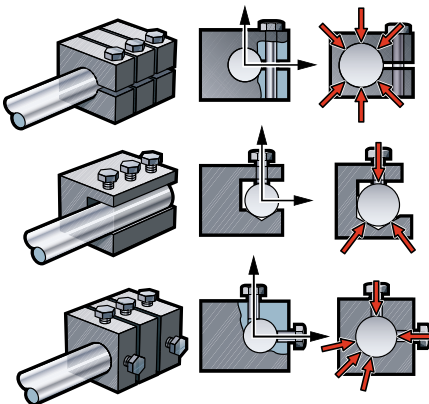
Especificações da ferramenta para fixação

Contato máximo entre a ferramenta e o porta-ferramenta



Acoplamento Coromant Capto®

Recomendação



Aceitável

Não recomendado

Não recomendado

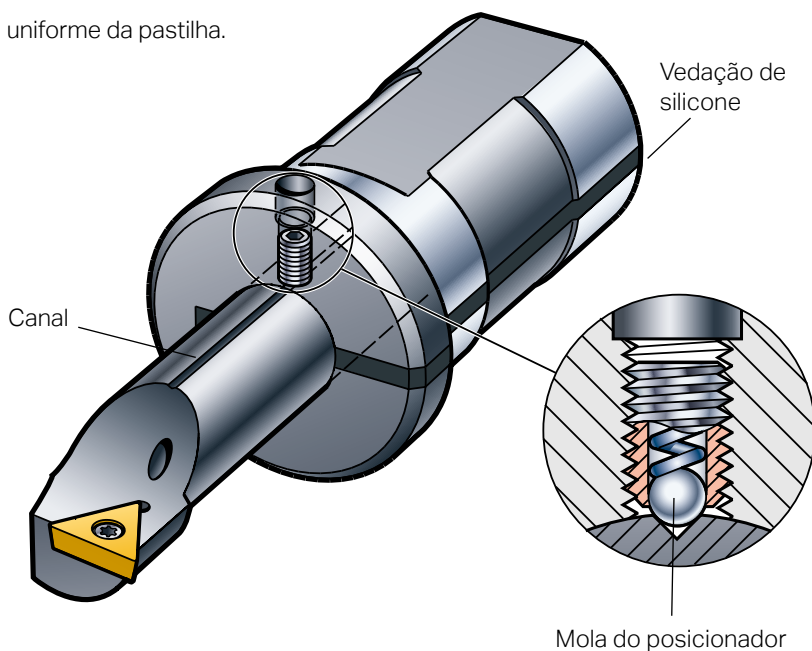
Buchas EasyFix

Para fixação correta de barras cilíndricas

Garante uma altura de centro correta

Benefícios:

- Aresta de corte na posição correta
- Melhor ação de corte oferece melhor acabamento superficial
- Tempo de preparação (set-up) reduzido
- Desgaste uniforme da pastilha.

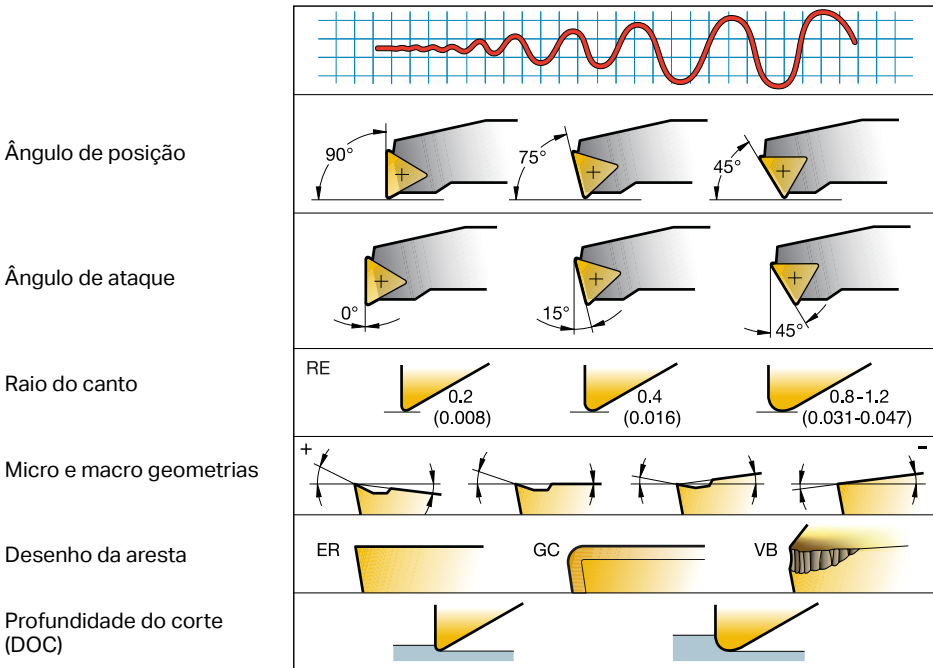


Um mecanismo de mola montado na bucha faz com que haja o posicionamento no canal da barra e garanta a altura de centro correta.

O canal na bucha cilíndrica é preenchido com silicone de vedação que permite o uso do sistema existente de fornecimento de refrigerante.

Fatores que afetam as tendências à vibração

As tendências à vibração crescem para a direita



Ângulo de ataque (posição)

- Escolha um ângulo de posição o mais próximo de 90° (ângulo de ataque próximo a 0°) possível, nunca inferior a 75° (maior que 15° para o ângulo de ataque).

raio de ponta

- Escolha um raio de ponta que seja um pouco menor do que a profundidade de corte.

Geometria micro e macro

- Use uma pastilha de formato básico, positiva, pois ela oferece forças de corte baixas comparado à pastilhas negativas.

Desenho da aresta

- O desgaste da pastilha muda a folga entre a pastilha e a parede do furo. Isto pode afetar a ação de corte e causar vibração.

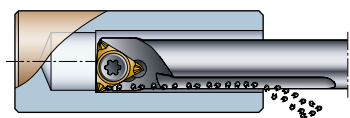
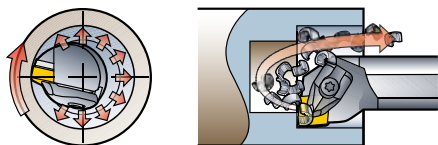
- Pastilhas com coberturas finas ou pastilhas sem cobertura, são as mais recomendadas por normalmente oferecem forças de corte baixas.

Profundidade do corte (DOC)

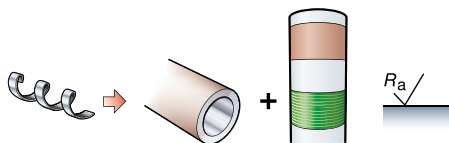
- Escolha um raio de ponta que seja um pouco menor do que a profundidade de corte.

Escoamento de cavacos

O escoamento de cavacos é um fator crítico para um mandrilamento bem-sucedido.



Controle de cavacos e escoamento de cavacos

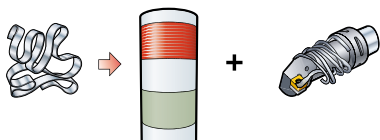


- A força centrífuga pressiona os cavacos dentro da parede do furo.

- Os cavacos podem danificar a parte interna do furo.

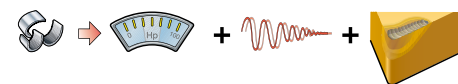
- A refrigeração interna pode ajudar no escoamento de cavaco.

- O mandrilamento invertido ajuda a manter os cavacos longe da aresta de corte.



Cavacos curtos e em espiral

- São os recomendados. Fácil de transportar e não causam muito estresse na aresta de corte durante a quebra de cavacos.



Cavacos longos

- Podem causar problemas de escoamento de cavaco.

- Causa pouca tendência à vibração, porém, em uma produção automatizada, causa problemas devido à dificuldades no escoamento de cavaco.

Dificuldade na quebra de cavacos, cavacos curtos

- Exige muita potência e pode aumentar a vibração.

- Pode causar craterização excessiva e resultar em vida útil insatisfatória da ferramenta e entupimento de cavaco.

Balanço da ferramenta recomendado

Balanço máximo para tipos diferentes de barras

Barra de aço
– até 4 x DMM

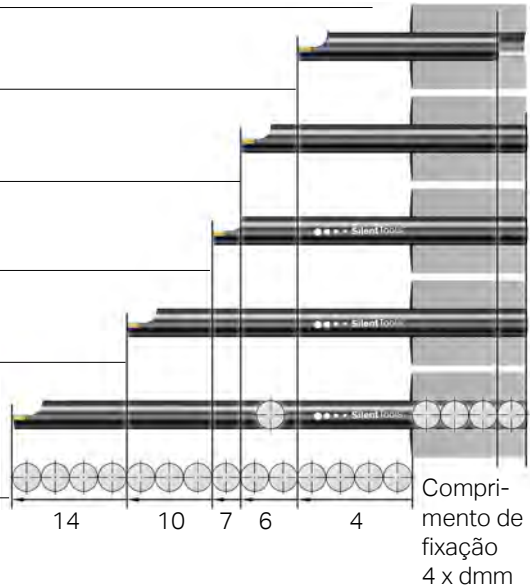
Barra de metal duro
– até 6 x DMM

Barra antivibratória curta
– até 7 x DMM

Barra antivibratória longa
– até 10 x DMM

Barra de mandril reforçada de metal duro
– até 14 x DMM

Balanço: ... x DMM



Elimine as vibrações

Usinagem interna com barras de mandril antivibratórias

- Aumenta a produtividade em furos profundos.
- Minimiza vibração.
- O desempenho da usinagem pode ser mantido ou aprimorado.
- As barras de mandril antivibratórias estão disponíveis em diâmetros de 10 mm (0,394 pol.).
- Para um balanço máx. de 14 x DMM (metal duro reforçado).

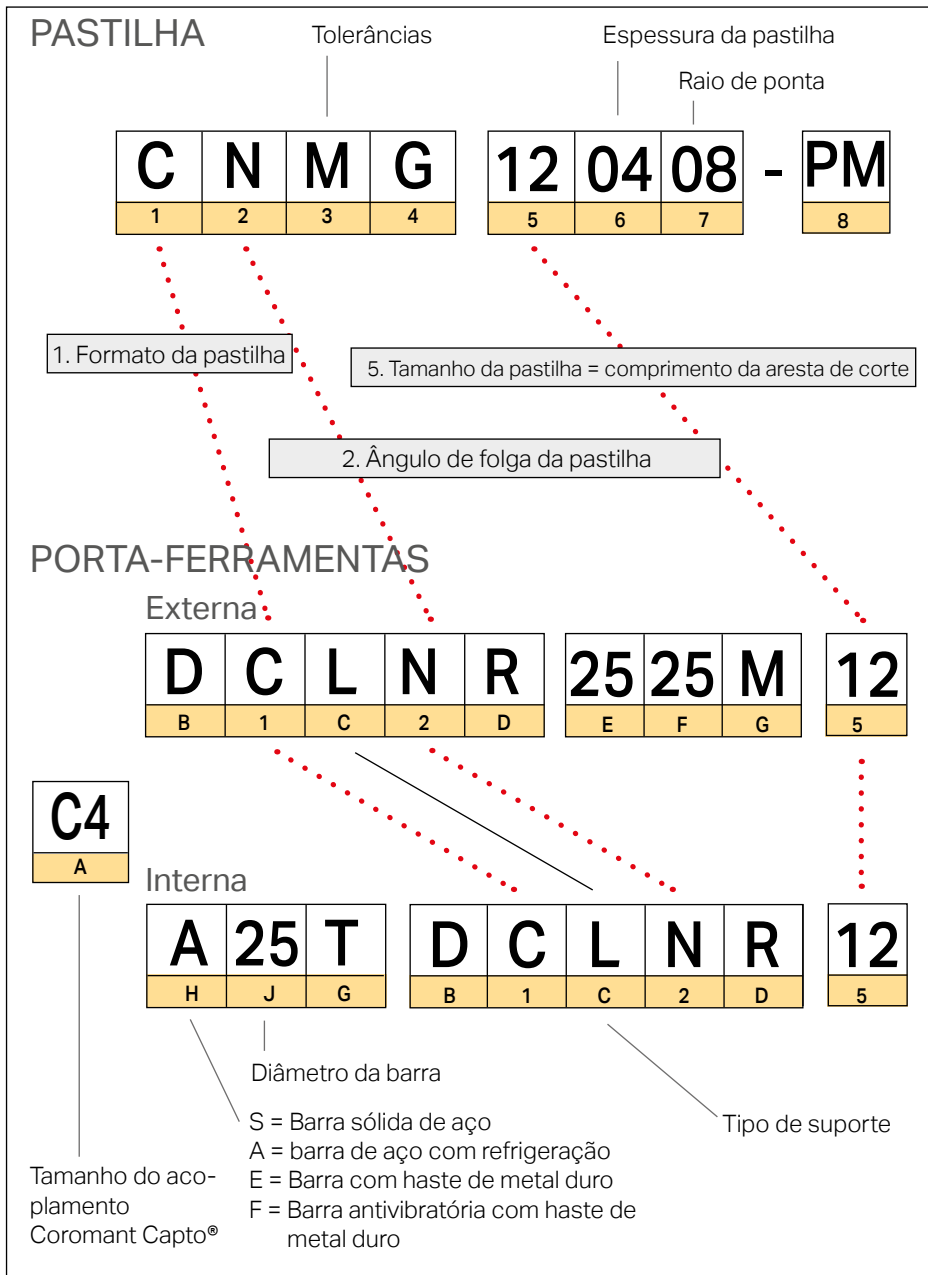


● ● ● ● SilentTools®



Chave de código para porta-ferramentas e pastilhas - MÉTRICO

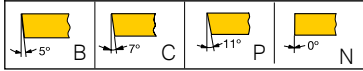
Extraído da norma ISO 1832:1991



1. Formato da pastilha



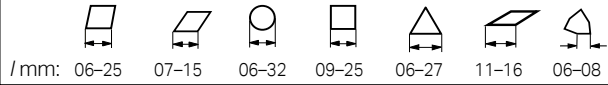
2. Ângulo de folga da pastilha



4. Tipo de pastilha



5. Tamanho da pastilha = comprimento da aresta de corte



7. Raio de ponta

	02 RE = 0.2
	04 RE = 0.4
	08 RE = 0.8
	12 RE = 1.2
	16 RE = 1.6
	24 RE = 2.4

Recomendações para primeira escolha do raio de ponta:

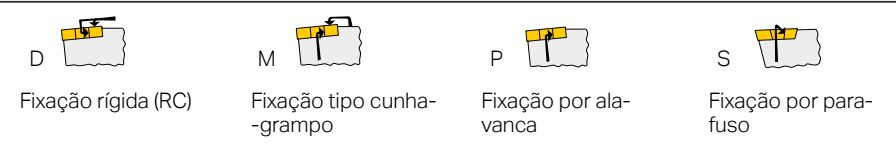
	T-MAX P	CoroTurn 107
Acabamento	08	04
Médio	08	08
Desbaste	12	08

8. Geometria — opção do fabricante

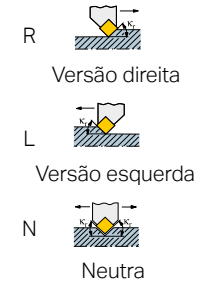
O fabricante pode acrescentar dois símbolos ao código descrevendo a geometria da pastilha, ex.:

- PF = ISO P Acabamento
- MR = ISO M Desbaste

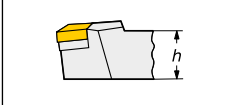
B. Sistema de fixação



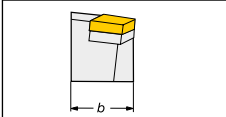
D. Versão da ferramenta



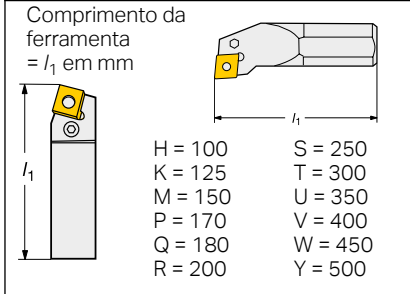
E. Altura da haste



F. Largura da haste

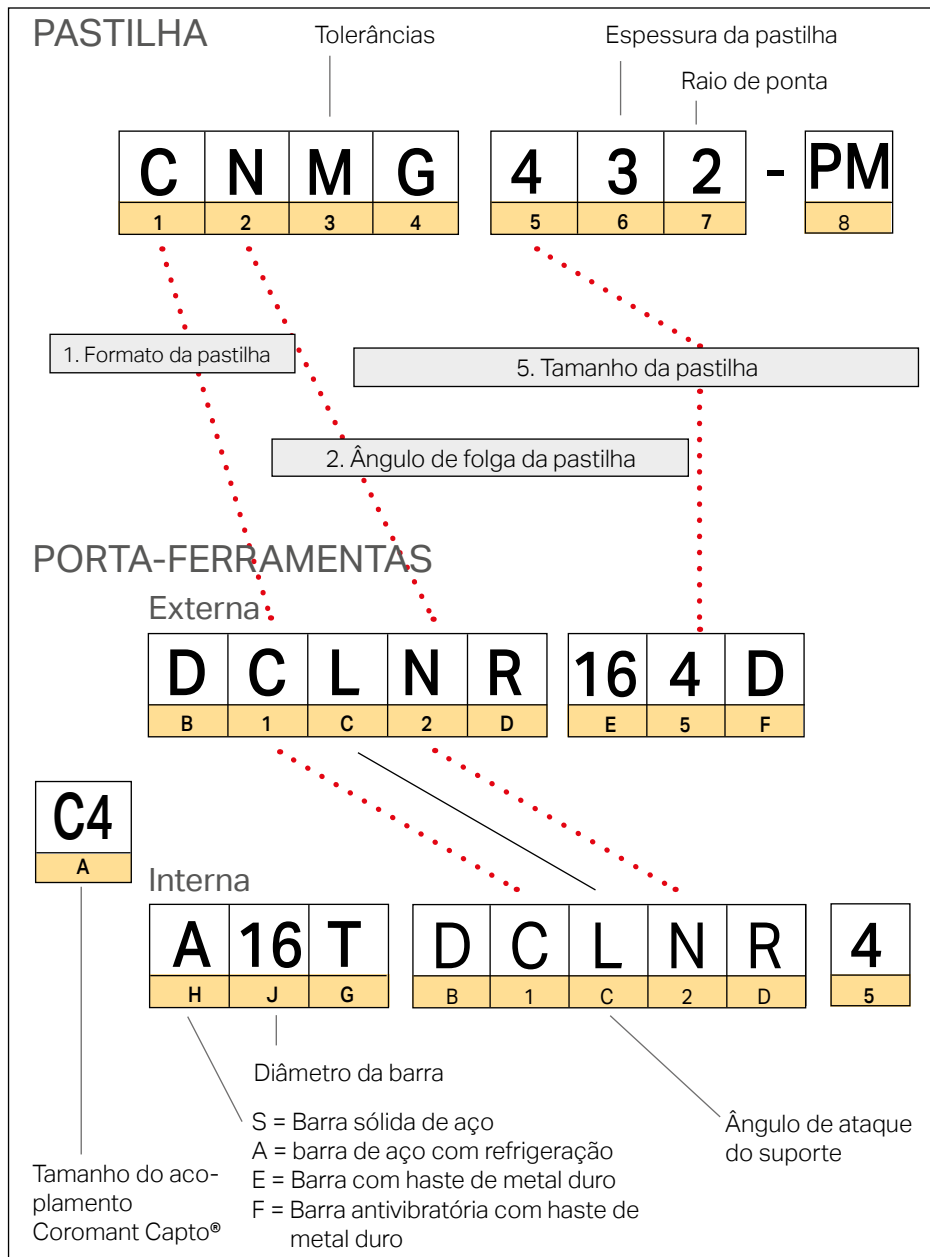


G. Comprimento da ferramenta



Chave de código para porta-ferramentas e pastilhas - POLEGADAS

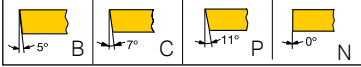
Extraído de normas ANSI/ISO



1. Formato da pastilha



2. Ângulo de folga da pastilha



4. Tipo de pastilha



5. Tamanho da pastilha

O círculo inscrito é indicado em 1/8".



7. Raio de ponta



0	RE = .008
1	RE = 1/64
2	RE = 1/32
3	RE = 3/64
4	RE = 1/16
6	RE = 3/32

Recomendações para primeira escolha do raio de ponta:

	T-MAX P	CoroTurn 107
Acabamento	2	1
Médio	2	2
Desbaste	3	2

8. Geometria — opção do fabricante

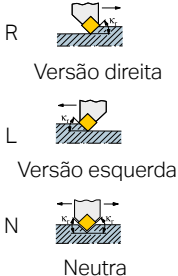
O fabricante pode acrescentar dois símbolos ao código descrevendo a geometria da pastilha, ex.:

- PF = ISO P Acabamento
- MR = ISO M Desbaste

B. Sistema de fixação



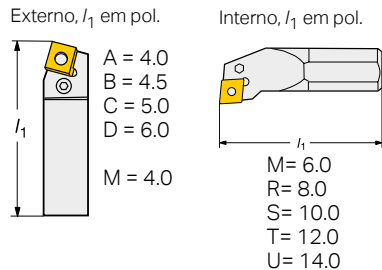
D. Versão da ferramenta



E. Tamanho da haste ou da barra



G. Comprimento da ferramenta



Problemas e soluções

Controle de cavacos

Problema

Cavacos emaranhados, longos e contínuos em volta da ferramenta ou das peças.

Causa

- Avanço muito baixo para a geometria escolhida.

Solução

- Aumente o avanço.
- Selecione uma geometria de pastilha com maior capacidade de quebra de cavacos.
- Use uma ferramenta com refrigeração de alta precisão.



- Profundidade de corte muito pequena para a geometria escolhida.

- Aumente a profundidade de corte ou selecione uma geometria com maior capacidade de quebra-cavacos.

- Raio de ponta muito grande.

- Selecione um raio de ponta menor.

- Ângulo de posição (ataque) inadequado.

- Selecione um suporte com o maior ângulo de posição (ângulo de ataque pequeno) possível $KAPR = 90^\circ$ ($PSIR = 0^\circ$).

Cavacos muito pequenos, que geralmente aderem uns aos outros, devido à quebra de cavacos ser muito difícil. A difícil quebra de cavacos geralmente resulta na redução da vida útil da ferramenta ou até na quebra de pastilhas, devido à de cavacos muito alta sobre a aresta de corte.

- Avanço muito alto para a geometria escolhida

- Escolha uma geometria desenhada para avanços mais altos, preferencialmente, uma pastilha de face única.
- Reduza o avanço.



- Ângulo de posição (ataque) inadequado.

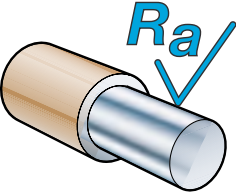
- Selecione um suporte com o um ângulo de posição pequeno (ângulo de ataque grande) possível $KAPR = 45-75^\circ$ ($PSIR = 45-15^\circ$).

- Raio de ponta muito pequeno.

- Selecione um raio de ponta maior.

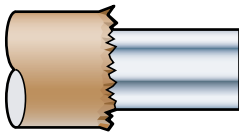


Acabamento superficial

Problema	Causa	Solução
A superfície apresenta arranhões e não atende às exigências de tolerância	<ul style="list-style-type: none"> Os cavacos quebram contra a peça e marcam a superfície acabada. 	<ul style="list-style-type: none"> Selecione uma geometria que afaste os cavacos da peça. Mude o ângulo de posição (ataque). Reduza a profundidade do corte. Selecione um sistema de ferramentas positivas com ângulo de inclinação neutro.
	<ul style="list-style-type: none"> Superfície rugosa causada pelo excesso de desgaste tipo entalhe na aresta de corte. 	<ul style="list-style-type: none"> Selecione uma classe com melhor resistência ao desgaste por oxidação, p. ex. uma classe de cermet.. Reduza a velocidade de corte.
	<ul style="list-style-type: none"> Avanço muito alto combinado ao raio de ponta muito pequeno gera uma superfície áspera. 	<ul style="list-style-type: none"> Selecione uma pastilha Wiper ou um raio de ponta maior. Reduza o avanço.

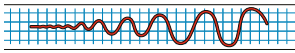
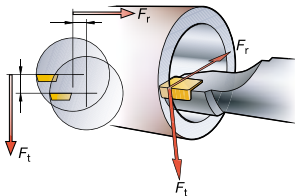
Formação de rebarbas

Formação de rebarbas na extremidade do corte quando a aresta de corte está saindo da peça.



- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> A aresta de corte não é viva o suficiente. Avanço muito baixo para o arredondamento da aresta. | <ul style="list-style-type: none"> Use pastilhas com arestas vivas: <ul style="list-style-type: none"> - Pastilhas com cobertura PVD. - pastilhas retificadas com faixas de avanço pequenas, < 0,1 mm/r (0,004 pol./r). |
| <ul style="list-style-type: none"> Desgaste tipo entalhe na profundidade de corte ou lascamento. | <ul style="list-style-type: none"> Use um suporte com um ângulo de posição pequeno (ângulo de ataque grande). |
| | <ul style="list-style-type: none"> Termine o corte com um chanfro ou um raio quando sair da peça. |

Vibração

Problema	Causa	Solução
<p>Altas forças de corte radiais devido a:</p>  <p>Vibrações ou marcas de vibrações causadas pelo ferreamento ou pela montagem da ferramenta. Comum em usinagem interna com barras de mandrilar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ângulo de posição (ataque) inadequado. • Raio de ponta muito grande. • Arredondamento de aresta inadequado ou chanfro negativo. • Desgaste excessivo do flanco na aresta de corte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Selecione o maior ângulo de posição (KAPR = 90°) possível ou o menor ângulo de ataque (PSIR = 0°) possível. • Selecione um raio de ponta menor. • Selecione uma geometria positiva ou uma classe com uma cobertura fina ou uma classe sem cobertura. • Selecione uma classe mais resistente ao desgaste ou reduza a velocidade.
<p>Forças de corte tangenciais elevadas devido a:</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • A geometria da pastilha está gerando altas forças de corte. • A quebra de cavacos é muito difícil devido às altas forças de corte. • Forças de corte variantes ou muito baixas devido à profundidade de corte pequena. • Ferramenta posicionada incorretamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Selecione uma pastilha de geometria positiva. • Reduza o avanço ou selecione uma geometria para altos avanços. • Aumente levemente a profundidade de corte para fazer o corte da pastilha. • Verifique a altura de centro.



Problema

Causa

Solução



- Instabilidade na ferramenta devido ao longo balanço.

- Reduza o balanço.
- Use uma barra com o maior diâmetro possível.
- Use uma Silent Tool ou uma barra de metal duro.

Torneamento

B

Cortes e canais

C

Rosqueamento

D

Fresamento

E

Furação

F

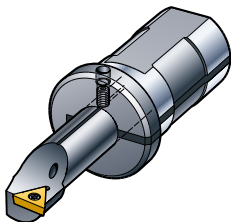
Mandrillamento

G

Sistemas de fixação

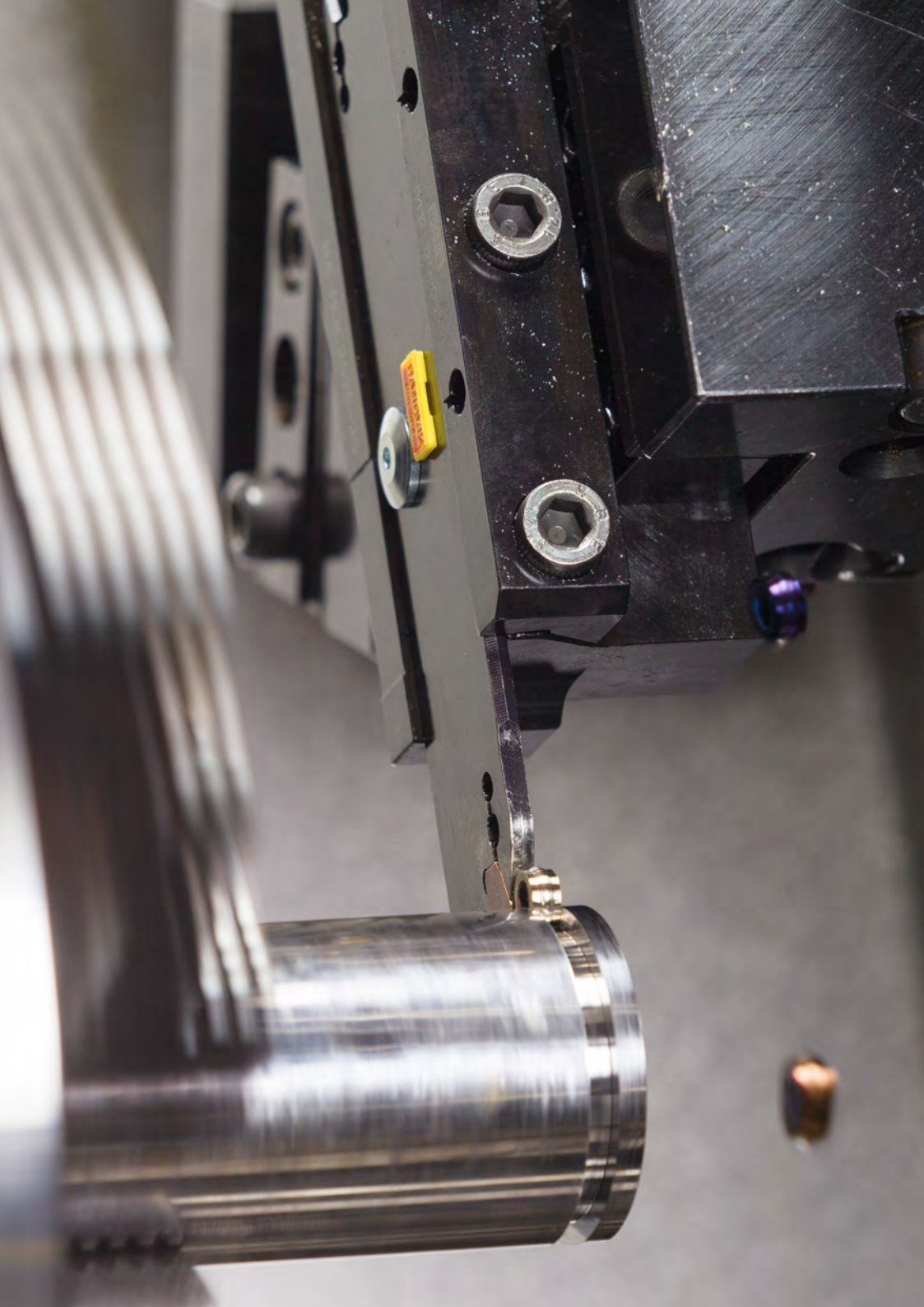
H

Usinabilidade
Outras informações



- A fixação instável oferece rigidez suficiente.

- Aumente o comprimento da fixação da barra de mandrilar.
- Use EasyFix para barras cilíndricas.



Cortes e canais

Cortes e canais é uma categoria do torneamento. Ela tem uma ampla gama de aplicações de usinagem que necessitam de ferramentas dedicadas.

Até certo ponto, estas ferramentas podem ser usadas para torneamento geral.

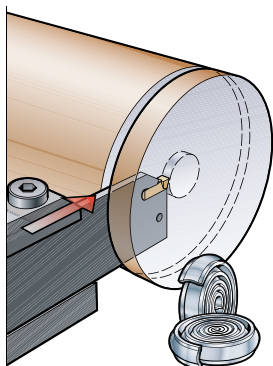
- Teoria B 4
- Procedimento para seleção B 7
- Visão geral do sistema B 11
- Cortes e canais – Como aplicar B 16
- Problemas e soluções B 37

Teoria sobre Cortes & Canais

Cortes

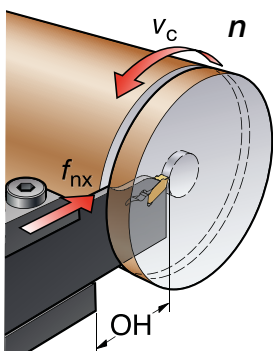
O escoamento de cavacos é essencial

O escoamento de cavaco é um fator crítico em operações de cortes. Há pouca oportunidade para quebra de cavacos em um espaço confinado à medida que a ferramenta faz o avanço mais profundo. Em geral, a aresta de corte é projetada para formar o cavaco de forma que ele possa ser escoado facilmente. As conseqüência de um escoamento de cavaco insatisfatório são obstrução do cavaco, resultando em acabamento superficial insatisfatório e entupimento de cavaco, causando a quebra da ferramenta.



- O escoamento de cavaco é um fator crítico em operações de cortes.
- A quebra de cavacos é difícil em canais confinados criados à medida que as ferramentas realizam o corte fundo na peça.
- Os cavacos típicos têm uma forma de mola de relógio, sendo menores do que o canal.
- A geometria da pastilha diminui a largura do cavaco.

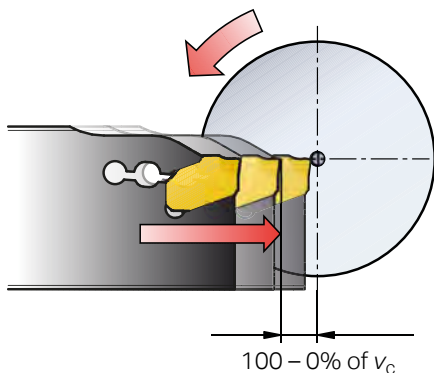
Corte – definição de termos



n = velocidade do fuso (rpm)
 v_c = velocidade de corte m/min (pés/min)
 f_{nx} = avanço do corte radial mm/r (pol./r)
 OH = balanço recomendado

Valor da velocidade de corte

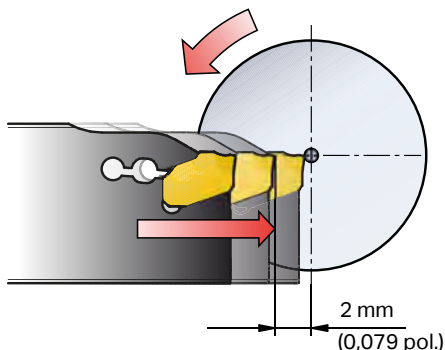
No corte para o centro, a velocidade de corte será gradualmente reduzida a zero quando a máquina atingir seu limite de rpm.



- A velocidade de corte é reduzida para zero no centro.

Redução de avanço em direção ao centro

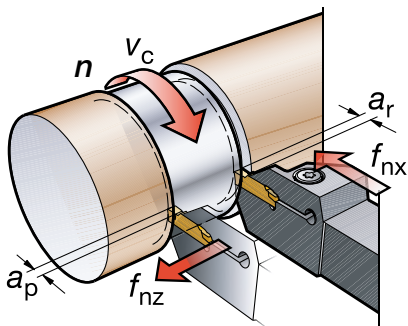
A velocidade de corte diminui em direção à linha de centro da peça, causando desequilíbrio. A faixa de avanço deve ser reduzida para manter o equilíbrio da força de corte durante o corte. A faixa de avanço deve ser reduzida ao mínimo recomendado ou a cerca de 0,05 mm/rot (0,002"/rot) a 2 mm (0,079") antes de atingir a linha central.



- Inicie o corte com a faixa de avanço recomendada, caixa de pastilha de referência
- Reduza o avanço para 0,05 mm/rot (0,002"), 2 mm (0,079") antes da linha central
- A redução do avanço diminui a vibração e aumenta a vida útil da ferramenta
- A redução do avanço também diminui o tamanho da saliência (pip).

Usinagem de canais – definição de termos

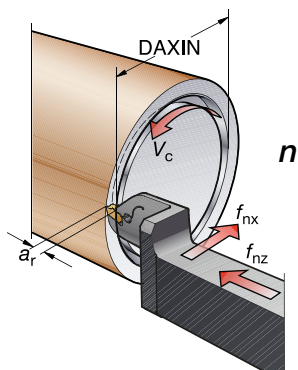
O movimento da ferramenta na direção X e Z é chamado de faixa de avanço (f_n) ou f_{nx}/f_{nz} , mm/r (pol./r). Ao avançar na direção do centro (f_{nx}), a rotação aumentará até que alcance o limite de rpm do fuso da máquina. Quando esse limite for ultrapassado, a velocidade de corte (v_c) diminuirá até alcançar 0 m/min (pés/min) no centro da peça.



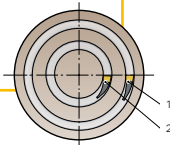
- n = velocidade do fuso (rpm)
- v_c = velocidade de corte m/min (pés/min)
- f_{nz} = avanço de corte axial mm/r (pol./r)
- f_{nx} = avanço do corte radial mm/r (pol./r)
- a_r = profundidade do canal mm (pol.)
(diâm. externo ao centro ou fundo do canal)
- a_p = profundidade de corte em torneamento

Usinagem de canais frontais – definição de termos

O avanço tem grande influência na formação, quebra e espessura dos cavacos, bem como na maneira como os cavacos se formam na geometria da pastilha. No perfilamento ou torneamento lateral (f_{nz}), a profundidade de corte (a_p) também influenciará na formação do cavacos. O diâmetro do canal para o primeiro corte deve estar dentro da faixa especificada no porta-ferramentas usado.

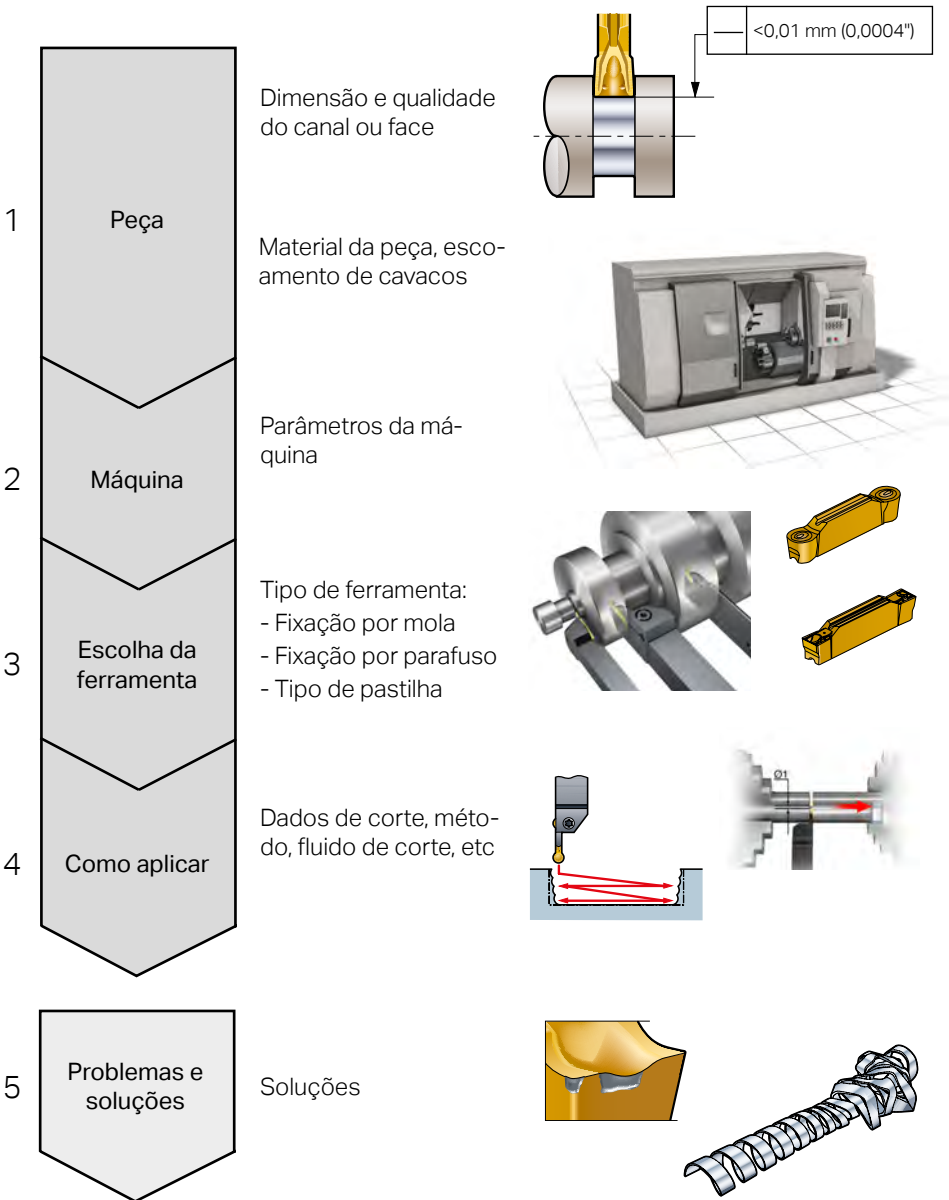


- n = velocidade do fuso (rpm)
- v_c = velocidade de corte m/min (pés/min)
- f_{nz} = avanço de corte axial mm/r (pol./r)
- f_{nx} = avanço do corte radial mm/r (pol./r)
- a_r = profundidade do canal mm (pol.)
- DAXIN = diâmetro mínimo do primeiro canal (2 nesta ilustração)
- DAXX = diâmetro máximo do primeiro canal (1 nesta ilustração)



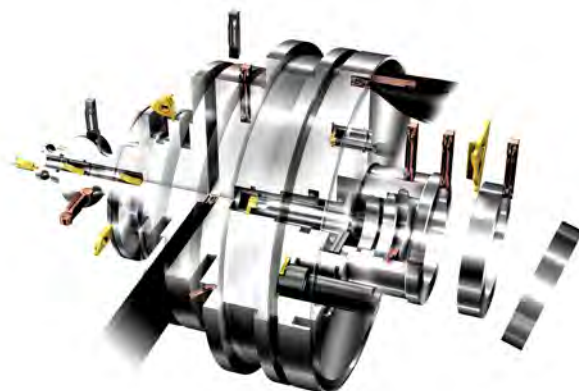
Procedimento para seleção da ferramenta

Processo de planeamento de produção



1. Peça e material da peça

Parâmetros a serem considerados



Peça

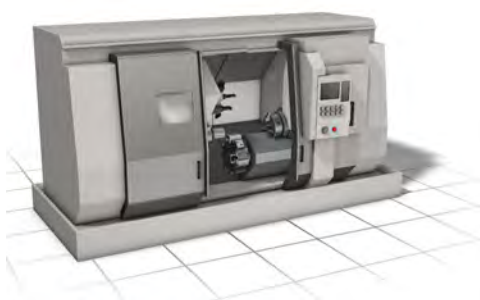
- Analise as dimensões a as exigências de qualidade do canal ou da face a ser usinada
- Tipo de operação: cortes e canais
- Profundidade de corte
- Largura de corte
- Raio de canto.

P	M	K
N	S	H

Material

- Usinabilidade
- Quebra de cavacos
- Dureza
- Elementos da liga.

2. Parâmetros da máquina



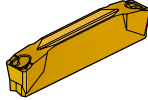
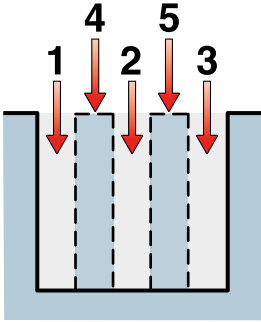
Considerações importantes sobre a máquina :

- Estabilidade, potência e torque, especialmente para diâmetros maiores
- Fixação da peça
- Interface da torre
- Tempo de troca de ferramenta/número de ferramentas na torre
- Escoamento de cavaco
- Fluido de corte e refrigeração.

3. Escolha da ferramenta

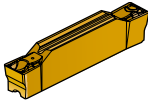
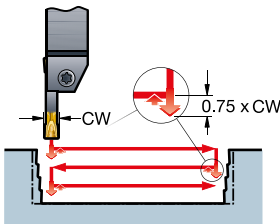
Exemplo de métodos de usinagem diferentes

Usinagem de canais múltiplos



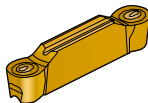
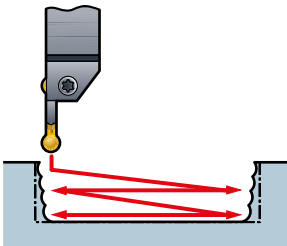
- Canais múltiplos é o melhor método para o desbaste de canais quando a profundidade é maior do que a largura.
- Faça uma "forquilha". Isto melhorará o fluxo de cavaco e aumentará a vida útil da ferramenta.

Torneamento em mergulho



- O torneamento em mergulho é a melhor escolha para a usinagem de aço e aço inoxidável e quando a largura do canal é maior do que a profundidade
- Bom controle de cavacos.

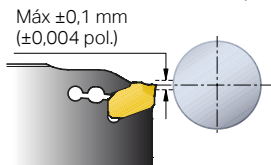
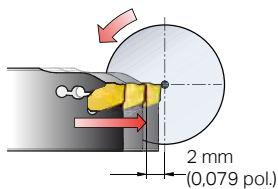
Usinagem em rampa



- A usinagem em rampa evita vibração e minimiza as forças radiais.
- As pastilhas redondas são as mais fortes disponíveis.
- O dobro do número de cortes/passes.
- Primeira escolha em superligas resistentes ao calor (HRSA). Reduz o desgaste tipo entalhe

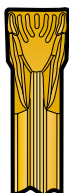
4. Como aplicar

Considerações sobre a aplicação



5. Problemas e soluções

Algumas áreas a considerar



- A altura de centro é importante, $\pm 0,1$ mm ($\pm 0,004$ pol.)
- Faixa de avanço recomendada de 0,05 mm (0,002 pol.) / rot aproximadamente 2 mm (0,079 pol.) antes do centro.
- Use o balanço mais curto possível, OH mm (pol.).
- Maior dimensão de altura na lâmina para rigidez à curvatura.
- Use refrigeração para melhorar o fluxo de cavaco.

Desgaste da pastilha e vida útil da ferramenta

- Verifique o padrão de desgaste e, se necessário, ajuste os dados de corte de acordo.

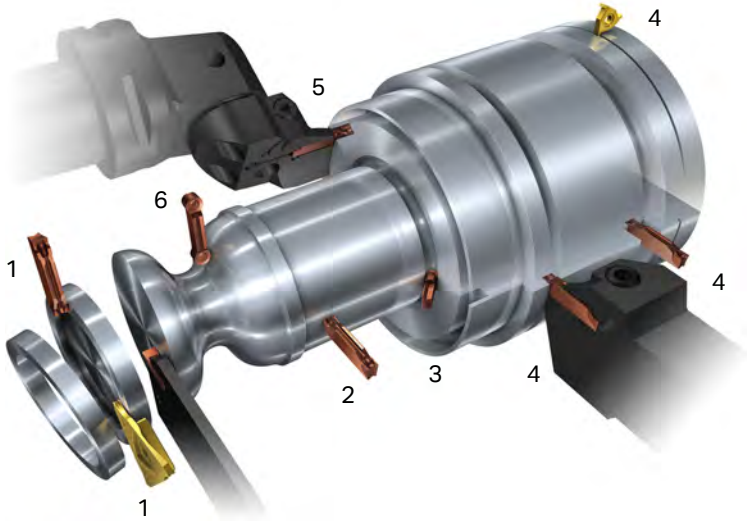
Para melhorar a formação de cavacos e o desgaste da ferramenta

- Use o formador de cavacos recomendado.
- Use ângulo frontal neutro.
- Verifique a altura de centro.
- Use fluido de corte.

Visão geral do sistema

Cortes e canais externos

1. Corte de barras e tubos inteiriços
2. Torneamento e recessos
3. Saída para retífica
4. Usinagem de canais profundos e rasos
5. Usinagem de canais frontais
6. Perfilamento







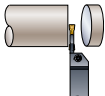




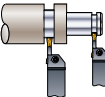



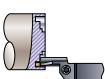



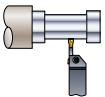


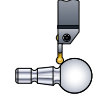


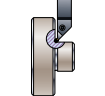


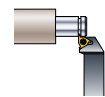





Usinagem de canais internos

1. Canais e pré-corte
2. Usinagem de canais frontais
3. Perfilamento



Sistemas diferentes

Tipo de pastilha							
		CoroCut2	CoroCut1	CoroCut3	CoroCut QD	CoroCut QF	Circlip 266
Aplicação							
Corte (Cut off)							
Usinagem de canais							
Usinagem de canais frontais							
Torneamento							
Perfilamento							
Saídas para retífica							
Usinagem de canais circlip							



Primeira escolha



Segunda escolha

Cortes e canais externos

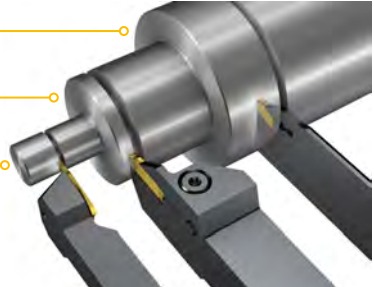
Sistemas diferentes

Corte externo – faixas de diâmetro

Corte profundo – $\varnothing < 160$ mm (6,299")

Corte médio – $\varnothing < 40$ mm (1,575")

Corte raso – $\varnothing < 12$ mm (472")



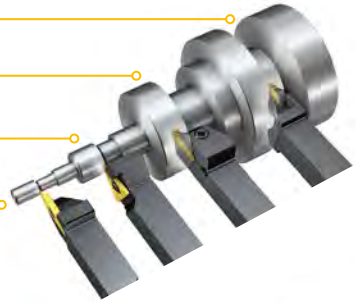
Canais – faixas profundas

Usinagem de canais profundos – profundidade < 100 mm (3,937")

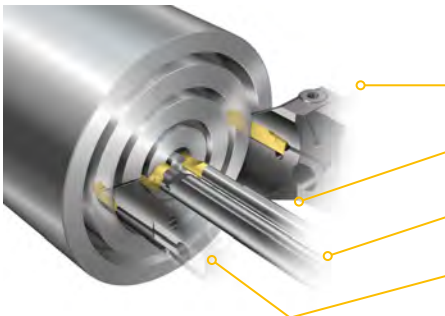
Usinagem de canais médios – profundidade < 50 mm (2,000")

Usinagem de canais rasos – profundidade < 6 mm (236")

Usinagem de canais rasos – profundidade < 3,7 mm (0,146")



Usinagem de canais frontais – faixas de diâmetro



Diâmetros grandes > 34 mm (1,338")

Pequenos diâmetros > 0,2 mm (0,0078")

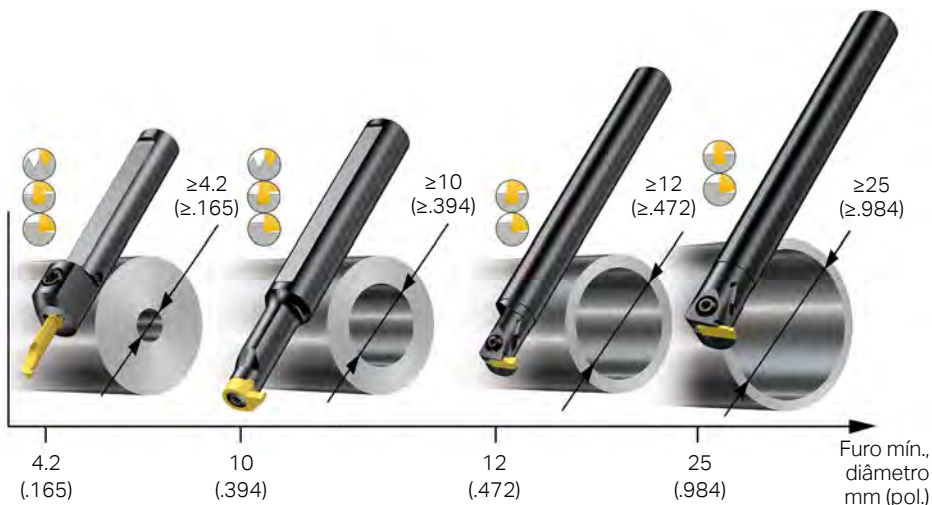
Pequenos diâmetros > 6 mm (0,236")

Diâmetros médios e grandes > 16 mm (0,629")

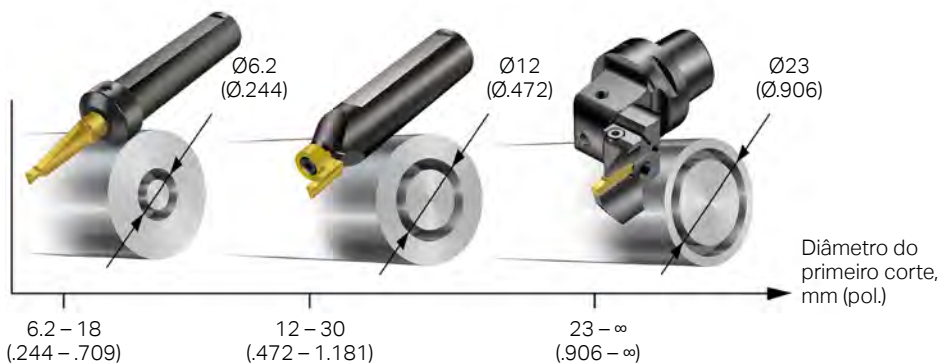
Cortes e canais internos

Sistemas diferentes

Usinagem de canais internos - diâmetro mínimo do furo

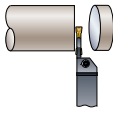
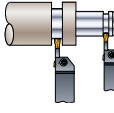
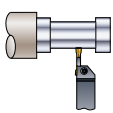
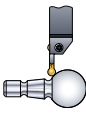
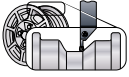
















Usinagem de canais frontais - faixa de diâmetro do furo



Pastilhas

Visão geral da geometria

Aplicação Condição de usinagem	 Corte (Cut off)	 Usinagem de canais	 Torneamento	  Perfilamento	
Acabamento	CF 	GF 	TF 		
Médio	CM 	GM 	TM 	RM 	AM 
Desbaste	CR 				
Otimizador				RO 	
	CS 			RS 	
		GE 		RE 	



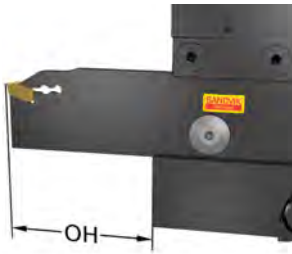
Cortes e canais e como aplicar

- Cortes e canais e como aplicar B 17
- Corte e como aplicar B 22
- Canais gerais e como aplicar B 26
- Usinagem de canais circlip e como aplicar B 28
- Usinagem de canais frontais e como aplicar B 29
- Perfilamento e como aplicar B 32
- Torneamento e como aplicar B 34
- Saída para retífica e como aplicar B 36

Balanço da ferramenta e deflexão da peça

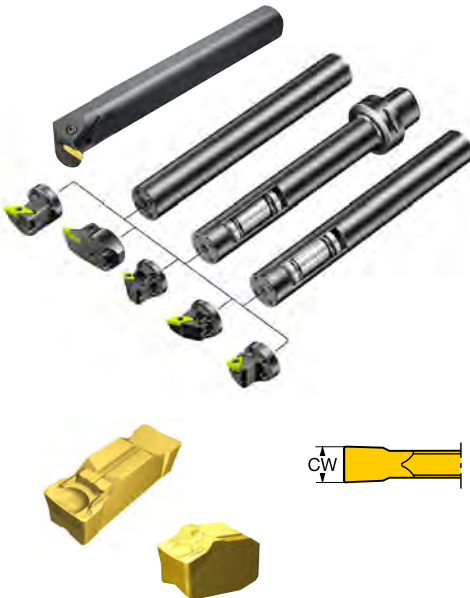
O balanço da ferramenta deve sempre ser minimizado para melhorar a estabilidade. Em operações de cortes e canais, é necessário refletir sobre a profundidade de corte e a largura do canal, o que significa que a estabilidade muitas vezes fica comprometida para que se possa atender as exigências de acessibilidade.

Melhor estabilidade



- O balanço (OH) deve ser o menor possível
- Tamanho maior do assento deve ser usado

Usinagem interna



Tipo de haste:

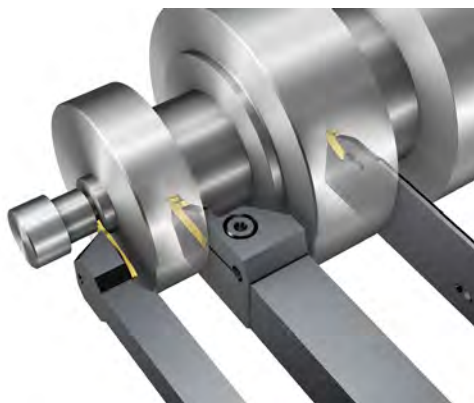
- Barras de aço $\leq 3 \times \text{DMM}$
- Barras de aço antivibratórias $\leq 5 \times \text{DMM}$
- Barras de metal duro $\leq 5 \times \text{DMM}$
- Barras de metal duro reforçado, antivibratórias, até $7 \times \text{DMM}$.

Pastilhas:

- Use as menores larguras possíveis
- Use geometrias de corte leve

Parâmetros de seleção do porta-ferramenta

Considerações sobre o sistema



Cortes profundos

Cortes rasos

Cortes médios

Cortes profundos

- As lâminas com fixação por mola e pastilhas de aresta única são a primeira escolha.

Cortes médios

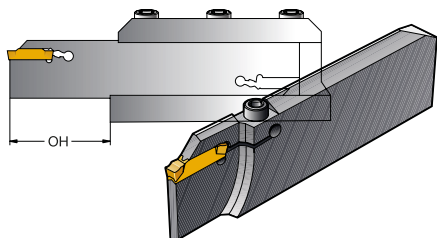
- A primeira escolha para cortes médios são os suportes com pastilhas de duas arestas

Cortes rasos

- Use a pastilha de 3 arestas para obter um corte econômico na produção em massa.

Considerações gerais sobre o porta-ferramenta

Bloco da ferramenta com lâmina com fixação por mola para o ajuste do balanço da ferramenta.



- O balanço mais curto possível, OH mm (pol.)
- Haste máxima do porta-ferramentas
- Maior dimensão de altura
- Máxima largura da lâmina.

Lâminas com desenho para fixação por mola



Características e benefícios

- Trocas de pastilha mais rápidas
- Corte de diâmetros maiores
- Ajustabilidade
- Usinagem de canais profundos
- Extremidade dupla
- Somente avanço radial
- Refrigeração de precisão

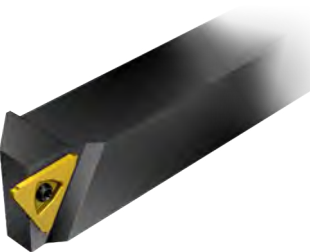
Suportes com projeto de fixação por parafuso e com trava por mola



Características e benefícios

- Diâmetros menores
- Canais rasos
- Avanço radial e axial
- Rigidez ampliada
- Extremidade simples
- Refrigeração de precisão

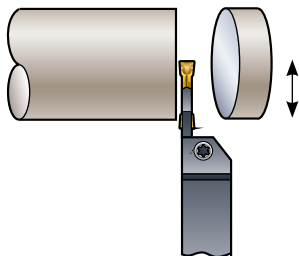
Suportes com fixação por parafuso para pastilhas de três arestas



Características e benefícios

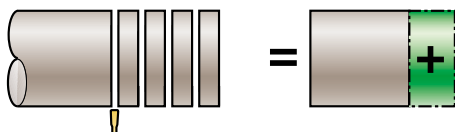
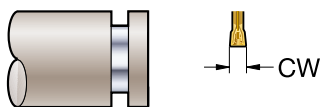
- Larguras de pastilhas extremamente pequenas
 - para canais de até 0,5 mm (0,020")
 - cortes de até 1 mm (0,039").
- Profundidade de corte de até 6 mm (0,236").
- Um suporte para todas as larguras de pastilhas.
- Tolerância de indexação de pastilha bastante apertada.
- A opção em produtividade, com 3 arestas de corte.

Corte de barras

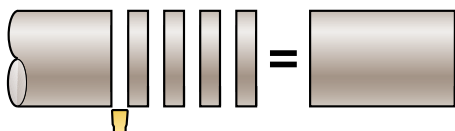


Use a pastilha mais estreita possível:

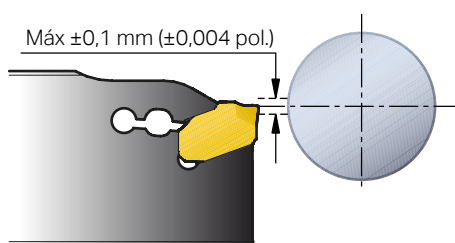
- Para economizar material
- Minimizar forças de corte
- Minimizar a poluição ambiental.



Economia de materiais



Posicionamento da ferramenta



Use um desvio máximo de $\pm 0,1$ mm ($\pm 0,004$ pol.) da linha central.

Aresta de corte muito alta

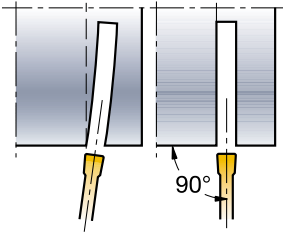
- A folga diminuirá.
- A aresta de corte esfregará (quebra)

Aresta de corte muito baixa

- A ferramenta deixará o material no centro (pip).



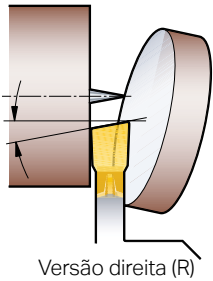
► Posicionamento da ferramenta



Montagem do porta-ferramentas em 90°

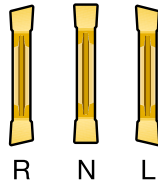
- Superfície perpendicular
- Reduza as vibrações.

Versão da pastilha



Versão direita (R)

Versão da pastilha



R

N

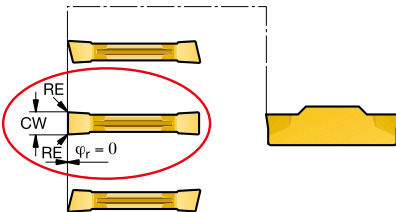
L

Três tipos de pastilha com ângulos de posição diferentes:

- Versão direita (R)
- Neutro (N)
- Versão esquerda (L)

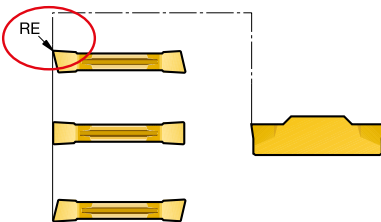
Geometria da pastilha

Ângulo de posição neutro



- Aumenta resistência
- Avanço/productividade maiores
- Melhor acabamento superficial
- Corte reto
- A saliência fica na parte cortada.

Raios de canto pequenos/grandes



Raio do canto pequeno

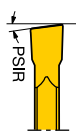
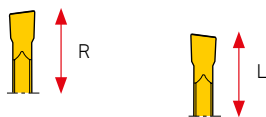
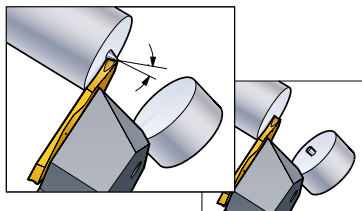
- Saliências menores
- Melhor controle de cavacos
- Baixa faixa de avanço.

Raio do canto grande

- Aumento da faixa de avanço
- Vida útil da ferramenta mais longa.

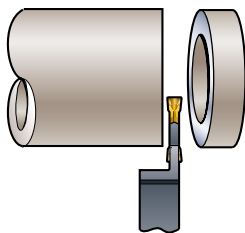
Cortes

Redução de pip utilizando-se ângulos frontais diferentes



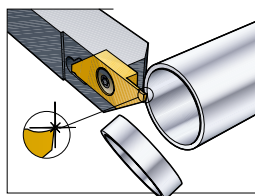
Exemplos de ângulos frontais em pastilhas de 1, 2 e 3 arestas:
 KAPR = 95°, 98°, 100°, 102°, 105°, 110°
 (PSIR = 5°, 8°, 10°, 12°, 15°, 20°)

Corte de tubos



Use a pastilha com a menor largura possível (CW) para economizar material, minimizar a força de corte e o impacto ambiental.

Corte em tubos de paredes finas



Certifique-se de que sejam geradas as forças de corte mais baixas possíveis. Use pastilhas com a menor largura possível e arestas de corte vivas.

- Escolha ângulo frontal esquerdo ou direito para controle de saliência ou rebarbas.
- Quando o ângulo frontal:
 - aumenta, a saliência/rebarba diminui
 - diminui, o controle de cavacos e a vida útil da ferramenta são aprimorados.
- A força centrífuga irá sempre empurrar para longe a parte cortada da peça
 - A ferramenta sairá do material no centro (saliência).

NOTA!

Uma pastilha com ângulo frontal oferece controle de cavacos reduzido devido à direção do fluxo de cavaco. (Uma pastilha neutra direciona o cavaco diretamente para fora do canal).

Escolha da ferramenta - Revisão



Recomendações gerais

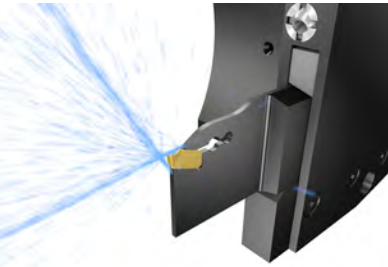
- Pastilhas neutras
- A menor largura de pastilha possível
- O maior porta-ferramentas possível.

Considere:

- Profundidade de corte
- Largura da pastilha
- Ângulo frontal
- Raio de canto.

Use fluido de corte

O fluido de corte tem uma função importante porque os cavacos com frequência restringem e obstruem o espaço. Portanto, é essencial que a refrigeração de precisão seja usada sempre em quantidades abundantes e seja direcionada para a aresta de corte durante toda a operação.



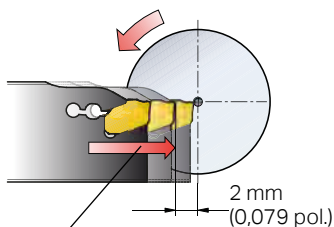
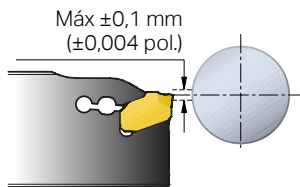
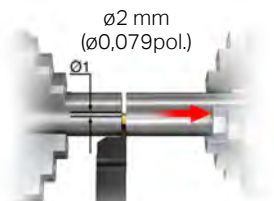
Aplicar

- Use quantidades abundantes
- Diretamente na aresta de corte
- Refrigeração de precisão.

Resultado:

- Efeito positivo na formação de cavacos
- Evita o entupimento de cavacos
- Aumenta a vida útil da ferramenta.

Dicas práticas

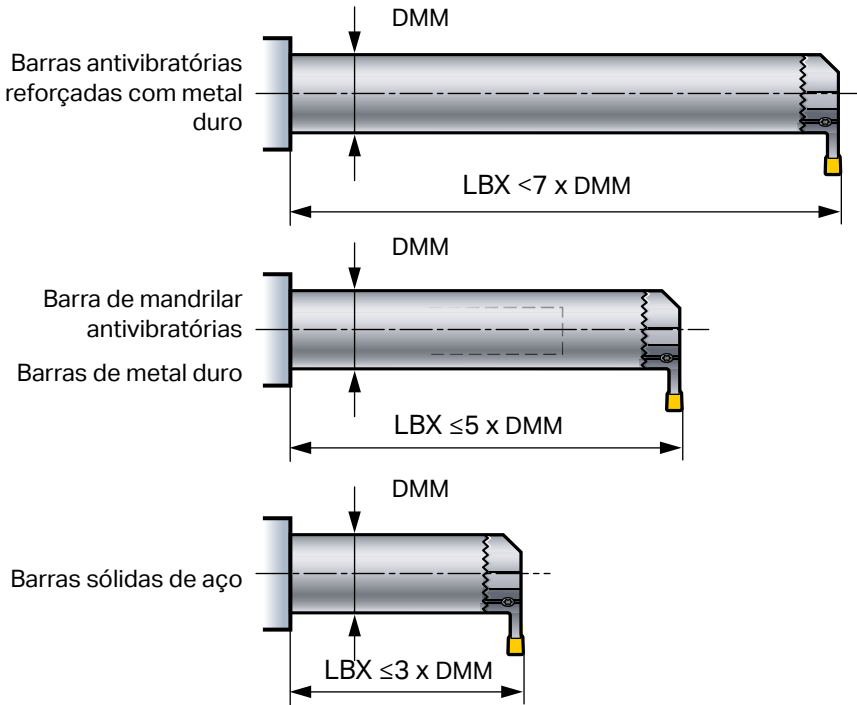


- A altura de centro é importante, $\pm 0,1 \text{ mm}$ ($\pm 0,004 \text{ pol.}$)
- Se for usado subspindle, afaste a peça aproximadamente 2 mm ($0,079 \text{ pol.}$) do centro.
- Faixa de avanço recomendada de $0,05 \text{ mm}$ ($0,002 \text{ pol.}$) /rot aproximadamente 2 mm ($0,079 \text{ pol.}$) antes do centro - também para cortes de tubo.

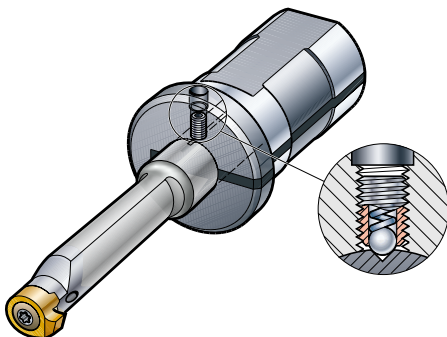
$f_n 0,05 \text{ mm}$ ($0,002 \text{ pol.}$) /rot

Recomendações para as soluções com barras de mandrilar

Balanço recomendado

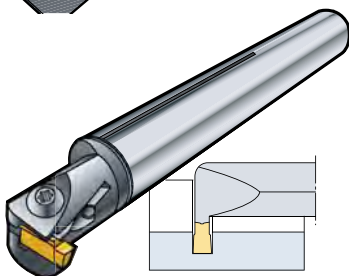
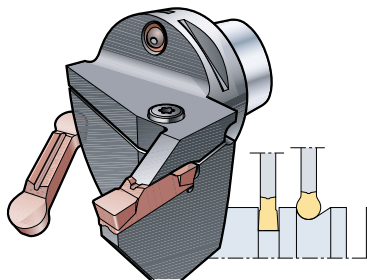


Buchas EasyFix

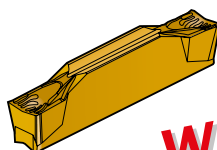
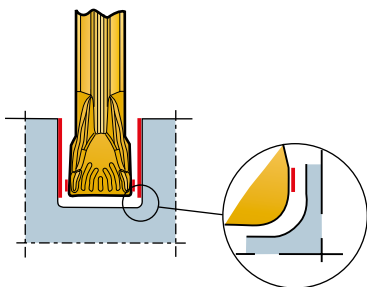


Use fixação por buchas EasyFix para usinagem de precisão com menor vibração e precisão de altura.

Usinagem geral de canais



Canais simples

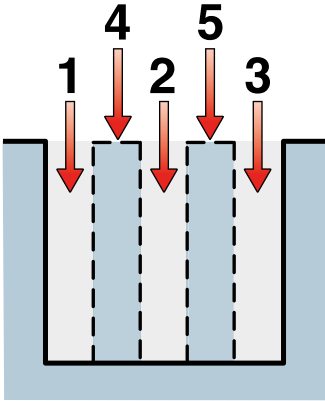


TECHNOLOGY
Wiper

- A usinagem de canais simples é o método mais econômico e produtivo de produzir canais.
- Canais múltiplos é o melhor método para o desbaste de canais quando a profundidade é maior do que a largura.
- Em operações de abertura de canais, deve-se selecionar um suporte com projeto do tipo fixação por parafuso ou trava por mola.

- Método mais econômico e produtivo de produzir canais.
- A geometria de acabamento tem uma tolerância de largura de $\pm 0,02$ mm ($\pm 0,0008$ pol.) e funciona bem com baixos avanços.
- As pastilhas Wiper oferecem uma qualidade superficial extremamente alta no lado do canal.

Usinagem de canais múltiplos

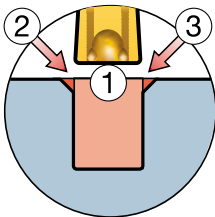


- O melhor método para o desbaste de canais quando a profundidade é maior do que a largura.
- Use a largura da pastilha para produzir canais completos e então remova os anéis.

Dicas práticas

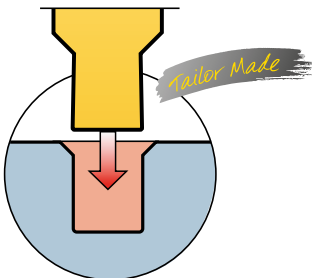
Quando produzimos canais de alta qualidade, há frequentemente uma necessidade de se obter cantos chanfrados.

A



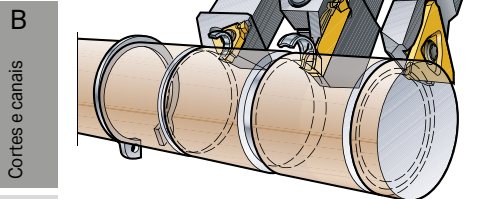
- Uma das maneiras é utilizar os cantos, por exemplo, de uma pastilha de acabamento de canais, para usinar o chanfro, veja a ilustração A.

B



- Uma melhor maneira de produzir canais com chanfro na produção em massa, é usar a pastilha Tailor Made com o formato exato do chanfro, veja a ilustração B.

Torneamento **Usinagem de canais circlip**



Canais circlip em eixos e peças de haste são muito comuns

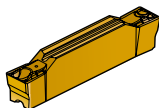
- A usinagem de canais circlip pode ser feita com pastilhas de três arestas ou pastilhas de canais de duas arestas.
- Para canais internos, há também uma ampla escolha das pastilhas e barras de mandrilar.

C Rosqueamento **Sistemas para escolher**

D Pastilhas com 3 arestas



Pastilhas com 2 arestas



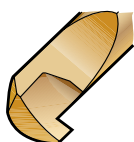
- Para melhor economia, use pastilhas de 3 arestas com largura de 1,00 - 3,18 mm (0,039 - 0,125 pol.).

- Nossas pastilhas de duas arestas com larguras de 1,50 - 6,00 mm (0,059 - 0,236 pol.).

F Pastilhas internas



Pastilhas de haste de metal duro



- As pastilhas internas estão disponíveis para diâmetro de furo mín. de 10 mm (0,394 pol.) e com larguras de canal circlip de 1,10 - 4,15 mm (0,043 - 0,163 pol.).

- O diâmetro mín. do furo para pastilhas de haste de metal duro é de 4,2 mm (0,165 pol.) e larguras de canal circlip are 0,78 - 2,00 mm (0,031 - 0,079 pol.).

F Mandrilamento **Interna**



Interno/externo



O fresamento é uma alternativa para peças não rotativas

- As larguras de canal circlip para diâmetros de fresas de 9,7 - 34,7 mm (0,382 - 1,366 pol.) são 0,70 - 5,15 mm (0,028 - 0,203 pol.).

- As larguras de canal circlip para diâmetros de fresas de 39 - 80 mm (1,535 - 2,480 pol.) são 1,10 - 5,15 mm (0,43 - 0,203 pol.).

G Sistemas de fixação **Diâmetro da fresa 9,7 - 34,7 mm (0,382 - 1,366 pol.)**

Diâmetro da fresa 39 - 80 mm (1,535 - 2,480 pol.)

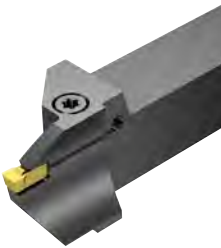
Usinagem de canais frontais



Usinar canais axialmente nas faces de uma peça exigem ferramentas específicas para a aplicação.

- A curva correta da ferramenta depende do raio da peça.
- Os diâmetros internos e externos do canal precisam ser considerados ao selecionar a ferramenta.

Ferramentas para usinagem de canais frontais



- Ferramenta com curvatura para usinagem de canais frontais, haste de 0° .

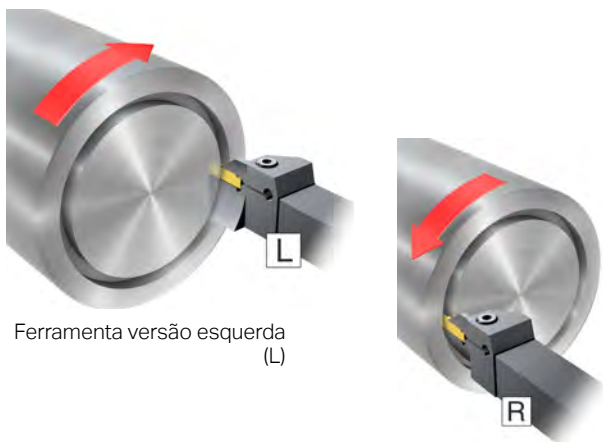


- Ferramenta com curvatura para usinagem de canais frontais, haste de 90° .



- Lâminas de corte intercambiáveis permitem que ferramentas standard sejam transformadas em ferramentas especiais.

Escolha da ferramenta versão direita e esquerda sobre rotação



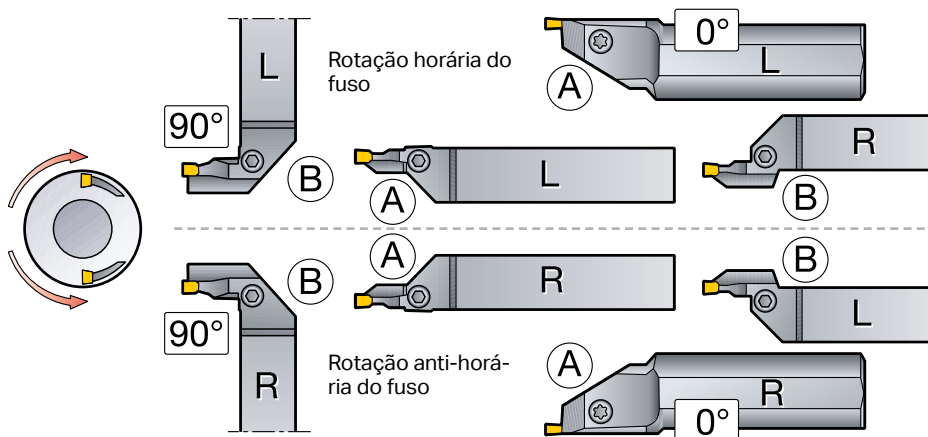
Ferramenta versão esquerda (L)

Ferramenta versão direita (R)

- A ferramenta avança axialmente em direção à superfície final da peça.
- A ferramenta deve ser adaptada ao raio de curvatura do canal.
- Use o diâmetro maior e trabalhe para dentro, para melhor controle de cavacos.

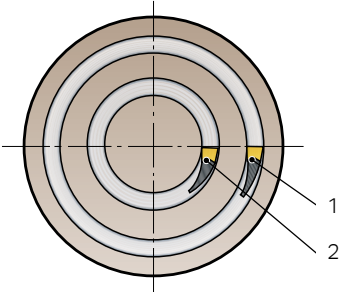
Seleção da curva A e B, ferramenta versão direita ou esquerda

Selecione a ferramenta correta – curva A ou B, versão direita ou esquerda - dependendo do set-up da máquina e da rotação da peça.



www.tool-builder.com

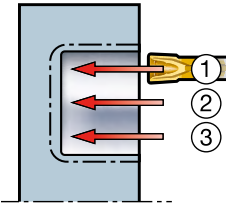
Consideração sobre primeiro corte



- 1 Se o suporte da pastilha esfregar no diâmetro interno da peça:
 - talvez a faixa de diâmetro esteja incorreta
 - a ferramenta não está paralela ao eixo
 - verifique a altura de centro
 - abaixe a ferramenta, deixando-a abaixo da linha de centro.
- 2 Se o suporte da pastilha esfregar no diâmetro externo da peça:
 - talvez a faixa de diâmetro esteja incorreta
 - a ferramenta não está paralela ao eixo
 - verifique a altura de centro
 - levante a ferramenta acima da linha de centro.

Desbaste e acabamento de um canal frontal

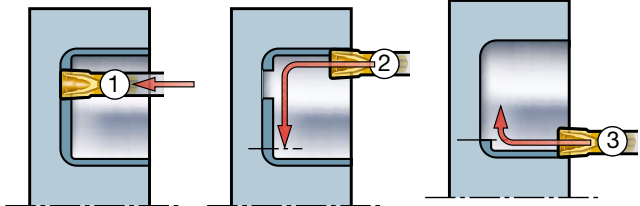
Desbaste



Sempre comece com o corte (1) do diâmetro maior e trabalhe para dentro. O primeiro corte oferece controle de cavacos, porém, menos quebra de cavacos.

Os cortes dois (2) e três (3) devem ser de 0,5–0,8 x largura da pastilha. A quebra de cavacos será agora aceitável e o avanço pode ser aumentado ligeiramente.

Acabamento



Use o primeiro corte (1) dentro da faixa de diâmetro especificada.

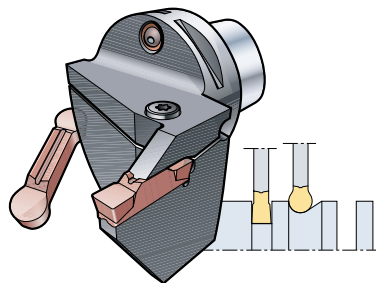
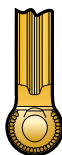
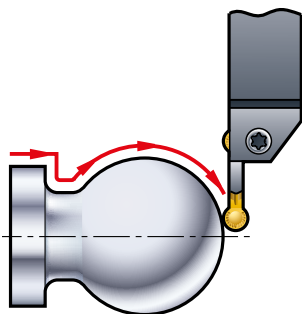
O corte dois (2) termina o diâmetro. Comece sempre de fora e trabalhe para dentro.

Por fim, o corte três (3) conclui o diâmetro interno com as dimensões corretas.

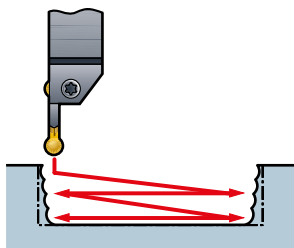
Perfilamento

Quando usar peças com formas complexas, as pastilhas de perfilamento oferecem ótimas oportunidades de racionalização.

- Os sistemas de ferramentas modernos para cortes e canais também podem realizar o torneamento
- Um porta-ferramentas com fixação por parafuso deve ser selecionado para operações de torneamento e perfilamento devido à maior estabilidade.
- Um porta-ferramentas neutro é adequado para abertura ou conclusão de um recesso.
- Pastilhas de formato redondo têm geometrias específicas para estas operações.



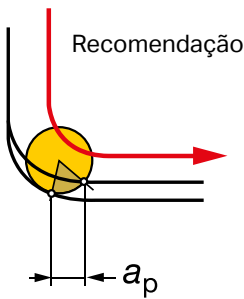
Usinagem em rampa



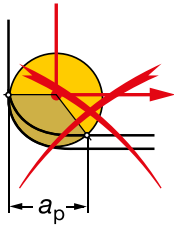
- Use pastilhas redondas para excepcional controle de cavacos e bom acabamento superficial.
- Em set-ups instáveis, use usinagem em rampa para evitar vibração.

Torneamento de perfis

Raio da pastilha < raio da peça



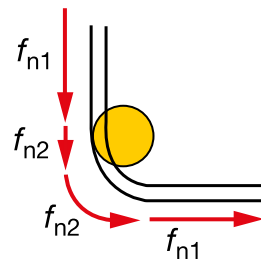
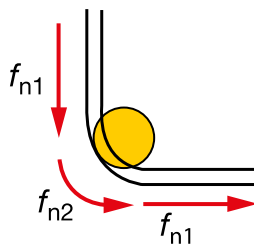
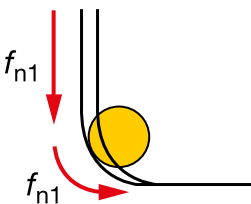
- Maior área da pastilha cria alta força de corte e, desta forma, o avanço deve ser reduzido.
- Se possível, use um raio da pastilha menor do que o raio da peça.
- Se for necessário ter o mesmo raio da pastilha e da peça, use microparasadas para produzir cavaco curto e evitar vibração.



Raio da pastilha \geq raio da peça não é recomendado

f_{n1} = cortes paralelos – Espessura de cavaco máx. 0,15–0,40 mm (0,006 - 0,016 pol.).

f_{n2} = raio em mergulho – espessura de cavaco máx. 50% .



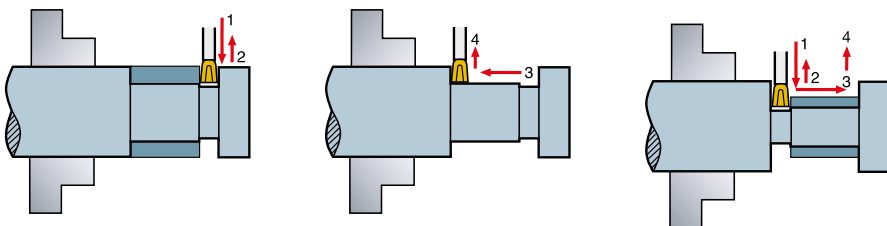
Torneamento

As aplicações mais comuns para canais largos ou para torneiar entre cantos a 90 graus são usinagem de múltiplos canais, torneamento em mergulho ou usinagem em rampa. Todos os três métodos são operações de desbaste e devem ser seguidos por uma operação de acabamento separada. Uma regra geral é que se a largura do canal for menor do que a profundidade – deve-se usar a usinagem de múltiplos canais e vice-versa para torneamento em mergulho. Porém, para peças delgadas, o método de usinagem em rampa pode ser usado.



- Use suportes com o menor balanço possível, fixação por parafuso ou trava por mola e pastilha em forma de trilho, se possível.
- Use um sistema de ferramenta estável e modular, se possível.
- A lâmina reforçada irá aumentar a estabilidade.

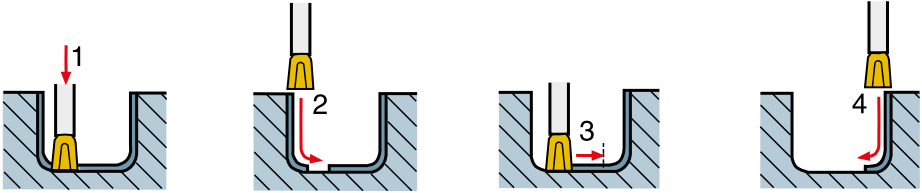
Desbaste



1. Penetração radial para a profundidade necessária +0,2 mm (+0,008 pol.) (máx 0,75 x largura da pastilha).
2. Retração radial 0,2 mm (0,008 pol.).
3. Gire axialmente para a posição oposta do canto a 90 graus.
4. Retração radial 0,5 mm (0,20 pol.).

Acabamento

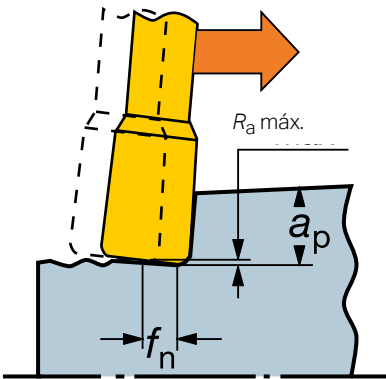
Como a pastilha contorna ao redor do raio, a maioria dos movimentos é na direção Z. Isto produz um cavaco extremamente fino ao longo da aresta de corte, o que pode resultar em atrito e vibração.



- A profundidade do corte radial e axial deve ser de 0,5–1,0 mm (0,020–0,039 pol.).

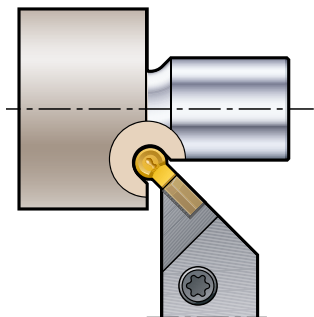
Torneamento axial

Acabamento superficial



- Este efeito wiper gera um acabamento superficial de altíssima qualidade.
- Obtém-se o melhor efeito wiper ao "encontrar" a combinação perfeita entre avanço (f_n) e deflexão da lâmina.
- Valor R_a abaixo de $0,5 \mu\text{m}$ ($20 R_a$) será gerado com mancal alto.

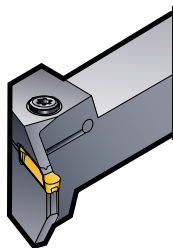
Saídas para retífica



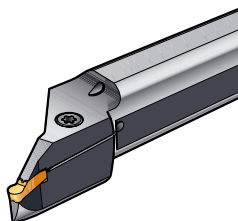
- Quando é necessário folga.
- Estas aplicação exigem pastilhas específicas com arestas de corte redondas que sejam vivas e precisas.
- A tolerância destas pastilhas é menor que $\pm 0,02$ mm ($\pm 0,0008$ pol.).

Ferramentas para saída para retífica

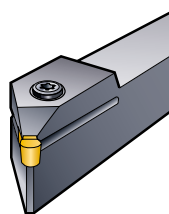
Com ângulo de
7°, 45° e 70°



Com ângulo de 20°



Com ângulo de 45°









• Suporte para saída para retífica externa. Pastilha com duas arestas de corte

• Suporte para saída para retífica interno. Pastilha com duas arestas de corte

• Suporte para saída para retífica externa. Pastilha com uma aresta de corte.

Problemas e soluções

Desgaste da ferramenta

Problema / Solução						
	Desgaste de flanco	Deformação plástica	Craterização	Lasca-mento	Fratura	Aresta postiça (BUE)
Geometria mais positiva						++
Classe mais tenaz				++		
Classe mais resistente ao desgaste	++	+	+			
Aumente a velocidade de corte						+
Reduza a velocidade de corte	+	+	++			
Reduza a faixa de avanço		++		+	+	
Escolha uma geometria mais robusta				+	++	

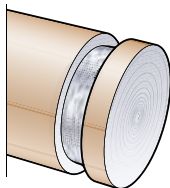
++ = Melhor solução possível

+ = Solução possível

Problema

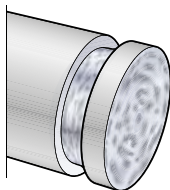
Solução

Superfície insatisfatória



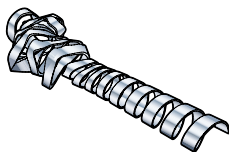
- Use uma ferramenta estável e curta.
- Remova os cavacos - use uma geometria com bom controle de cavacos.
- Use as ferramentas com refrigeração de precisão.
- Verifique as orientações de velocidade/avanço.
- Use geometria Wiper.
- Verifique a configuração da ferramenta.

Superfície insatisfatória em alumínio



- Selecione uma geometria mais viva.
- Use geometria com bom controle de cavacos.
- Selecione um óleo solúvel especial para o material.
- Use as ferramentas com refrigeração de precisão.

Quebra de cavacos insatisfatória

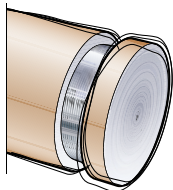


- Mude a geometria.
- Selecione um avanço mais alto.
- Use microparadas (pecking).
- Use as ferramentas com refrigeração de precisão.

Problema

Solução

Vibração



- Use um set-up estável.
- Verifique as orientações de velocidade/avanço.
- Use uma ferramenta mais curta e balanço da peça.
- Mude a geometria.
- Verifique a condição da ferramenta.
- Verifique o set-up da ferramenta (altura de centro).

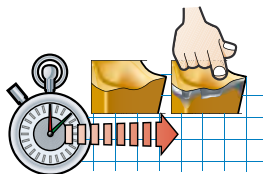
Torneamento

B

Cortes e canais

C

Vida útil insatisfatória da ferramenta



- Verifique a altura de centro.
- Verifique o ângulo entre a ferramenta e a peça.
- Verifique as condições da lâmina. Se a lâmina for antiga, a pastilha pode ficar instável no tip-seat
- Use as ferramentas com refrigeração de precisão.

Rosqueamento

D

Fresamento

E

Furação

F

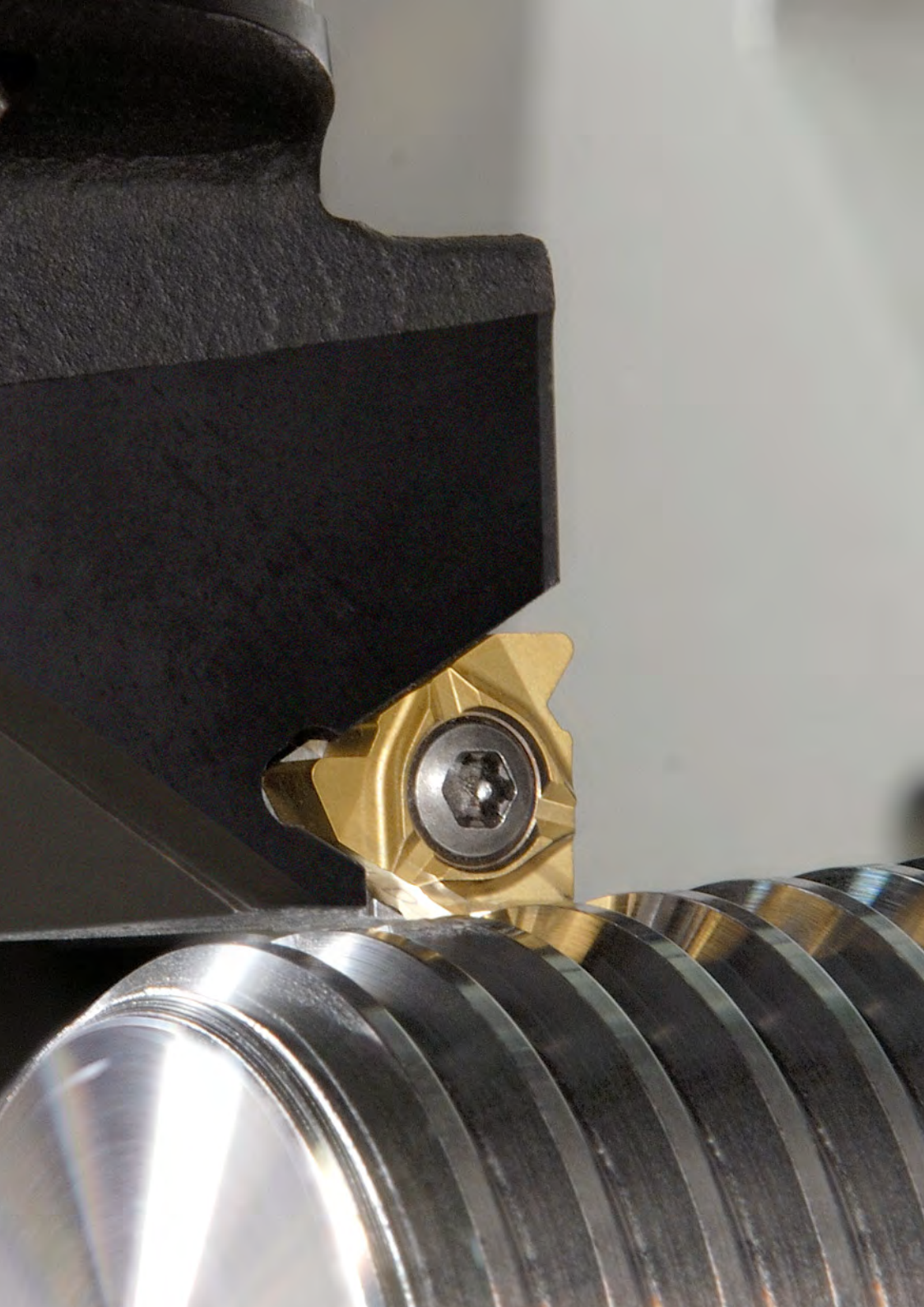
Mandrillamento

G

Sistemas de fixação

H

Usinabilidade
Outras informações



Rosqueamento

O torneamento de roscas é o processo de uma ferramenta com pastilha intercambiável que realiza um número de passes ao longo da seção de uma peça que precisa de uma rosca.

Ao dividir a profundidade de corte total da rosca em uma série de cortes menores, a ponta da pastilha que gera o perfil da rosca não é sobrecarregada.

- Teoria C 4
- Procedimento para seleção C 9
- Visão geral do sistema C 13
- Como aplicar C 19
- Problemas e soluções C 24
- Rosqueamento com macho C 28

Teoria de rosqueamento

Os métodos de rosqueamento

As principais funções de uma rosca são:

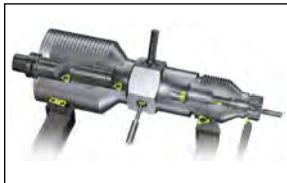
- formar um acoplamento mecânico
- transmitir o movimento ao converter o movimento rotacional de maneira linear e vice-versa
- obter uma vantagem mecânica; usar uma pequena força para criar uma maior.

Diferentes maneiras de usinar uma rosca

Moldes



Usinagem



Laminação



Métodos de rosqueamento

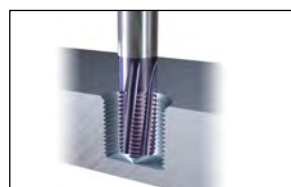
Torneamento de rosca



Rosqueamento com macho



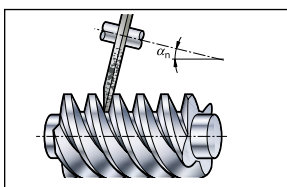
Fresamento de rosca



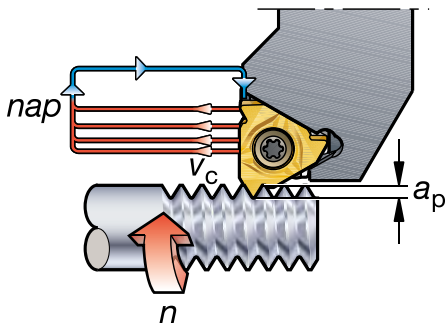
Turbilhonamento de rosca



Retificação



Definições de termos

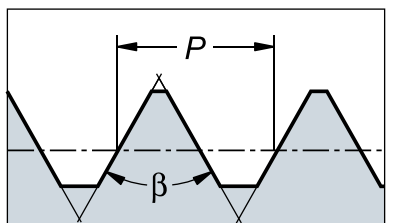


v_c = velocidade de corte m/min (pés/min)

n = velocidade do fuso (rpm)

a_p = profundidade total da rosca mm (pol.)

nap = número de passes



P = passo, mm ou roscas por polegadas (TPI)

β = ângulo da rosca

d_1 = diâmetro externo menor

D_1 = diâmetro interno menor

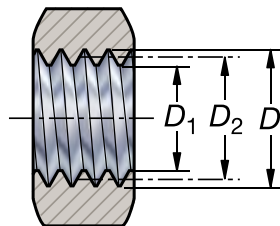
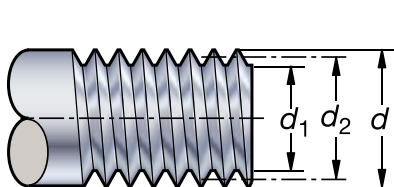
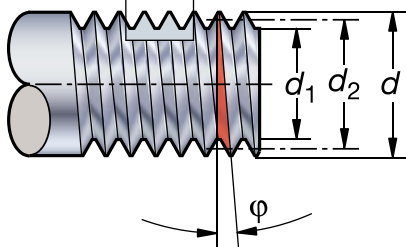
d_2 = diâmetro externo do passo

D_2 = diâmetro interno do passo

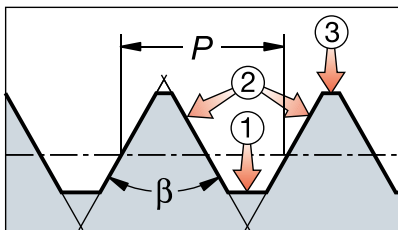
d = diâmetro externo maior

D = diâmetro interno maior

ϕ = ângulo de hélice da rosca



Definições de termos



1. Raiz

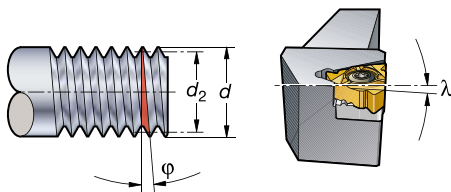
- A superfície inferior que une dois flancos adjacentes da rosca.

2. Flanco

- A lateral da superfície da rosca que conecta a crista e a raiz.

3. Crista

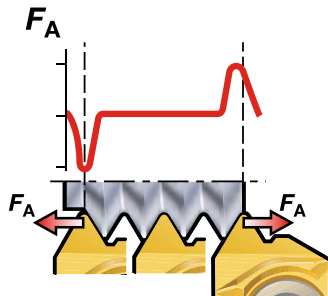
- A superfície superior que une os dois flancos.



Ângulo de hélice

- O ângulo de hélice (ϕ) depende e está relacionado ao diâmetro e ao passo (P) da rosca.
- Ao trocar o calço, a folga do flanco da pastilha é ajustada.
- O ângulo de inclinação é lambda (λ). O ângulo de inclinação mais comum é de 1° , que é o calço padrão no porta-ferramenta.

Forças de corte de entrada e saída da rosca



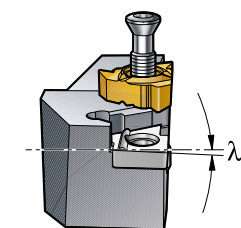
- A força de corte axial mais alta na operação de rosqueamento ocorre durante a entrada e a saída da ferramenta de corte.
- Dados de corte agressivos podem levar a movimentos de pastilhas mal fixadas.

Inclinação da pastilha para folga

Seleção de calços para inclinação

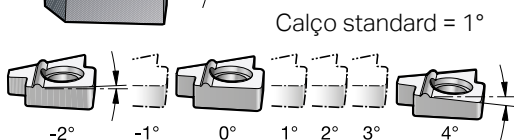
O ângulo de inclinação pode ser ajustado ao usar calços sob a pastilha no porta-ferramentas. A escolha de qual calço usar pode ser feita consultando um diagrama no catálogo.

Como padrão, todos os porta-ferramentas são entregues com de calço ajustado em 1°.



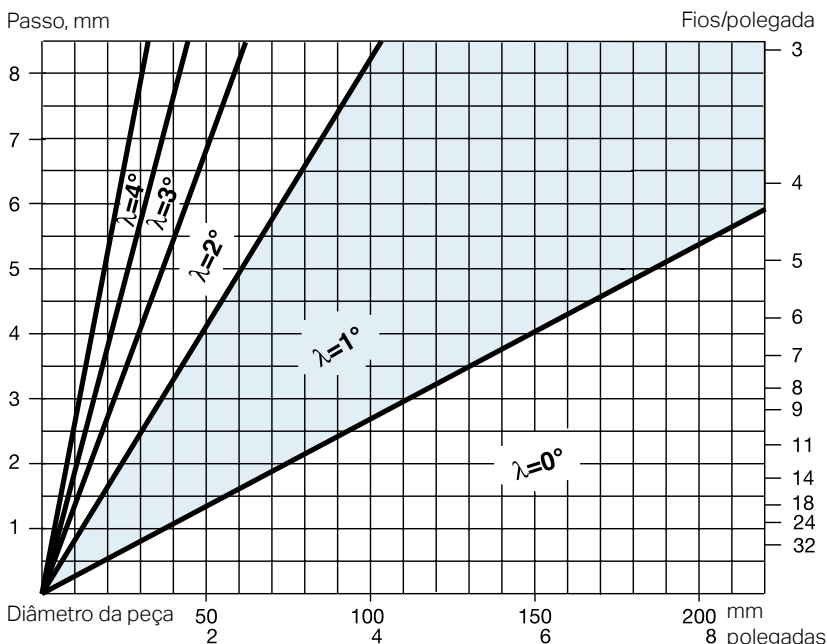
Tangente do ângulo de inclinação

Nota! algumas operações de rosqueamento reverso requerem um calço com ângulo de inclinação negativo.



$$\tan \lambda = \frac{P * ns}{\pi \times d_2}$$

* ns = número de entradas

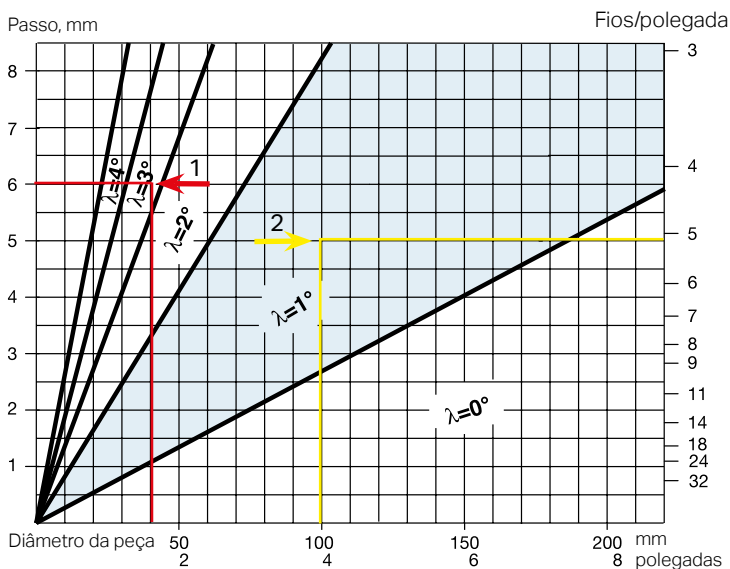


Seleção de calços para inclinação

O diâmetro e o passo influenciam os ângulos de inclinação.

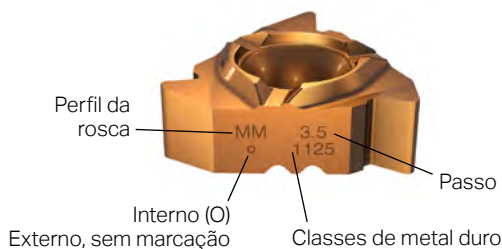
Exemplo de como usar o diagrama.

1. O diâmetro da peça é 40 mm (1,575") com um passo de rosca de 6 mm (0,236"). No diagrama, podemos ver que o calço necessário deve ter um ângulo de inclinação de 3° (o calço standard não pode ser usado).
2. O diâmetro da peça é 102 mm (4") com uma rosca de 5 roscas por polegada. No diagrama, podemos ver que o calço necessário deve ter um ângulo de inclinação de 1° (o calço standard pode ser usado).

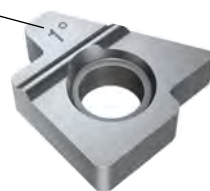


Marcação de calços e pastilhas para rosqueamento

Como ler e entender as marcações.

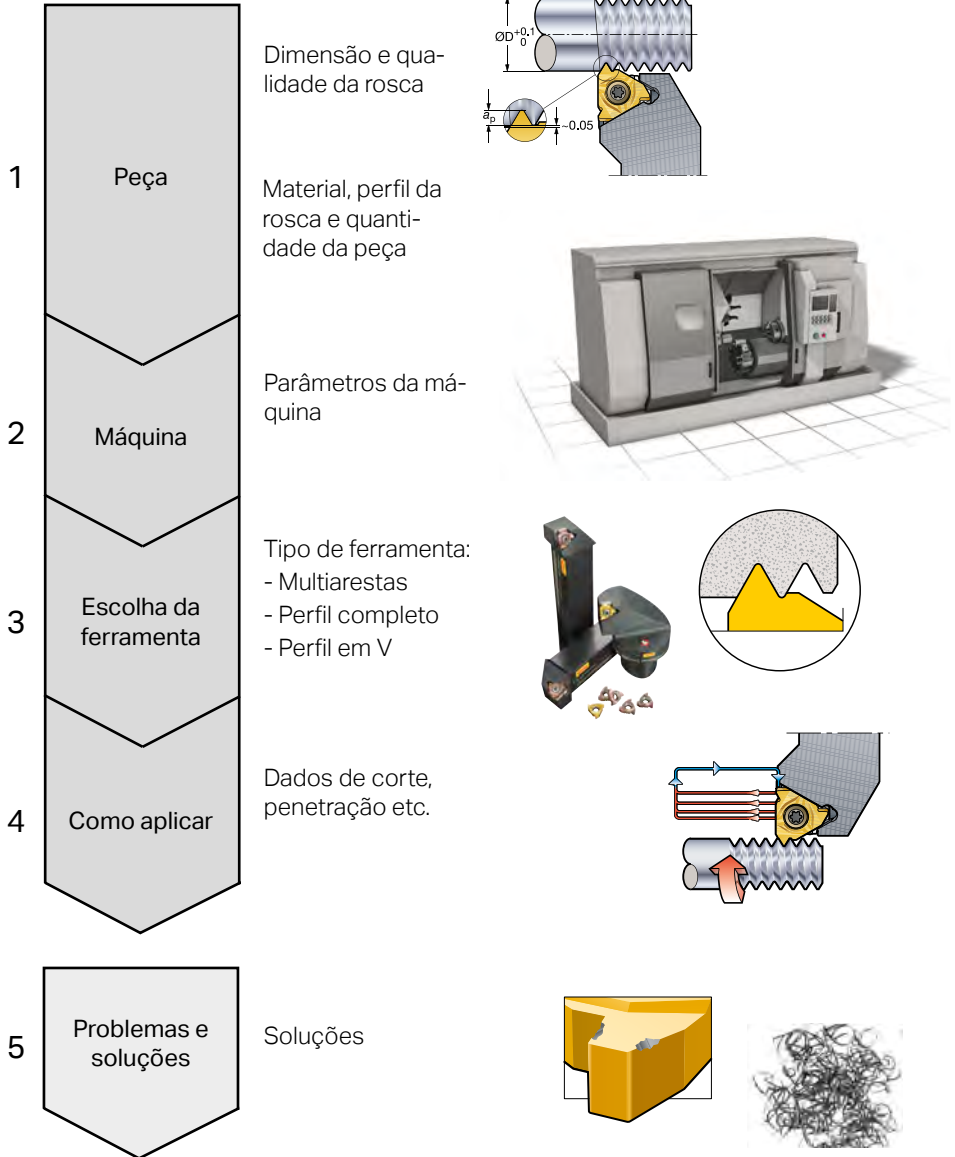


Ângulo de inclinação do calço

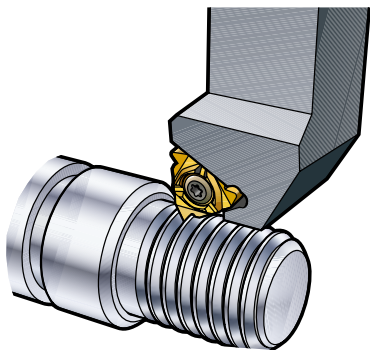


Procedimento para seleção da ferramenta

Processo de planejamento de produção



1. Peça e material da peça



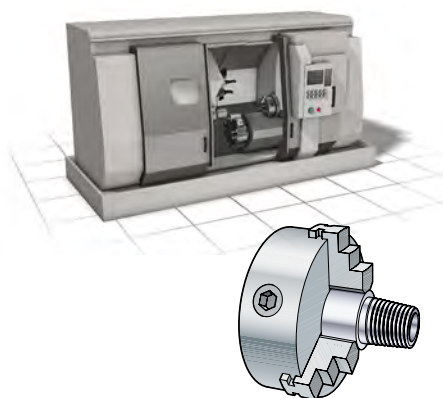
Peça

- Analise as dimensões e as exigências de qualidade da rosca a ser usinada
- Tipo de operação (externa ou interna)
- Rosca versão direita ou esquerda
- Tipo de perfil (métrico, UN etc.)
- Tamanho do passo
- Número de entradas da rosca
- Tolerância (perfil, posição).

Material

- Usinabilidade
- Quebra de cavacos
- Dureza
- Elementos da liga.

2. Parâmetros da máquina



Condição da máquina e preparação (set-up)

- Interface do fuso
- Estabilidade da máquina
- Velocidade do fuso disponível
- Refrigeração
- Fixação da peça
- Potência e torque
- Ciclos de programação disponíveis
- Alcance e folga da ferramenta
- Balanço da ferramenta.

3. Escolha da ferramenta

Diferentes maneiras de usinar roscas

Pastilhas multiarestas



Uma pastilha de perfil completo (com formador de cristas) com vários dentes reduz a quantidade de penetrações necessárias e gera alta produtividade, p. ex., uma pastilha multiarestas com dois dentes reduz a quantidade de penetrações pela metade.

A pressão da ferramenta aumenta proporcionalmente ao número de dentes o que requer ajustes (set-ups) estáveis e balanços mais curtos. Também é necessário haver espaço suficiente na parte de trás da rosca.

Vantagens

- Número reduzido de penetrações
- Produtividade muito alta.

Desvantagens

- Requer ajustes (set-ups) estáveis
- Precisa de espaço suficiente na parte de trás da rosca.

Pastilhas de perfil completo



A rosca é cortada pela pastilha com bom controle das propriedades geométricas, porque a distância entre a raiz e a crista é controlada.

A pastilha pode cortar apenas um único passo.

Como a pastilha gera a raiz e a crista, a pressão da ferramenta aumenta e exige altas exigências de ajuste (set-up) e balanço.

Vantagens

- Melhor controle da forma da rosca
- Menos rebarbas.

Desvantagens

- Cada pastilha pode cortar apenas um passo.

Pastilhas de perfil-V



A pastilha pode gerar uma gama de passos e, como consequência, reduz o estoque. A raiz e os flancos são formados pela pastilha.

A crista é controlada em uma operação de torneamento anterior, resultando em tolerâncias altas.

Em ajustes (set-ups) com tendência à vibração, uma pastilha sem formador de cristas pode ser uma solução devido à redução da pressão de corte.

Vantagens

- Flexibilidade, a mesma pastilha pode ser usada para vários passos.

Desvantagens

- Pode formar rebarbas que precisam ser retiradas.

4. Como aplicar

Considerações importantes sobre a aplicação



O método de penetração pode ter um impacto significativo no processo de usinagem da rosca.

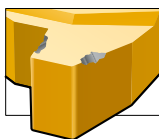
Ele influencia:

- controle de cavacos
- desgaste da pastilha
- qualidade da rosca
- vida útil da ferramenta.

Na prática, a máquina-ferramenta, a geometria da pastilha, o material da peça e o passo da rosca influenciam a escolha do método de penetração.

5. Problemas e soluções

Algumas áreas a considerar



Se tiver problemas com a vida útil da pastilha, controle de cavacos ou qualidade insatisfatória da rosca. Considere os aspectos a seguir.

Tipo de penetração

- Otimize o método de penetração, número e profundidade dos passes.

Inclinação da pastilha

- Certifique-se de que há folga suficiente e uniforme (pastilha – calços para inclinação).

Geometria da pastilha

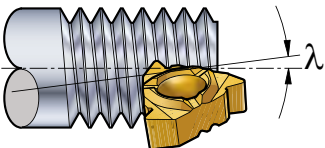
- Certifique-se de usar a geometria certa da pastilha (geometrias (A, F ou C).

Classe da pastilha

- Selecione a classe correta com base no material e na especificação de tenacidade.

Dados de corte

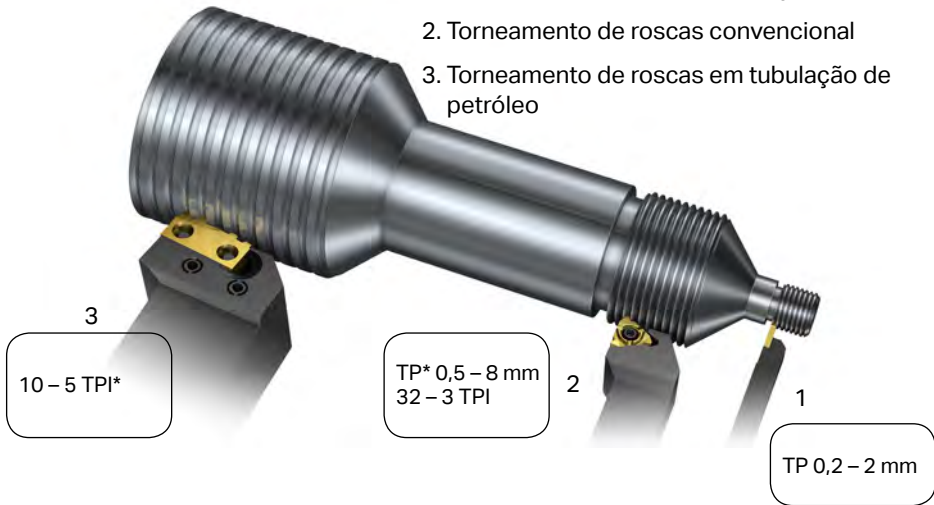
- Se necessário, mude a velocidade de corte e o número de passes.



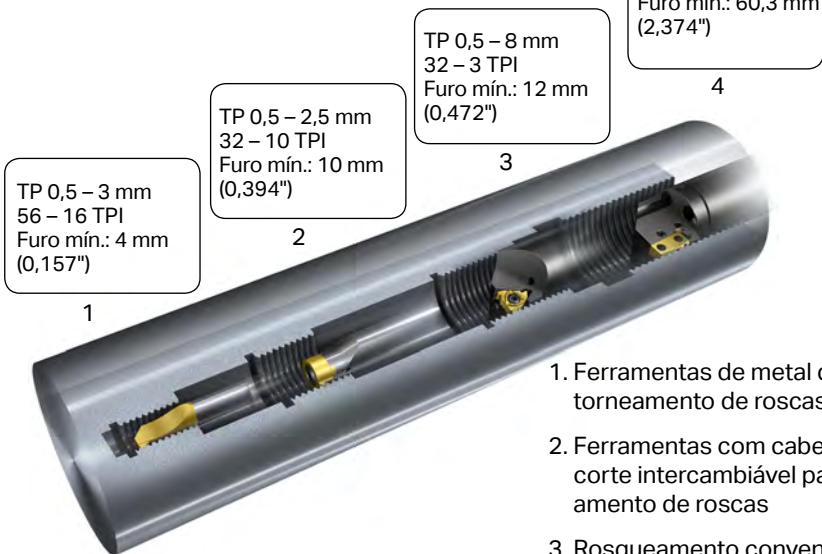
Visão geral do sistema

Torneamento de roscas externas

1. Torneamento de roscas em peças pequenas
2. Torneamento de roscas convencional
3. Torneamento de roscas em tubulação de petróleo



Torneamento de roscas internas



1. Ferramentas de metal duro para torneamento de roscas
2. Ferramentas com cabeça de corte intercambiável para torneamento de roscas
3. Rosqueamento convencional
4. Rosqueamento de tubulações de petróleo

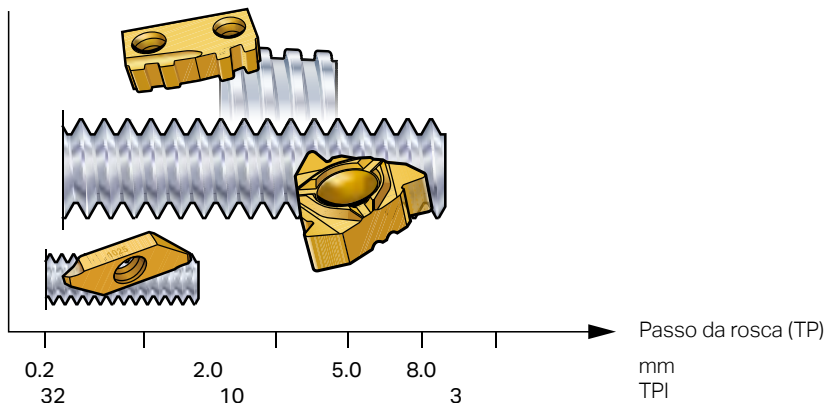
*TPI = roscas por polegada

*TP = passos da rosca

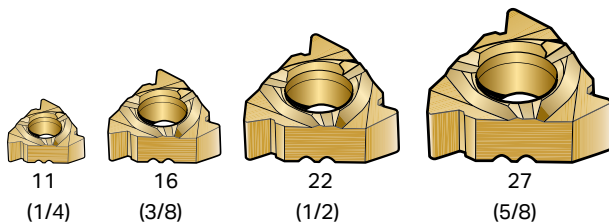
Programa de torneamento de roscas externas

Um amplo programa para escolher

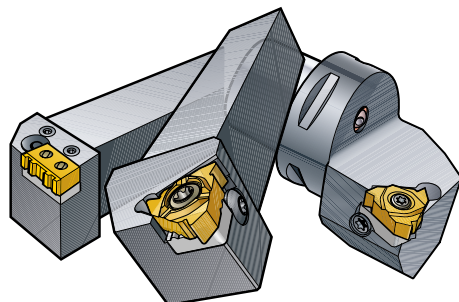
Pastilhas



- Quatro dimensões de pastilhas (L) / tamanhos (IC):
11, 16, 22, 27 mm
(1/4, 3/8, 1/2, 5/8 pol.)



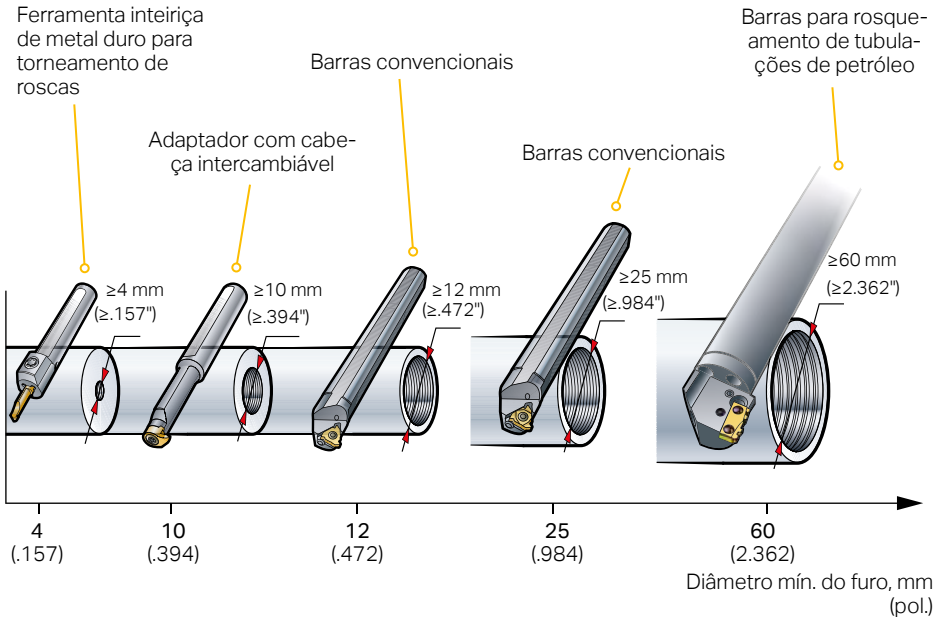
Porta-ferramenta



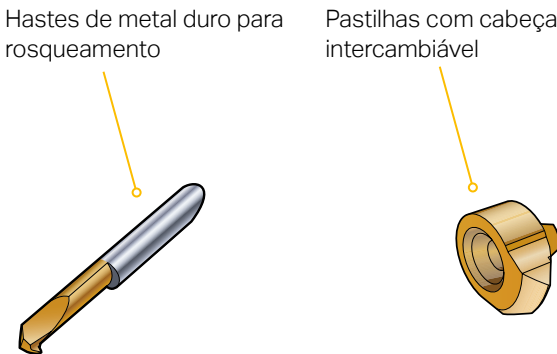
- Unidades de corte Coromant Capto®
- Suportes QS
- Ferramentas convencionais
- Cabeças de corte intercambiáveis
- Cápsulas.

Programa de torneamento de roscas internas



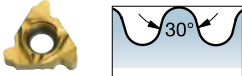


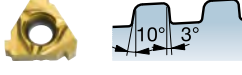

Um amplo programa e vários sistemas para escolher



Para alta precisão, torneamento de rosca interna de pequenos furos



Perfis da rosca

Aplicação	Pastilha/formato da rosca	Tipo de rosca	Código
Uso geral		ISO métrico UN americano	MM UN
Roscas de tubos		Whitworth, NPT British Standard (BSPT), NPTF American National Pipe Threads	WH, NT PT, NF
Indústria de alimentação e combate a incêndio		DIN405 redonda	RN
Aeroespacial		MJ UNJ	MJ NJ
Petróleo e gás		API redondo API forma "V" 60°	RD V38, 40, 50
Petróleo e gás		Buttress, VAM	BU
Movimento Uso geral		Trapezoidal ACME Stub ACME	TR AC SA

Uso geral

- Bom equilíbrio entre a capacidade de carga dos mancais e volume de material.

Rosca de tubulação

- Habilidade de suportar cargas.
- Capacidade de formar conexões à prova de vazamentos (as roscas geralmente são cônicas).

Alimentos e equipamentos de incêndio

- Igual às roscas de tubulação, porém redondas para facilitar a remoção de resíduos de alimentos.
- Conexão/desconexão de fácil repetição para equipamentos de incêndios.

Aeroespacial

- Alta precisão e risco reduzido para concentração de tensões e quebras.

Petróleo e gás

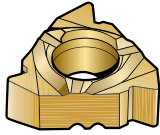
- Suporta carga extrema sobre os mancais e especificações à prova de vazamentos com limitação de paredes finas da tubulação.

Movimento

- Forma simétrica.
- Superfície de contato grande.
- Forma robusta.

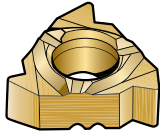
Tipos de pastilhas

Três tipos diferentes de pastilhas para torneamento de roscas



Pastilhas de perfil completo

- Para alta produtividade de rosqueamento.



Pastilhas perfil V - 60° e 55°

- Para rosqueamento com estoque mínimo de ferramentas.



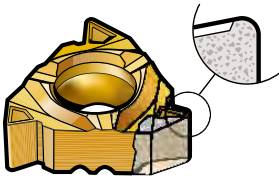
Pastilhas multiarestas

- Para torneamento de roscas altamente produtivo e econômico em produção em massa.

Três geometrias diferentes

Geometria -A

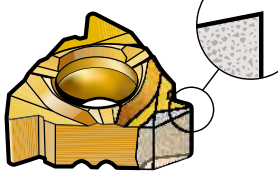
Primeira escolha para a maioria das operações.



Boa formação de cavacos em uma ampla faixa de materiais.

Geometria F

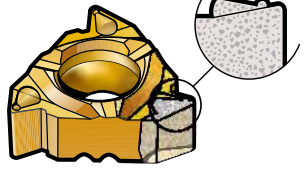
Geometria viva.



Propicia cortes limpos em materiais pastosos e endurecidos por trabalho.

Geometria C

Geometria para quebra de cavacos.



Geometria otimizada para baixo teor de carbono, baixa liga e aços inoxidáveis fáceis de usinar.

Soluções de rosqueamento



- Rosqueamento ultrarrígido com pastilhas de posição fixa.
- A pastilha é posicionada corretamente guiada pelo trilho.
- O parafuso força a pastilha para alojamento no trilho até encosto da face de contato no assento da pastilha. (As faces de contato vermelhas).
- Uma ótima fixação da pastilha assegura maior vida útil da ferramenta e qualidade da rosca.

Uma variedade de soluções em porta-ferramenta

Acoplamento Troca rápida

Barra de mandrilar

Acoplamento externo Coromant Capto®

Cabeça invertida



Acoplamento interno Coromant Capto®

Ferramenta convencional

Cabeça de corte intercambiável

Como aplicar

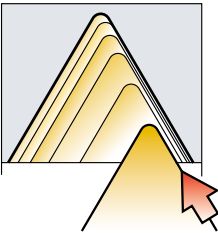
Três tipos diferentes de penetração

O método de penetração pode ter um impacto significativo no processo de usinagem da rosca. Ele influencia:

- controle de cavacos
- desgaste da pastilha
- qualidade da rosca
- vida útil da ferramenta.

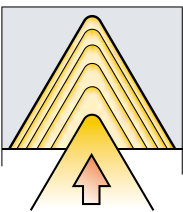
Na prática, a máquina-ferramenta, a geometria da pastilha, o material da peça e o passo da rosca influenciam a escolha do método de penetração.

Penetração de flanco modificada



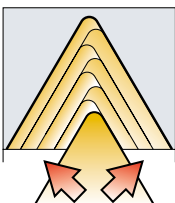
- Máquinas CNC mais novas podem ser programadas para o flanco modificado.
- Usado com a geometria C, o quebra-cavacos não funcionará com a penetração radial.
- As forças de corte direcionadas axialmente, reduzem o risco de vibrações.
- Direção controlada dos cavacos.
- Usado para todas as geometrias da pastilha.
- Geometria C desenhada somente para penetração de flanco modificada.

Penetração radial



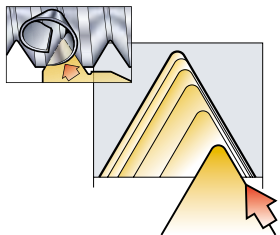
- Usada por todas as máquinas manuais e a maioria de programas CNC pr-e-definidos.
- Primeira escolha para materiais endurecidos e adequado para passos finos.

Penetração incremental



- Normalmente usado com passos e perfis muito grandes, trabalham por todo os ciclos de rosqueamento em que a vida útil da ferramenta precisa corresponder ao comprimento da rosca.
- Requer programação especial.

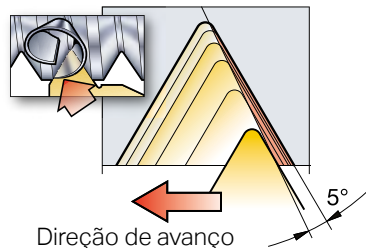
Penetração de flanco modificada



- A maioria das máquinas CNC têm um ciclo programado usando essa penetração.
- Os cavacos são semelhantes aos do torneamento convencional - é mais fácil formar e direcionar.
- As forças de corte direcionadas axialmente, reduzem o risco de vibrações.
- Os cavacos são mais espessos, mas tem contato com apenas um lado da pastilha.
- Menos calor é transferido para a pastilha.
- Primeira escolha para a maioria das operações de rosqueamento.

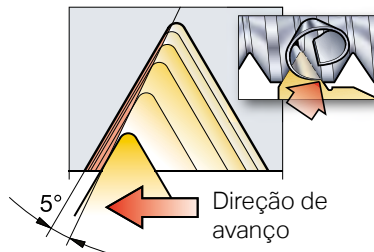
Direção de avanço

← Fluxo de cavacos



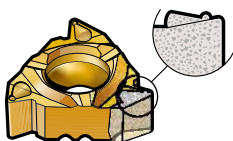
Direção de avanço

→ Fluxo de cavacos



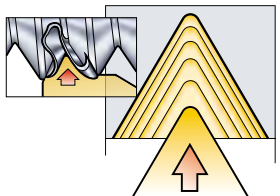
Direção de avanço

Pastilha com geometria C



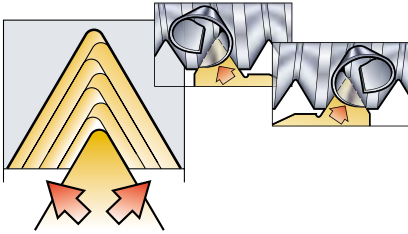
- Melhor controle de cavacos
- Melhor acabamento superficial
- Para pastilha com geometria C, a penetração de flanco modificada é a única penetração adequada.

Penetração radial



- O método usado com mais frequência - e o único método possível em tornos mais antigos que não são CNC.
- Gera um cavaco de formato "V" mais rígido.
- Desgaste uniforme da pastilha.
- Ponta da pastilha exposta a altas temperaturas que restringe a profundidade de penetração.
- Adequado para passos finos.
- Possível vibração e controle de cavacos insatisfatório em passos largos.
- Primeira escolha para trabalhar com materiais endurecidos.

Penetração incremental

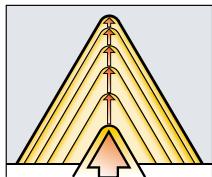


- Recomendado para perfis grandes.
- Desgaste uniforme da pastilha e vida útil mais longa em roscas com passos muito largos.
- Os cavacos são direcionados para ambos os lados, dificultando o controle de cavacos.

Métodos de programação

Maneiras de melhorar o resultado da usinagem

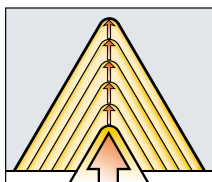
Diminuição da profundidade por passe (área de cavacos constantes)



Permite área de cavacos constantes. Este é o método de torneamento mais comum em programas CNC.

- O primeiro passe é mais profundo
- Siga a recomendação de penetração, nas tabelas do catálogo
- Área de cavacos mais "equilibrada"
- Último passe com cerca de 0,07 mm (0,0028").

Profundidade constante por passe



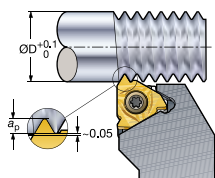
Cada passe tem a mesma profundidade, independentemente do número de passes.

- Exige muito mais da pastilha
- Oferece melhor controle de cavacos
- Não deve ser usado para passos maiores que 1,5 mm ou 16 t.p.i.

Torneamento de roscas com pastilhas de perfil completo

Use material/sobremetal extra para formação da crista na rosca

Para pastilhas com formador de cristas, 0,03 – 0,07 mm (0,001 - 0,003") de material, deve ser deixado nas operações de torneamento anteriores, para permitir a formação correta da crista.



- O blank não precisa ser torneamento com o diâmetro exato antes do rosqueamento.
- Adicione material/sobremetal extra ao diâmetro da peça, 0,06 – 0,14 mm (0,002 – 0,006") para formar cristas no acabamento do diâmetro da rosca.

Recomendações de valores de penetração

Número de penetrações e profundidade total da rosca.

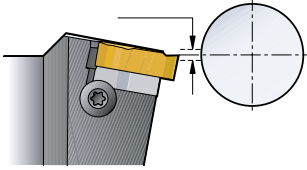
ISO métrica e polegadas, externa

Nº de penetrações (nap)	Passo, mm	Reduza a velocidade de corte																
		0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0		
		Penetração radial por passe, mm																
1		0,11	0,17	0,19	0,20	0,22	0,22	0,25	0,27	0,28	0,34	0,34	0,37	0,41	0,43	0,46		
2		0,09	0,15	0,16	0,17	0,21	0,21	0,24	0,24	0,26	0,31	0,32	0,34	0,39	0,40	0,43		
3		0,07	0,11	0,13	0,14	0,17	0,17	0,18	0,20	0,21	0,25	0,25	0,28	0,32	0,32	0,35		
4		0,07	0,07	0,11	0,11	0,14	0,14	0,16	0,17	0,18	0,21	0,22	0,24	0,27	0,27	0,30		
5		0,34	0,50	0,08	0,10	0,12	0,12	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,22	0,24	0,24	0,27		
6				0,67	0,08	0,08	0,10	0,12	0,13	0,14	0,17	0,17	0,20	0,22	0,22	0,24		
7					0,80	0,94	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,20	0,22		
8							0,08	0,08	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17	0,19	0,19	0,21		
9								1,14	1,28	0,11	0,12	0,14	0,14	0,16	0,18	0,18	0,20	
10										0,08	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,17	0,19	
11										1,58	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16	0,16	0,18	
12											0,08	0,08	0,12	0,13	0,15	0,15	0,16	
13											1,89	2,20	0,11	0,12	0,12	0,13	0,15	
14													0,08	0,10	0,10	0,13	0,14	
14													2,50	2,80	3,12	0,12	0,12	
16																0,10	0,10	
																	3,41	3,72

Nº de penetrações (nap)	Passo, TPI	Avanço radial por passe,																			
		32	28	24	20	18	16	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4,5	4		
1		.007	.006	.007	.007	.008	.007	.007	.008	.009	.008	.008	.008	.009	.010	.009	.012	.011	.013		
2		.006	.005	.006	.007	.007	.007	.007	.007	.008	.008	.008	.008	.008	.009	.009	.011	.011	.012		
3		.005	.005	.006	.006	.007	.007	.007	.007	.008	.008	.008	.008	.008	.009	.009	.011	.011	.012		
4		.003	.004	.005	.006	.006	.006	.006	.007	.007	.007	.007	.007	.008	.009	.009	.011	.010	.012		
5			.003	.003	.005	.005	.006	.006	.006	.007	.007	.008	.007	.007	.008	.008	.010	.010	.011		
6					.003	.003	.005	.005	.006	.006	.006	.007	.007	.007	.008	.008	.010	.010	.011		
7						.003	.005	.005	.005	.006	.006	.006	.007	.008	.008	.010	.010	.011			
8							.003	.003	.003	.005	.006	.006	.006	.007	.008	.009	.009	.010			
9										.003	.005	.005	.006	.007	.007	.009	.009	.010			
10											.003	.005	.005	.006	.007	.008	.008	.010			
11												.003	.005	.005	.007	.008	.008	.009			
12													.003	.003	.006	.007	.008	.008			
13															.005	.006	.007	.008			
14																.004	.004	.007	.007		
14																		.006	.006		
16																			.004	.004	
																				3,72	3,72

Posicionamento da ferramenta

Máx. $\pm 0,1$ mm ($\pm 0,004$ pol.)



Use desvio máximo de $\pm 0,1$ mm ($\pm 0,004$ ") da linha central.

Aresta de corte muito alta

- A folga diminuirá.
- A aresta de corte esfregará (quebra).

Aresta de corte muito baixa

- O perfil da rosca pode estar errado.

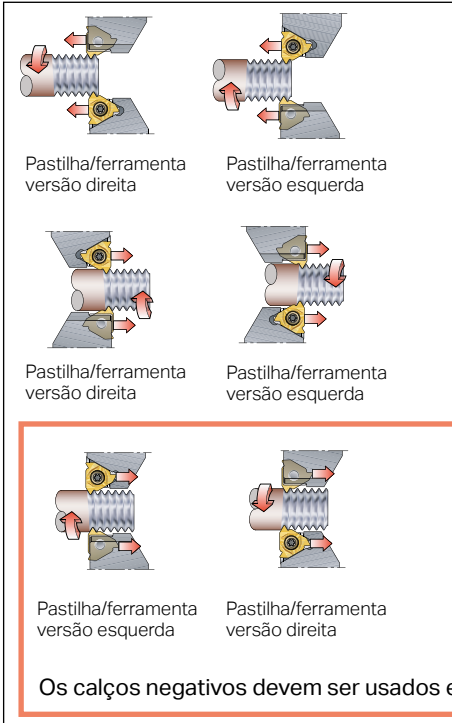
Método de torneamento de roscas

Pastilhas e roscas versão direita e esquerda

Externa

Roscas versão direita

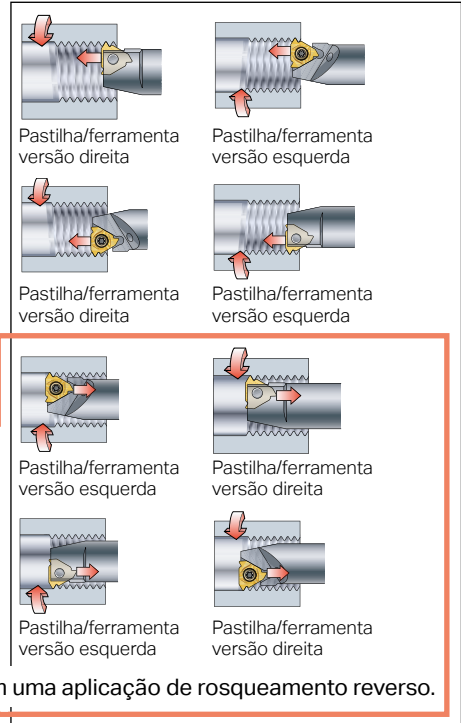
Roscas versão esquerda



Interna

Roscas versão direita

Roscas versão esquerda



Os calços negativos devem ser usados em uma aplicação de rosqueamento reverso.

Dicas de aplicação de torneamento de roscas

Alguns fatores fundamentais a considerar para alcançar o sucesso

- Verifique o diâmetro correto da peça de trabalho antes do torneamento de roscas, adicione 0,14 mm (0,006") para formar a crista.

- Posicione a ferramenta de modo preciso na máquina.

- Verifique o ajuste da aresta de corte em relação ao diâmetro do passo.

- Certifique-se de que a geometria correta da pastilha seja usada (A, F ou C).

- Garanta que a folga seja suficiente e uniforme (calços de inclinação da pastilha) para alcançar condição correta do flanco ao selecionar corretamente o calço.

- Se as roscas forem rejeitadas, verifique os ajustes (set-ups), incluindo a máquina-ferramenta.

- Verifique o programa de CNC disponível para o torneamento de roscas.

- Otimize o método de penetração, número e tamanho de passes.

- Assegure que a velocidade de corte seja adequada para as demandas da aplicação.

- Em caso de erro no passo da rosca na peça, verifique se o passo da máquina está correto.

- Recomenda-se que a ferramenta comece a uma distância mínima de 3 vezes o passo da rosca antes de entrar em contato com a peça.

- A refrigeração de precisão pode melhorar o controle de cavacos e a vida útil da ferramenta.

- Um sistema de troca rápida permite uma preparação (set-up) rápida e fácil.

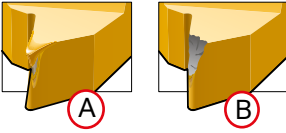
- Para melhor produtividade e vida útil da ferramenta - pastilha multiarestas, segunda escolha - pastilha de ponta única perfil completo, terceira escolha - pastilha perfil V.



Problemas e soluções

Problema	Causa	Solução
----------	-------	---------

Deformação plástica

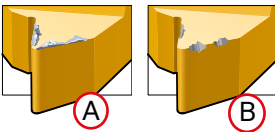


(A) Começa como deformação plástica, (B) que causa o lascamento da aresta.

1. Temperatura excessiva na zona de corte.
2. Refrigeração inadequada.
3. Classe incorreta.

1. Reduza a velocidade de corte, aumente o número de penetrações. Reduza a maior profundidade de penetração, verifique o diâmetro antes do rosqueamento.
2. Melhore a refrigeração.
3. Escolha uma classe mais resistente à deformação plástica.

Aresta postiça

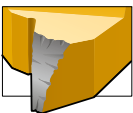


A aresta postiça (A) e o lascamento da aresta (B) frequentemente ocorrem juntos. A aresta postiça acumulada é levada junto com pequenas quantidades de material da pastilha o que causa o micro-lascamento..

1. Geralmente, ocorre em materiais de aço com baixo teor de carbono e inoxidáveis.
2. Classe adequada ou temperatura da aresta de corte muito baixa.

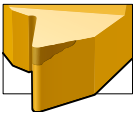
1. Aumente a velocidade de corte.
2. Escolha uma pastilha com boa tenacidade, preferivelmente com cobertura PVD.

Quebra da pastilha

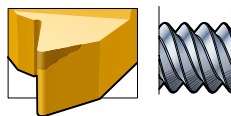


1. Diâmetro torneado incorreto antes de rosquear.
2. Séries de penetração difíceis.
3. Classe incorreta.
4. Controle insatisfatório dos cavacos.
5. Altura de centro incorreta.

1. Faça o torneamento com o diâmetro correto antes da operação de rosqueamento, 0,03 – 0,07 mm (0,001 – 0,003") radialmente maior que o diâmetro máx. da rosca.
2. Aumente o número de penetrações. Reduza as maiores penetrações.
3. Selecione uma classe mais tenaz.
4. Mude para a geometria C e use a penetração de flanco modificada.
5. Altura de centro correta.

Problema	Causa	Solução
Rápido desgaste de flanco		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Material altamente abrasivo. 2. Velocidade de corte muito alta. 3. Profundidades de penetração muito rasas. 4. A pastilha está acima da linha de centro. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Classe incorreta. Selecione uma classe mais resistente ao desgaste. 2. Reduza a velocidade de corte. 3. Reduza o número de penetrações. 4. Corrija a altura de centro.

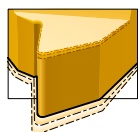
Desgaste do flanco anormal



Superfície insatisfatória em um flanco da rosca.

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Método incorreto para penetração de flanco. 2. O ângulo de inclinação da pastilha não corresponde ao ângulo de ataque da rosca. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mude o método de penetração de flanco para geometria F e geometria padrão A; 3 - 5° a partir do flanco, para geometria C; 1° a partir do flanco. 2. Mude o calço para obter o ângulo correto de inclinação. |
|---|---|

Vibração



- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Fixação incorreta da peça. 2. Ajuste (Set-up) incorreto da ferramenta. 3. Dados de corte incorretos. 4. Altura de centro incorreta. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Use castanhas moles. 2. Quando usar contraponto, otimize o furo de centro da peça e verifique a pressão do contraponto.

Minimize o balanço da ferramenta.

Verifique se a bucha de fixação para as barras não está gasta.

Use barras antivibratórias 570-3. 3. Aumente a velocidade de corte; se isso não ajudar, reduza a velocidade drasticamente e experimente a geometria F. 4. Ajuste a altura de centro. |
|---|--|



Problema	Causa	Solução
Acabamento superficial insatisfatório	<ol style="list-style-type: none"> 1. Velocidade de corte muito baixa. 2. A pastilha está acima da altura de centro. 3. Nenhum controle dos cavacos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumente a velocidade de corte. 2. Ajuste a altura de centro. 3. Use a geometria C e a penetração de flanco modificada.
Controle insatisfatório dos cavacos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Método de penetração incorreto. 2. Geometria incorreta da rosca. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penetração de flanco modificada 3 - 5°. 2. Use a geometria C com avanço de flanco modificado em 1°.
Perfil pouco profundo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Altura de centro incorreta. 2. Quebra da pastilha. Desgaste excessivo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ajuste a altura de centro. 2. Troque a aresta de corte.
Perfil incorreto da rosca	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perfil de rosca inadequado (ângulo de rosca e raio de ponta), pastilhas externas usadas para operação interna ou vice-versa. 2. Altura de centro incorreta. 3. Suporte que não está a 90° da linha de centro. 4. Erro do passo da máquina. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corrija a combinação correta da ferramenta, calço e pastilha. 2. Ajuste a altura de centro. 3. Ajuste para 90°. 4. Corrija a máquina.
Pressão excessiva na aresta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Materiais endurecidos, combinado a profundidades de penetração muito rasas para a geometria. 2. Pressão excessiva na aresta de corte pode causar o lascamento. 3. Ângulo de perfil da rosca muito pequeno. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reduza o número de penetrações. Mude para a geometria F. 2. Mude para uma classe mais tenaz. 3. Use a penetração de flanco modificada.



A

Torneamento

B

Cortes e canais

C

Rosqueamento

D

Fresamento

E

Furação

F

Mandrillamento

G

Sistemas de
fixação

H

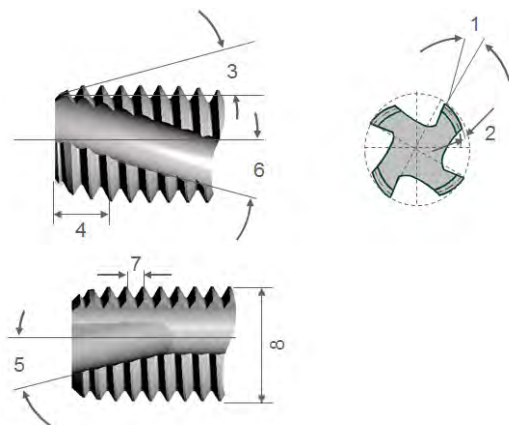
Usinabilidade
Outras informações

Rosqueamento com macho

- Teoria C 29
- Processo de rosqueamento com macho C 30
- Tolerâncias e tamanho do furo C 33
- Refrigeração C 34
- Sistemas de fixação C 35

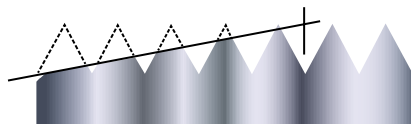
Teoria rosqueamento com machos

Definições de termos



1. Ângulo de saída
2. Alívio (folga)
3. Ângulo do chanfro
4. Chanfro (comprimento)
5. Ângulo de ponta helicoidal
6. Ângulo helicoidal
7. Passo
8. Diâmetro externo

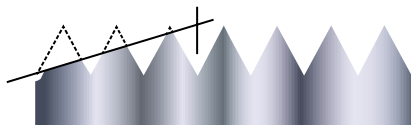
Chanfro longo



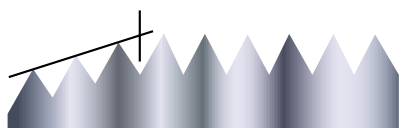
- Torque alto
- Melhor acabamento superficial
- Cavacos finos
- Baixa pressão no chanfro
- Vida útil mais longa da ferramenta
- Mais comum para macho com ponta helicoidal.

Chanfro médio

Macho de corte

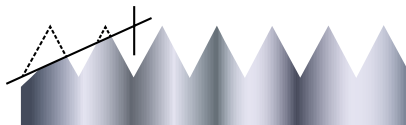


Macho laminador

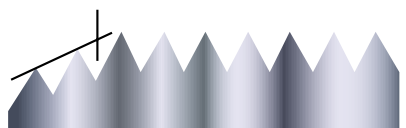


Chanfro curto

Macho de corte



Macho laminador



Padrões diferentes



- ISO
- ANSI

ISO e ANSI tem OAL muito curto (comprimento geral) e são bem semelhantes. Exceto para diâmetro da haste que está em polegadas para ANSI e métrico para ISO.



- DIN
- DIN/ANSI

DIN é uma versão longa e métrica.

DIN ANSI é uma combinação de ambos, com haste com diâmetro ANSI e OAL do DIN.

Processo de rosqueamento com macho

Tipos diferentes de processos de rosqueamento com machos



Geometrias para tipos diferentes de furos

Machos com ponta helicoidal para furos passantes



- O tipo de macho mais robusto
- Adequado para condições difíceis
- Empurra os cavacos para frente através do furo
- Macho para furo passante.

Machos com canal helicoidal para furos cegos



- O tipo de macho mais comum
- Direciona os cavacos ao longo da haste
- Macho para furos cegos.

Canal reto para todos os furos



- Para material com cavacos curtos como ferros fundidos
- Frequentemente, usado na indústria automotiva, ex.: bombas e válvulas
- Pode ser usado para todos os tipos de furos e profundidades.

Macho laminador - uma solução de macho livre de cavacos



- Uma solução de macho livre de cavacos
- Para aços macios, aços inoxidáveis e alumínio
- Pode ser usado para todos os tipos de furos e profundidades
- Aumenta a resistência da rosca em alguns materiais, ex.: alumínio.

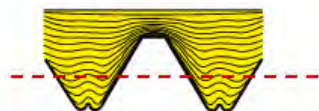
Processo de rosqueamento com macho e laminação



Macho laminador

A rosca é formada pela deformação do material.

Sem formação de cavacos.



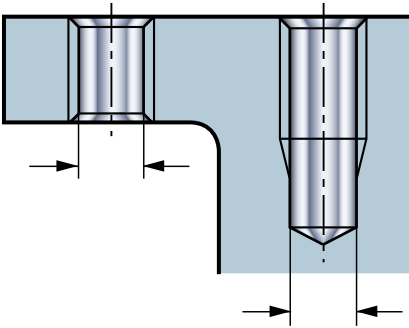
Macho de corte

O macho corta o material.

Os cavacos são formados.



Tolerâncias e tamanho do furo



Cálculo básico do tamanho do furo, macho de corte

$$D = TD - TP$$

D = diâmetro do furo (mm, pol.)

TD = diâmetro nominal da rosca (mm, pol.)

TP = passo da rosca (mm, pol.)

Tamanho do furo para macho de corte M10 x 1,5 = 8,5 mm (8,5 = 10 - (1,5))

Tamanho do furo para macho de corte 1/4" - 20 = 0,2008" (0,2008" = 1/4 - (20)).

Cálculo básico do tamanho do furo, macho de corte

$$D = TD - (TP/2)$$

D = Diâmetro do furo (mm, pol.)

TD = Diâmetro nominal da rosca (mm, pol.)

TP = Passo da rosca (mm, pol.)

Tamanho da broca para macho laminador M10 x 1,5 = Tamanho do furo para macho laminador 1/4" - 20 = 0,2008" (0,2008" = 1/4 - (20) mm (9,3 = 10 - (1,5/2))

Tamanho do furo para macho de corte 1/4" - 20 = 0,2264" (0,2264" = 1/4 - (20/2)).

Refrigeração

Importante para o desempenho bem-sucedido



A refrigeração é essencial no rosqueamento com macho e influencia:

- escoamento de cavacos
- Qualidade de rosca
- Vida útil da ferramenta.

Refrigeração

Refrigeração interna ou externa

Refrigeração externa

Diferentes fluidos de corte/emulsão



Três alternativas

- À base de óleo mineral
- Líquido refrigerante sintético
- Óleo puro.

- É sempre recomendada para melhorar o escoamento de cavacos, especialmente, em materiais com cavacos longos e quando rosquear furos mais profundos (2-3 x D)

- O método de refrigeração mais comum
- Pode ser usado quando a formação de cavacos for boa

Mais duas opções

- À base de óleo vegetal
- Semissintético.

- Deve ser recomendada para furos com profundidade 3 vezes o diâmetro.

- Para melhorar o escoamento de cavacos, pelo menos um olhal de refrigeração (dois, se a broca for estacionária) deve ser direcionado para bem perto do eixo da ferramenta.

Tenha sempre em mente

- Tipo de fluido de corte usado na máquina
- Concentração do óleo.

Sistema de fixação para rosqueamento com macho

Visão geral

Mandril flutuante com pinça de borracha

Permite uma folga determinada para possibilitar um percurso adequado. Freqüentemente usado em máquinas de torneamento manuais e pequenas.



Coromant Capto®

Benefícios e recomendações

- As pinças de borracha abrangem uma ampla gama de fixação
- Tensão e compressão para eliminar erro de avanço.

Porta-pinça ER rígido

Com essa abordagem, não há folga de tensão/compressão. Isso significa que o movimento do fuso e o movimento de eixo devem ser precisamente sincronizados. Isso requer um controle do CNC mais sofisticado.



Rosqueamento com machos com porta-pinça ER

Benefícios e recomendações

- Rosqueamento com machos rígidos geralmente é mais rápido
- O custo da ferramenta é mais baixo (suportes rígidos custam menos que suportes com tensão/compressão)
- Mais compacto e confiável que os suportes de tensão/compressão
- Pode resultar em uma rosca mais precisa.

Nota! Correta aplicação da força no macho prolonga a vida útil da ferramenta. Não reverta rápido em velocidades altas, em 6000 rpm.

Mandril troca rápida para rosqueamento

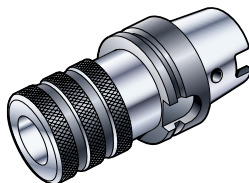
Primeira escolha para operações de rosqueamento com macho padrão. Uso geral, volume mais baixo de produção. Principalmente para máquinas antigas e instáveis.

Benefícios e recomendações

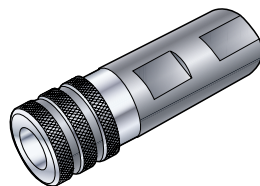
- Fácil fixação do macho com troca rápida
- Tensão e compressão para eliminar erro de avanço
- Adaptadores com ou sem garra.



Coromant Capto®



Suporte HSK



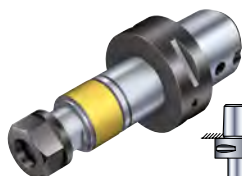
Suporte sólido Weldon

Mandris para macho com avanço sincronizado

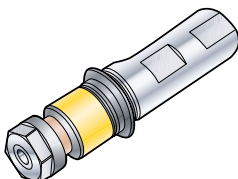
Porta-macho rígido com compensação microflutuante para roscas grandes. Primeira escolha para máquinas-ferramenta CNC e operações de rosqueamento com macho sincronizado.

Benefícios e recomendações

- Alto volume de produção / alta precisão
- Reduz a força de avanço nos flancos do macho
- Compensação real limitada, fornece profundidades precisas
- Desenhada para refrigeração de alta pressão.



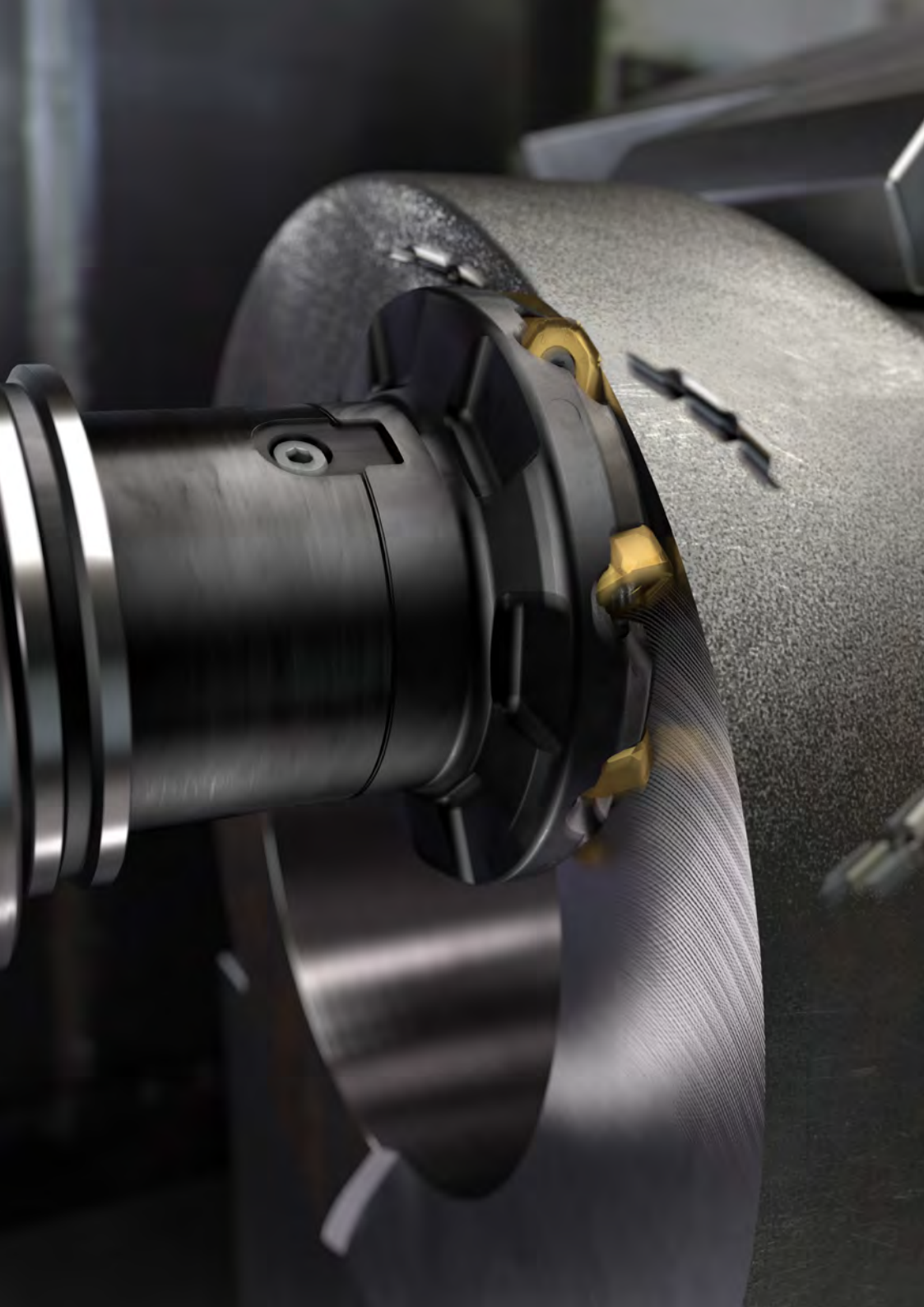
Coromant Capto®



Suporte convencional
Weldon



Suporte sólido MAS-BT



Fresamento

O fresamento é realizado com uma ferramenta de corte rotativa, multiaresta, que faz movimentos programados de avanço contra uma peça, em quase todas as direções.

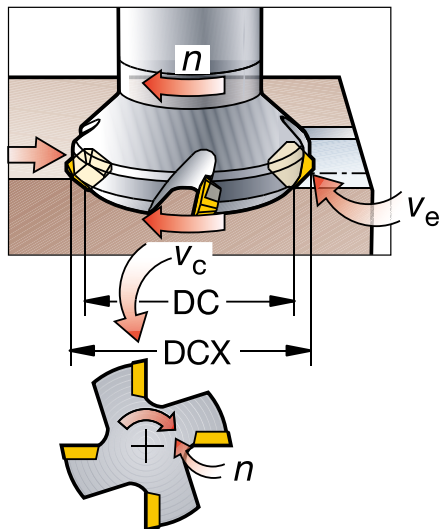
O fresamento é amplamente usado para gerar faces planas, porém, com o desenvolvimento de máquinas e softwares, há uma crescente demanda para produzir outros formatos de peças e superfícies.

- Teoria D 4
- Procedimento para seleção D 9
- Visão geral do sistema D 13
- Escolha da pastilha – como aplicar D 24
- Escolha da ferramenta – como aplicar D 29
- Problemas e soluções D 36

Teoria de fresamento

Definições de termos

Velocidade de fuso, velocidade de corte e diâmetro de corte



- n = Velocidade do fuso, rpm (rotações por minuto)
- v_c = Velocidade de corte m/min (pés/min)
- v_c = Velocidade de corte efetiva m/min (pés/min)
- DC = Diâmetro da fresa, mm (pol.)
- DCX = Diâmetro de corte máximo mm (pol.)

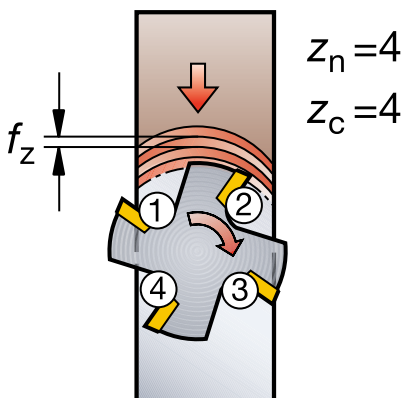
Velocidade do fuso (n) em rpm é o número de rotações que a ferramenta de fresamento faz por minuto no fuso.

A velocidade de corte (v_c) em m/min (pés/min) indica a velocidade de contato da aresta de corte na superfície da peça.

Diâmetro de corte máximo (DCX), tendo uma profundidade de corte específica, define o diâmetro (DC), que é a base para a velocidade de corte v_c ou v_e .



Avanço, número de dentes e velocidade de fuso



f_z = Avanço por dente mm/dente (pol./dente)
 v_f = Avanço da mesa mm/min (pol./min)
 z_n = Número de dentes da fresa (pçs)
 z_c = Número de dentes efetivos (pçs) [em contato]
 f_n = Avanço por rotação mm/rot (pol./rot.) [$f_z \times z_c$]
 n = Velocidade do fuso (rpm)

$$v_f = f_z \times z_c \times n \quad \text{mm/min (pol./min)}$$

Avanço por dente, f_z mm/dente (pol./dente), é um valor em fresamento para calcular o avanço da mesa. O valor de avanço por dente é calculado a partir do valor da espessura máxima do cavaco recomendada.

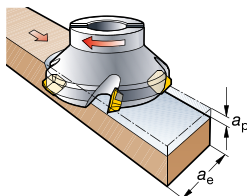
Avanço por minuto, v_f mm/min (pol./min), também conhecido como avanço da mesa, o avanço da máquina ou velocidade de avanço é o avanço da ferramenta em relação à peça em distância por unidade de tempo relacionada ao avanço por dente e número de dentes na fresa.

O número de dentes da fresa disponível na ferramenta (z_n) varia consideravelmente e é usado para determinar o avanço da mesa, enquanto o número efetivo de dentes (z_c) é o número efetivo de dentes em corte.

Avanço por rotação (f_n) em mm/rot (pol./rot) é um valor usado especificamente para calcular o avanço e, muitas vezes para determinar a capacidade de acabamento de uma fresa.

► Definições de termos

Profundidade de corte



a_e = Profundidade de corte radial mm (pol.)
[contato de trabalho]

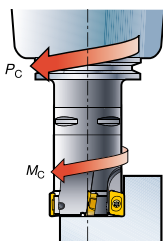
a_p = Profundidade de corte axial
(mm, pol.)

A profundidade de corte axial, a_p mm (pol.), é o que a ferramenta remove de metal na face da peça. Essa é a distância que a ferramenta está ajustada, abaixo da superfície não usinada.

largura da peça que está em contato com a parte do diâmetro da fresa em corte. É a distância da superfície que está sendo usinada ou, se o diâmetro da ferramenta for pequeno, que sendo coberta no corte pela ferramenta.

Largura de corte radial, a_e mm (pol.), é a

Potência líquida, torque e força de corte específica



a_p = Profundidade de corte axial (mm, pol.)

a_e = Profundidade de corte radial mm (pol.)
[Largura fresada]

v_f = Avanço da mesa mm/min (pol./min)

k_c = Força de corte específica N/mm² (lbs/pol.²)

P_C = Potência líquida kW (Hp)

M_C = Torque Nm (lbf pés)

A potência líquida (P_C) é a potência que a máquina deve ser capaz de proporcionar às arestas de corte para efetuar a ação de corte. A eficiência da máquina deve ser levada em consideração na seleção dos dados de corte.

Métrico

$$P_C = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6} \text{ kW}$$

O torque (M_C) é o valor de torque produzido pela ferramenta durante a ação de corte a qual a máquina deve ser capaz de suportar.

Polegadas

$$P_C = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{396 \times 10^3} \text{ Hp}$$

O valor de força de corte específica (k_{c1}) é uma constante de material, expresso em N/mm² (lbs/pol.²). Os valores podem ser encontrados em nossos principais catálogos de pedidos e no guia técnico.

Métrico

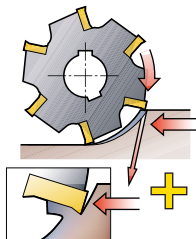
$$M_C = \frac{P_C \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} \text{ Nm}$$

Polegadas

$$M_C = \frac{P_C \times 16501}{\pi \times n} \text{ lbf-pés}$$

Fresamento concordante ou discordante

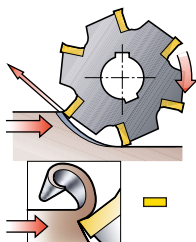
Fresamento concordante – método recomendado



Ao usar o fresamento concordante (também conhecido com fresamento ascendente), o efeito de aquecimento é evitado, resultando em menos calor e uma tendência mínima de endurecimento pela ação do corte.

- No fresamento concordante (ascendente), a pastilha inicia seu corte com espessura maior do cavaco.

Fresamento discordante



A direção de avanço da peça é oposta à rotação da fresa na área de corte.

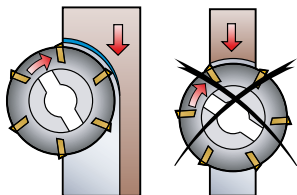
- No fresamento discordante (também conhecido com fresamento convencional), a espessura do cavaco inicia em zero e cresce até o final do corte.

Sempre use um fresamento concordante para melhores condições de corte.

Diâmetro de corte e posição

Geralmente, a escolha do diâmetro da fresa é feita com base na largura da peça e a disponibilidade da potência da máquina também é considerada.

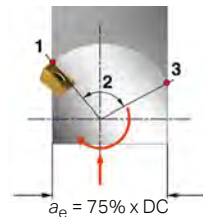
A posição da fresa em relação à largura da peça e o contato dos dentes da fresa, são fatores fundamentais para o sucesso da operação.



- O diâmetro da fresa deve ser 20 – 50% maior que a largura de corte.
- 2/3 régua (ou seja, fresa de 150 mm (5,906 pol.)
- 2/3 em corte, 100 mm (3,937 pol.)
- 1/3 fora de corte, 50 mm (1,969 pol.).
- Ao mover a fresa para fora do centro, será obtida uma direção mais constante e favorável das forças de corte.

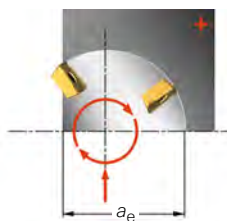
Formação de cavacos por meio da posição da fresa

A aresta de corte em direção radial entra em contato com a peça em três fases diferentes:



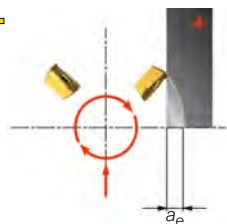
1. Entrada em corte
2. Arco de contato em corte
3. Saída do corte.

DC = Diâmetro da fresa
 a_e = largura fresada



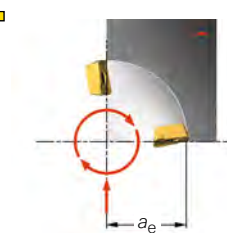
A linha de centro da fresa está dentro da largura fresada da peça, $a_e > 75\%$ de DC.

- Condições de corte mais favoráveis e uso otimizado do diâmetro da fresa.
- O impacto inicial na entrada de corte é absorvido ao longo da aresta de corte.
- A pastilha sai do corte gradualmente.



A linha de centro da fresa está fora da largura fresada da peça, $a_e < 25\%$ de DC.

- O ângulo de entrada da pastilha é positivo
- O impacto na entrada é absorvido pela ponta mais externa da pastilha e a carga é gradualmente absorvida pela ferramenta.



A linha de centro da fresa está alinhada com a borda da peça, $a_e = 50\%$ de DC.

- Não recomendado.
- As cargas na aresta de corte geradas pelo choque, são muito altas na entrada.



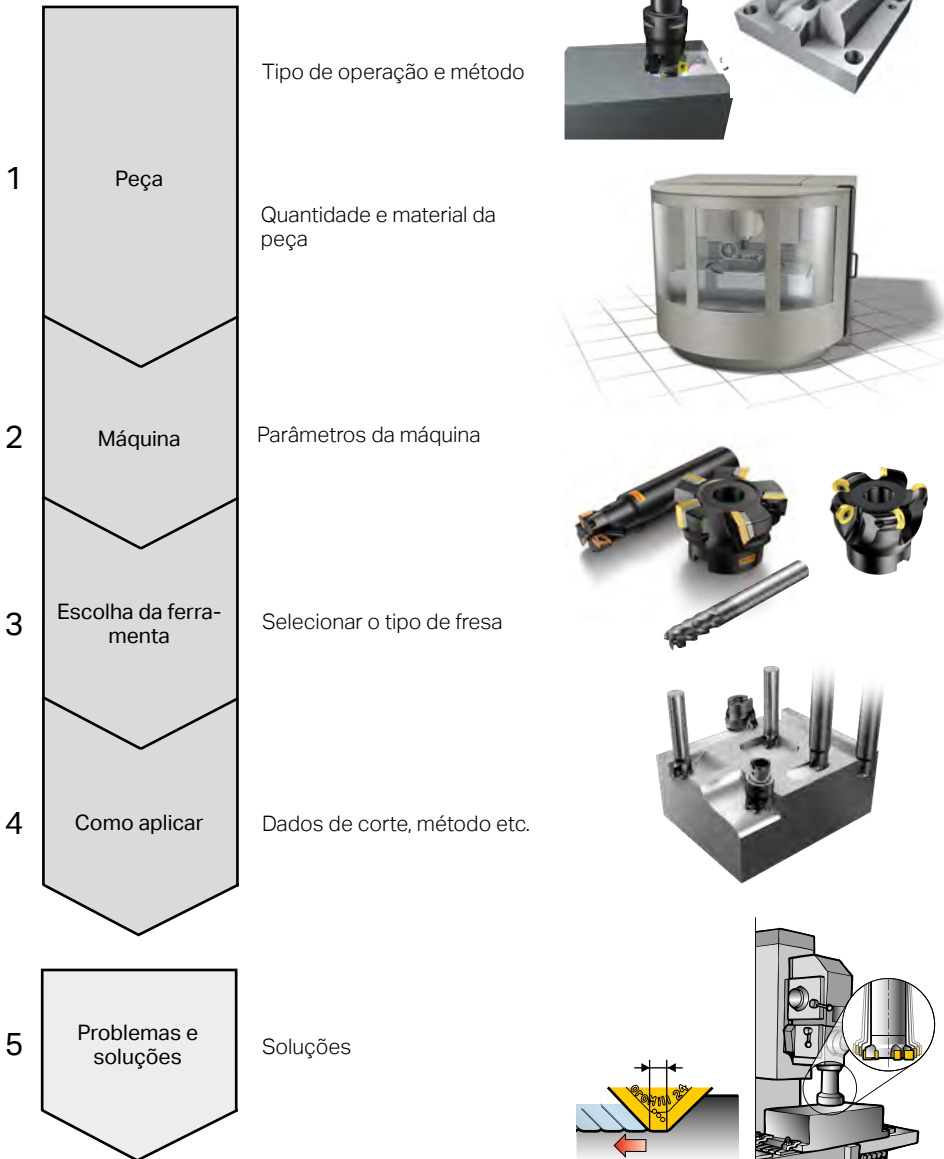
+ = Posição da fresa recomendada.



■ = Posição da fresa não recomendada.

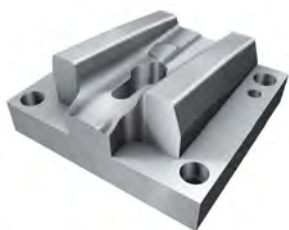
Procedimento para seleção

Processo de planeamento de produção



1. Peça e material da peça

Parâmetros a serem considerados



Forma geométrica

- Superfície plana
- Cavidades profundas
- Paredes finas/bases
- Canais.



Material

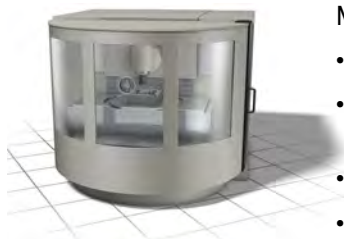
- Usinabilidade
- Fundido ou pré-usinada
- Formação de cavacos
- Dureza
- Elementos da liga.

Tolerâncias

- Precisão dimensional
- Acabamento superficial
- Distorção da peça
- Integridade da superfície.

2. Parâmetros da máquina

Condição da máquina e preparação (set-up)



Máquina

- Potência disponível
- Idade/condição – estabilidade
- Horizontal/vertical
- Tipo e tamanho de fuso
- Número de eixos/configuração
- Fixação da peça.

Sistemas de fixação

- Longos balanços
- Fixação ruim
- Batimento axial/radial.

3. Escolha da ferramenta

Diferentes maneiras de otimizar o fresamento

Fresas com pastilhas redondas



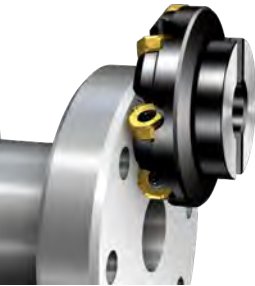
Vantagens

- Fresas robustas
- Muito flexível para faceamento e perfilamento
- Fresas de alto desempenho para diferentes propósitos.

Desvantagens

- As pastilhas redondas requerem máquinas mais estáveis.

Fresa de facear a 45°



Vantagens

- Escolha geral para faceamento
- Forças de corte axiais e radiais equilibradas
- Entrada suave no corte.

Desvantagens

- Profundidade máx. de corte 6-10 mm (0,236-0,394 pol.).

Fresa de facear cantos a 90°



Vantagens

- Excelente versatilidade
- Profundidade do corte maior
- Baixas forças de corte axiais (peças finas)
- Pastilhas de corte leve com quatro arestas efetivas.

Desvantagens

- Avanço por dente é relativamente baixo enquanto $f_z = h_{ex}$.

4. Como aplicar

Considerações importantes sobre a aplicação



Número de arestas de corte/passo

- É muito importante selecionar o número certo de arestas ou o passo.
- Isto afeta produtividade e estabilidade.

Estabilidade

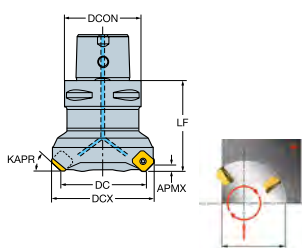
- Escolha o maior diâmetro de fuso possível.

Formação de cavacos por meio da posição da fresa

- Use sempre o fresamento concordante
- Mova a fresa para fora do centro
- Use uma fresa com um diâmetro 20–50% maior que o corte.

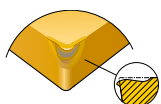
Geometria da pastilha

- Selecione entre uma geometria para usinagem leve, média ou pesada.



5. Problemas e soluções

Algumas áreas a considerar

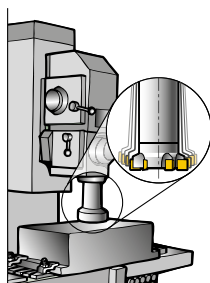


Desgaste da pastilha e vida útil da ferramenta

- Verifique o padrão de desgaste e, se necessário, ajuste os dados de corte.

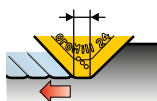
Acabamento superficial insatisfatório

- Verifique o batimento do fuso
- Use pastilhas Wiper
- Diminua o avanço por dente.



Vibração

- Fixação fraca
- Ferramentas com longos balanços
- Peça fraca
- Tamanho do cone do fuso.



Visão geral do sistema

Faceamento

Fresas para uso geral

Fresa de facear com pastilhas redondas para condições difíceis

Fresas para cantos a 90° e de facear para operações de faceamento leve

Fresa de facear para uso geral com ângulo de posição (ataque) de 45°



Fresas dedicadas

Fresas de facear com alto avanço

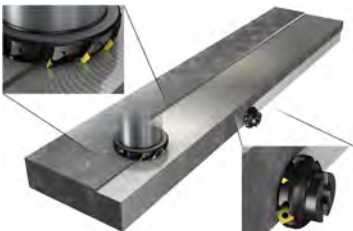


Fresas de facear para usinagem de ferro fundido

K



Fresas de facear para usinagem pesada



Fresas de facear para usinagem de alumínio

N



► Fresamento de cantos a 90°

Fresas para uso geral

Fresa para cantos a 90° e de facear para usinagem pesada

Fresamento de cantos a 90° e faceamento para operações leves

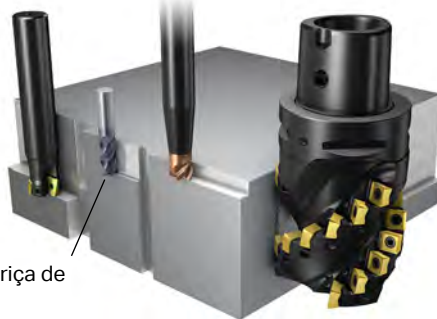


Fresa de disco para fresamento lateral e faceamento em operações de cantos a 90°

Fresas de topo e fresas de aresta long (Abacaxi)

Fresa de topo com pastilha intercambiável

Fresa de topo inteiriça de metal de duro com cabeça intercambiável



Fresa de topo inteiriça de metal duro

Fresa de aresta longa (Abacaxi)

Fresamento de cantos a 90° profundos

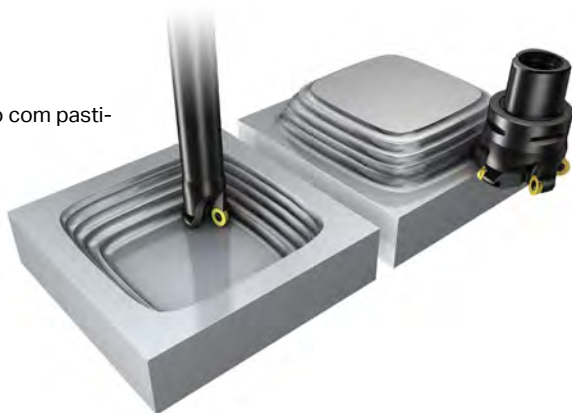
Usinagem de borda com fresas para cantos a 90°



► Perfilamento

Fresas para uso geral – desbaste

Fresa de topo com pastilha redonda



Fresa com pastilha redonda

Fresas para uso geral – acabamento

Fresa de topo Ball Nose
inteiriça de metal duro



Fresa de topo inteiriça de metal de duro com cabeça intercambiável

Outros métodos

Tornofresamento



Fresamento de lâmina

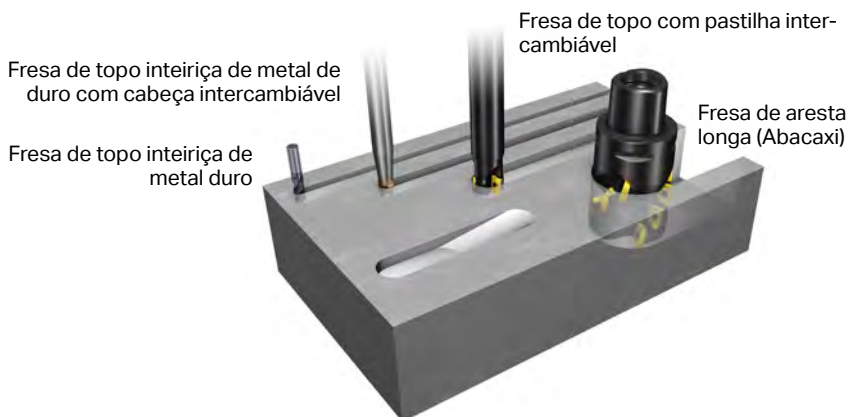


► Fresamento de canais

Fresas para uso geral – fresamento de canais radiais



Fresas para uso geral – fresamento de canais axiais



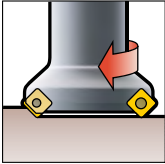
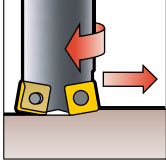
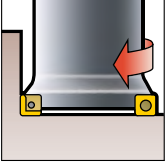
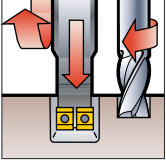
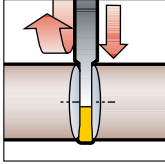
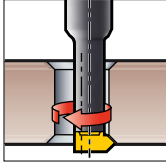

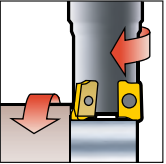
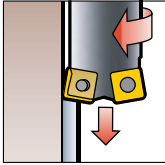
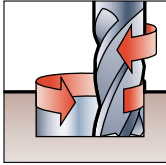
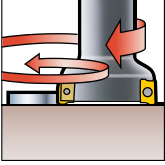
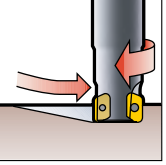
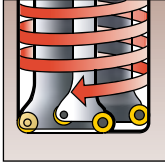
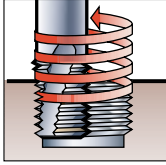
Fresamento de roscas e usinagem de canais rasos



Visão geral das operações de fresamento

O fresamento moderno é um método de usinagem universal. Durante os últimos anos, acompanhando o desenvolvimento de máquinas-ferramentas, o fresamento evoluiu como um método capaz de usinar uma gama muito ampla de configurações. A escolha dos métodos em máquinas multieixos faz com que fresamento seja um forte concorrente para usinar furos, cavidades, superfícies que podem ser torneadas, rosqueadas etc.

Os desenvolvimentos de ferramentas, também contribuíram com novas possibilidades, junto com os ganhos em produtividade, confiabilidade e consistência de qualidade das pastilhas intercambiáveis e da tecnologia do metal duro.

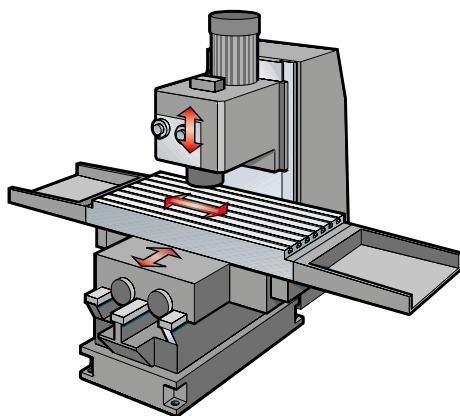
Faceamento	Fresamento com altos avanços	Fresamento de cantos a 90°	Fresamento de canais
			
Cortes	Chanframento	Fresamento de perfis	Tornofresamento
			
Fresamento em mergulho	Fresamento trocoidal	Fresamento circular	Fresamento em rampa linear
			
Interpolação helicoidal	Fresamento de roscas		
			

Métodos de fresamento

As máquinas de fresamento podem ser operadas manualmente, mecanicamente automatizadas ou digitalmente automatizadas por controle numérico computadorizado (CNC).

Métodos de fresamento convencionais

Máquinas de fresamento vertical



Com mais frequência em máquinas de 3 eixos convencionais, ocorrem as operações de faceamento plano, cantos a 90 graus e canais.

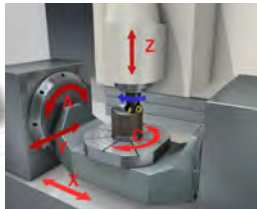
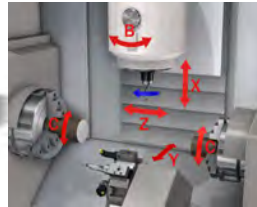
As superfícies e formas, além das descritas abaixo, estão aumentando continuamente conforme aumenta o número de centros de usinagem de cinco eixos e máquinas multitarefas.

Faceamento	Fresamento com altos avanços	Fresamento de cantos a 90°	Fresamento de canais
Cortes	Chanframento	Fresamento em mergulho	

Métodos de fresamento avançados


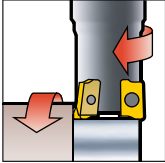
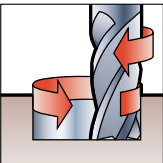
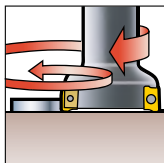
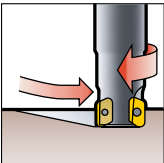
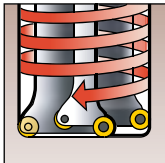
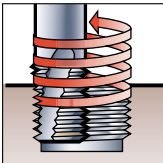
Máquinas modernas de 4 a 5 eixos

Atualmente, as máquinas são desenvolvidas para operar em todas as direções. Os centros de torneamento agora tem a capacidade de fresar usando ferramentas acionadas e centros de usinagem tem a capacidade de torner através de máquinas de tornofresamento ou fresatorneamento. Desenvolvimentos CAM significam que as máquinas 5 eixos estão aumentando.



Os resultados dessas tendências e o desenvolvimento de métodos, colocam novas demandas e oportunidades em ferramentas, como:

- Maior flexibilidade
- Poucas máquinas/set-ups para concluir uma peça
- Estabilidade reduzida
- Ferramentas mais longas
- Profundidade de corte menor.

Fresamento de perfís	Tornofresamento	Fresamento trocoidal	Fresamento circular
			
Fresamento em rampa linear	Interpolação helicoidal	Fresamento de roscas	
			

Posicionamento das fresas para faceamento

Tipo de fresa				
	Pastilhas redondas	10-25°	45°	90°
Considerações				
Máquina/tamanho do fuso	ISO 40, 50	ISO 40, 50	ISO 40, 50	ISO 30, 40, 50
Exigência de estabilidade	alta	alta	Médio	baixa
Desbaste	Muito boa	Boa	Muito boa	Aceitável
Acabamento	Aceitável	Aceitável	Muito boa	Boa
Profundidade de corte a_p	Média	Pequena	Média	Grande
Versatilidade	Muito boa	Boa	Boa	Muito boa
Produtividade	Muito boa	Muito boa	Muito boa	Boa

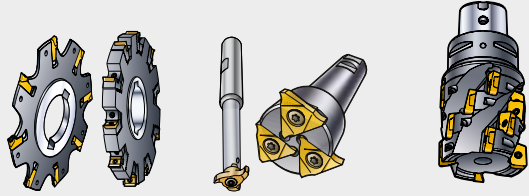
Posicionamento das fresas para fresamento de cantos a 90°


Tipo de fresa				
	90°	90°	90°	90°
Máquina/tamanho do fuso	ISO 40, 50	ISO 30, 40, 50	ISO 40, 50	ISO 30, 40, 50
Exigência de estabilidade	alta	alta	Média	baixa
Desbaste	Muito boa	Boa	Aceitável	Boa
Acabamento	Aceitável	Aceitável	Muito boa	Boa
Profundidade de corte a_p	Grande	Média	Pequena	Grande
Material	Todos	Todos	Alumínio	Alumínio
Versatilidade	Muito boa	Muito boa	Aceitável	Boa

Posicionamento das fresas para fresamento de perfis

Tipo de fresa				
Considerações	Pastilhas redondas	Ponta esférica intercambiável	Ponta esférica intercambiável	Ponta esférica Metal duro
Máquina/tamanho do fuso	ISO 40, 50	ISO 40, 50	ISO 30, 40	ISO 30, 40
Exigência de estabilidade	alta	Média	Média	baixa
Desbaste	Muito boa	Boa	Aceitável	Aceitável
Acabamento	Aceitável	Aceitável	Muito boa	Muito boa
Profundidade de corte a_p	Média	Média	Pequena	Pequena
Versatilidade	Muito boa	Muito boa	Muito boa	Muito boa
Produtividade	Muito boa	Boa	Boa	Boa

Posicionamento das fresas para canais

Tipo de fresa			
	Canal Disco e facear	Usinagem de canais	Aresta longa
Considerações			
Máquina/tamanho do fuso	ISO 50	ISO 40, 50	ISO 40, 50
Canal aberto	Aberto	Aberto	Aberto
Canal fechado	Fechado	Fechado	Fechado
Largura de corte	Pequena	Pequena	Grande
Profundidade de corte a_p	Média-grande	Pequena	Média-grande
Versatilidade	Limitada	Boa	Boa

Tipo de fresa			
	Fresa de topo com pastilha intercambiável	Fresamento de topo intercambi- ável	Fresa de topo inteiriça de metal duro
Considerações			
Máquina/tamanho do fuso	ISO 30, 40, 50	ISO 30, 40, 50	ISO 30, 40, 50
Canal aberto	Aberto	Aberto	Aberto
Canal fechado	Fechado	Fechado	Fechado
Largura de corte	Média	Pequena	Pequena
Profundidade de corte a_p	Média	Pequena	Grande
Versatilidade	Muito boa	Muito boa	Muito boa

Escolha da pastilha e como aplicar

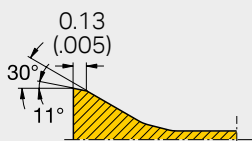


Modernas pastilhas de fresamento para operações de faceamento.

O desenho moderno de uma pastilha para fresamento

Definições de termos e desenho da geometria

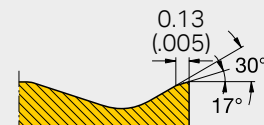
Desenho de canto



- Reforço da aresta de corte 0,13 mm (0,005 pol.)
- Ângulo de saída 30°
- Fase primária 11°.



Desenho da aresta de corte principal



- Reforço da aresta de corte 0,13 mm (0,005 pol.)
- Ângulo de saída 30°
- Fase primária 17°.

Canto reforçado

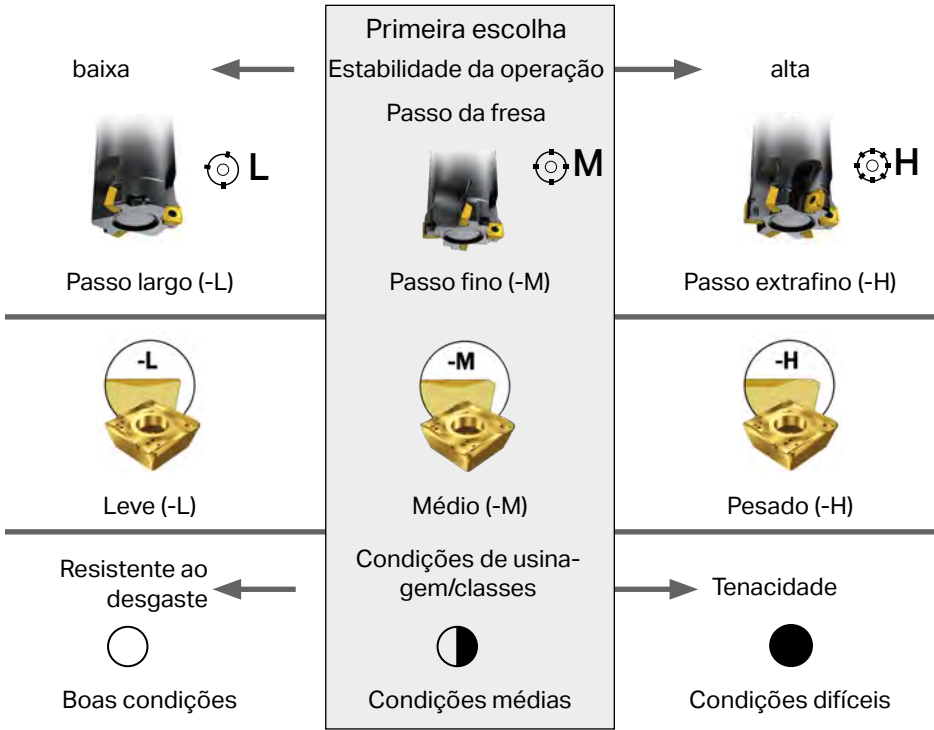


Formador de cavaco

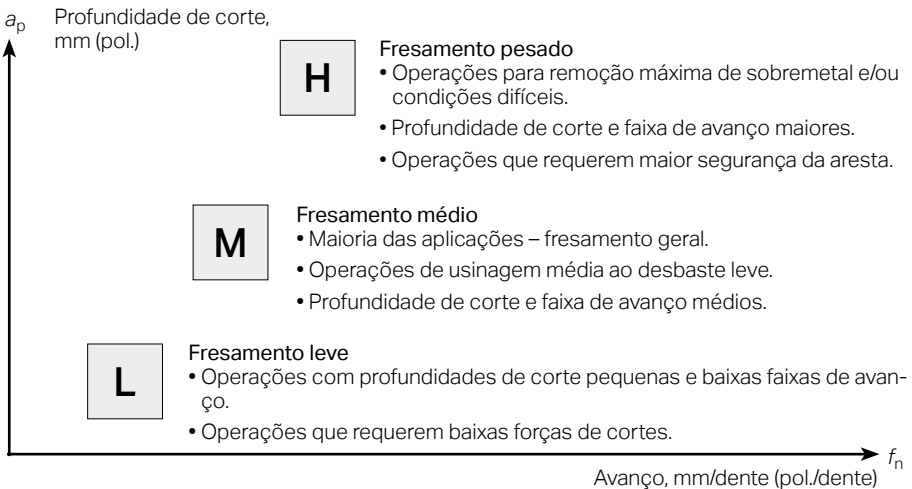


Desenho da aresta de corte principal

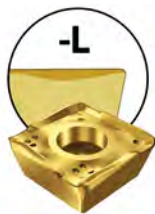
Selecione a ferramenta para fresamento



Tipo de aplicação

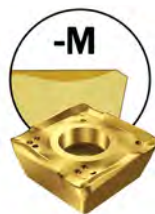


Selecione a geometria da pastilha



Leve (-L)

- Extrapositivo
- Usinagem leve
- Baixas forças de corte
- Baixas faixas de avanço.



Médio (-M)

- Geometria de uso geral
- Faixa média de avanços
- Operações de usinagem média ao desgaste leve.

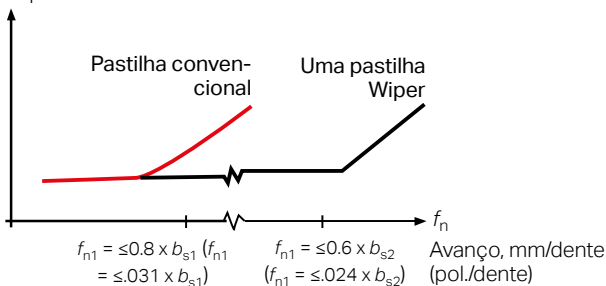


Pesado (-H)

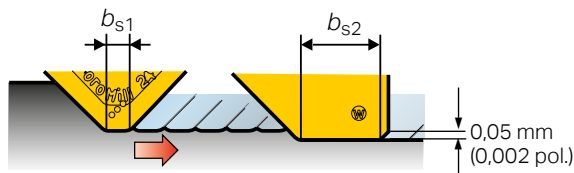
- Aresta de corte reforçada
- Usinagem pesada
- Alta segurança da aresta
- Altas taxas de avanço.

Obtenha um bom acabamento superficial no fresamento

Rugosidade superficial



- Use pastilhas Wiper para maior produtividade e melhor acabamento superficial
- Limite o avanço a 60% da fase paralela
- Monte as pastilhas Wiper corretamente
- Ajuste as pastilhas Wiper abaixo das outras pastilhas.



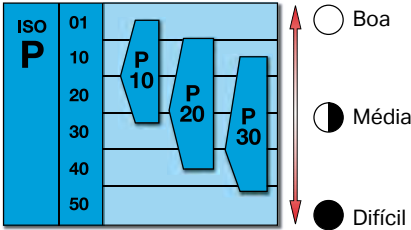
b_s , mm 2.0 (pol.) (,079)

8.2 (.323)

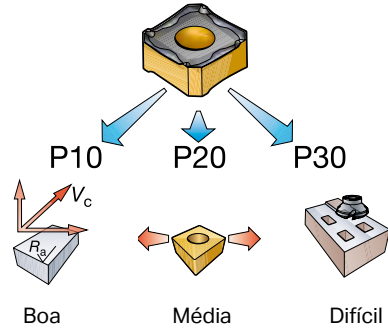
Como selecionar a classe da pastilha

Selecione a geometria e a classe de acordo com a aplicação.

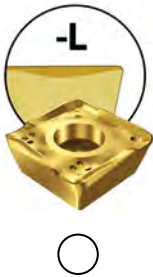
Composição de uma tabela de classes



Condições de usinagem

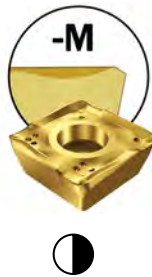


Defina as condições de usinagem



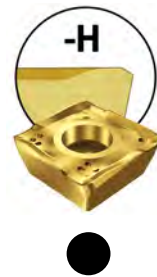
Condições boas

- Profundidade de corte 25% do a_p máx. ou menos
- Balanço abaixo de duas vezes o diâmetro da fresa
- Cortes contínuos
- Usinagem com ou sem refrigeração.



Condições médias

- Profundidade de corte 50% do a_p máx. ou mais
- Balanço de duas a três vezes o diâmetro da fresa
- Cortes interrompidos
- Usinagem com ou sem refrigeração.



Condições difíceis

- Profundidade de corte 50% do a_p máx. ou mais
- Balanço com mais de três vezes o diâmetro da fresa
- Cortes interrompidos
- Usinagem com ou sem refrigeração.

► Classes dedicadas para ISO P, M e K

Classes dedicadas para minimizar o desenvolvimento de desgaste das ferramentas

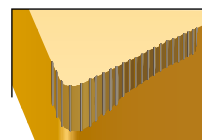
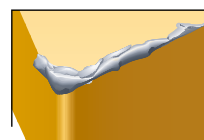
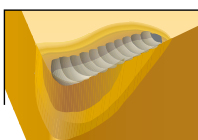
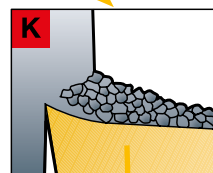
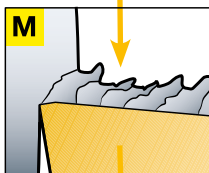
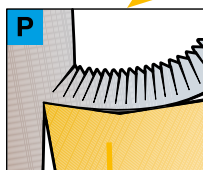
O material da peça influencia o desgaste durante a ação de corte em diferentes maneiras. Portanto, classes especiais foram desenvolvidas para lidar com mecanismos básicos de desgaste, ex.:

- Desgaste do flanco, craterização e deformação plástica, no aço

- Aresta postiça e desgaste de entalhe, no aço inoxidável

- Desgaste do flanco e deformação plástica, no ferro fundido.

Selecione a geometria e a classe dependendo do tipo do material da peça e do tipo de aplicação.



ISO P



ISO M



ISO K

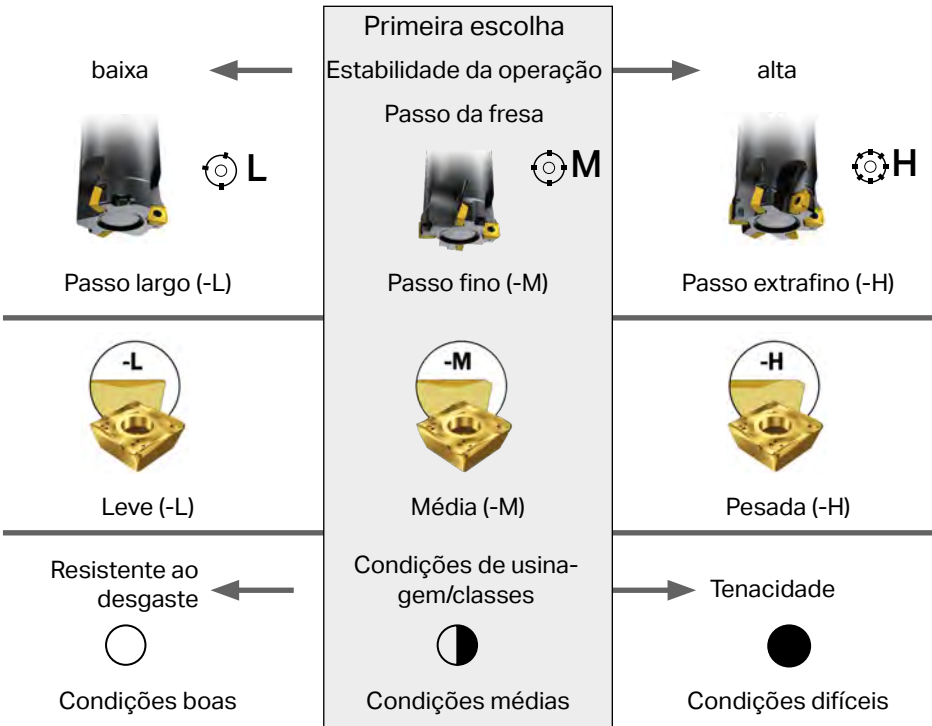


Escolha de fresa e como aplicar



Fresas para faceamento de alta performance para profundidades de corte pequenas às médias.

Selecione a ferramenta para fresamento



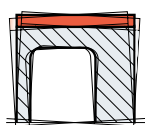
Selecione os passos de fresa

baixa

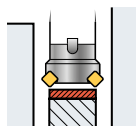


Passo largo (-L)

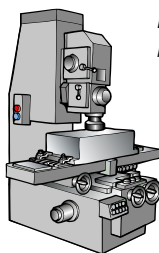
- Número de pastilhas reduzido
- Estabilidade limitada
- Longos balanços
- Máquinas pequenas/potência limitada
- Operações de canais em cheio profundos
- Passo diferencial.



Estabilidade limitada



Longos balanços



Potência limitada

Primeira escolha

Estabilidade da operação

Passo da fresa



Passo fino (-M)

- Uso geral
- Apropriada para produção mista
- Máquinas pequenas a médias
- Geralmente, primeira escolha.



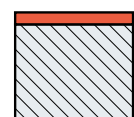
Primeira escolha

alta

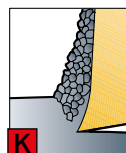


Passo extrafino (-H)

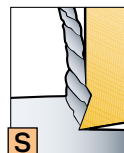
- Alto número de pastilhas para produtividade máxima
- Condições estáveis
- Materiais de cavacos curtos
- Materiais resistentes ao calor.



Condições estáveis



Ferro fundido (CMC 08)

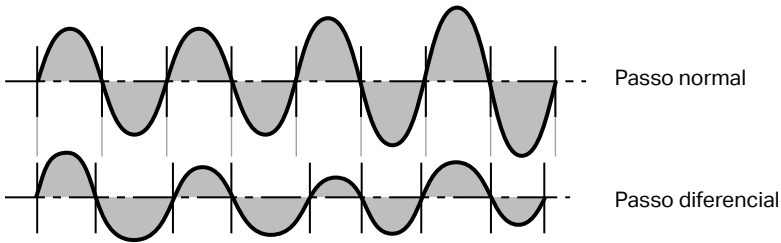


Ligas resistentes ao calor (CMC 20)

Passo diferencial

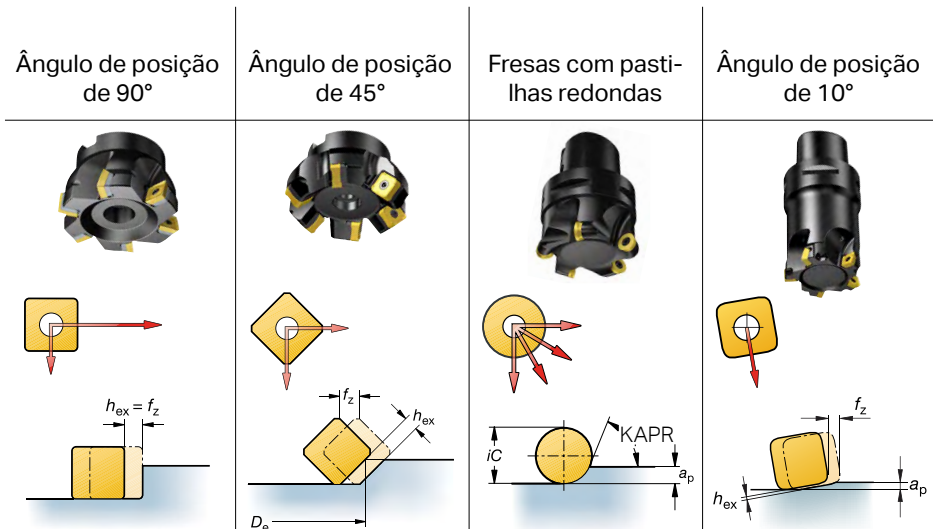
Em geral, quanto mais largo o passo da fresa, menor a chance de vibração. Algumas vezes, substituir uma fresa de 16 dentes por uma fresa de 12 dentes elimina a vibração. Uma fresa com passo diferencial pode ser necessária em casos mais difíceis de eliminar problemas de ressonância.

As fresas com passos diferenciais tem espaçamento irregular entre as pastilhas, que afeta a amplitude de vibração de cada dente. Redução do risco de vibração.



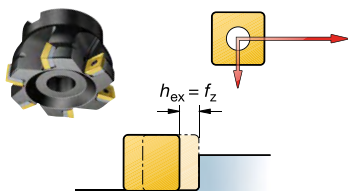
O passo diferencial reduz o risco de vibração.

Forças de corte no ângulo de posição



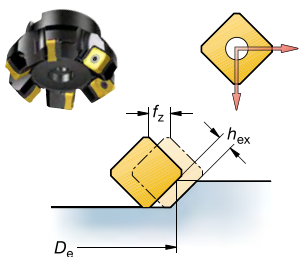
Forças de corte axiais e radiais

Efeito do ângulo de posição (90°)



- Peças com paredes finas
- Peças com fixação fraca axialmente
- Canto a 90 graus
- $h_{ex} = f_z$ (em caso $a_e > 50\% \times DC$).

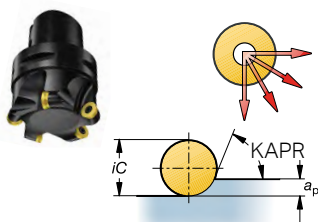
Efeito do ângulo de posição (45°)



- 1ª escolha para uso geral
- Vibração reduzida em ferramentas com longos balanços
- Efeito de afinamento de cavacos permite maior produtividade
- $f_z = 1,41 \times h_{ex}$ (Compensação para ângulo de posição).

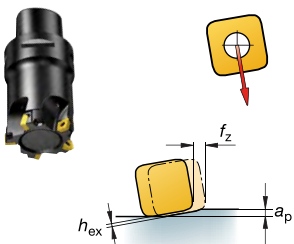
Efeito do ângulo de posição (Variável)

Nas pastilhas redondas, a pressão dos cavacos e o ângulo de posição variam conforme a profundidade do corte.



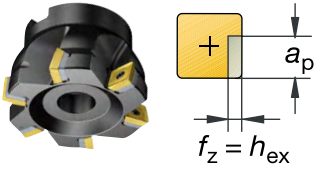
- Aresta de corte mais resistente com várias posições de indexação
- Fresa para uso geral
- Maior efeito de afinamento dos cavacos para ligas resistentes ao calor
- h_{ex} = depende em a_p .

Ângulo de posição de 10°

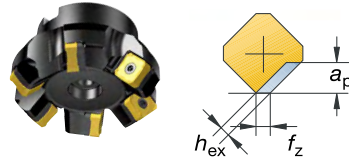


- Fresas com altos avanços
- Um cavaco fino é gerado, permite avanços muito altos por dente
- A força axial de corte é direcionada para o fuso e dá mais estabilidade.

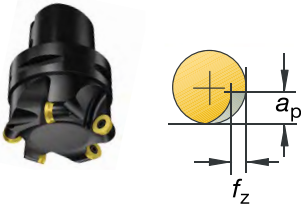
Compensação de avanço para ângulo de posição diferentes



$$90^\circ = (f_z \text{ ou } h_{ex}) \times 1,0$$



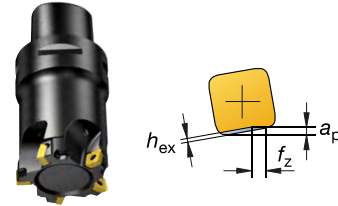
$$45^\circ = (f_z \text{ ou } h_{ex}) \times 1,41$$



Redonda = depende de a_p

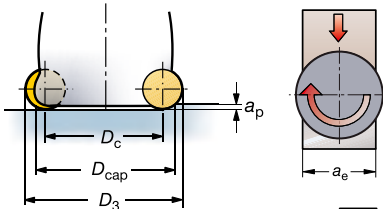
$$\sqrt{\frac{iC}{a_p}}$$

Fator de compensação



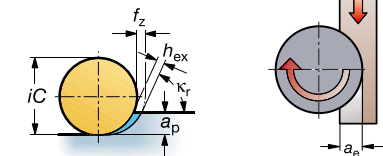
$$10^\circ = (f_z \text{ ou } h_{ex}) \times 5,76$$

Fórmulas para fresas com pastilhas redondas



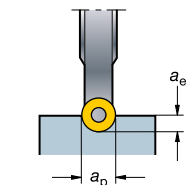
Diâmetro máx. de corte em profundidade específica (pol.).

$$D_{cap} = DC + \sqrt{iC^2 - (iC - 2 \times a_p)^2}$$



Pastilha redonda para faceamento ($a_p < iC/2$) (pol.).

$$f_z = \frac{h_{ex} \times iC}{2 \times \sqrt{a_p \times iC - a_p^2}}$$



Fresamento de disco ($a_e < D_{cap}/2$) e pastilha redonda ($a_p < iC/2$) (pol.).

$$f_z = \frac{h_{ex} \times iC \times D_{cap}}{4 \times \sqrt{a_p \times iC - a_p^2} \times \sqrt{D_{cap} \times a_e - a_e^2}}$$

Cálculo dos dados de corte

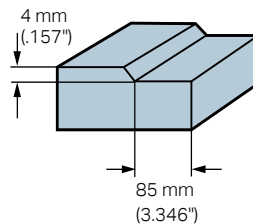
Exemplo para faceamento

Considere:

- Velocidade de corte, $v_c = 225$ m/min (738 pés/min)
- Avanço por dente, $f_z = 0,21$ mm (0,0082 pol.)
- Número de dentes da fresa, $z_n = 5$
- Diâmetro da fresa, DC = 125 mm (4,921 pol.)
- Profundidade de corte, $a_p = 4$ mm (0,157 pol.)
- Largura fresada, $a_e = 85$ mm (3,346 pol.)

Necessidade:

- Velocidade do fuso, n (rpm)
- Avanço da mesa, v_f (mm/min (pol./min))
- Taxa de remoção de metal, Q (cm³/min (pol.³/min))
- Consumo de potência kW (Hp)



Velocidade do fuso

Considere: $v_c = 225$ m/min (738 pés/min)

Métrico

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times DC} \quad (\text{rpm})$$

$$n = \frac{225 \times 1000}{3,14 \times 125} = 575 \text{ rpm}$$

Polegadas

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times DC} \quad (\text{rpm})$$

$$n = \frac{738 \times 12}{3,14 \times 4,921} = 575 \text{ rpm}$$

Avanço da mesa

Considere: $n = 575$ rpm

Métrico

$$v_f = n \times f_z \times z_n \quad (\text{mm/min})$$

$$v_f = 575 \times 0,21 \times 5 = 600 \text{ mm/min}$$

Polegadas

$$v_f = n \times f_z \times z_n \quad (\text{pol./min})$$

$$v_f = 575 \times .0082 \times 5 = 23,6 \text{ pol./min}$$

Taxa de remoção de metal

v_f considere = 600 mm/min (23,6 pol./min)

Métrico

$$Q = \frac{a_p \times a_e \times v_f}{1000} \quad (\text{cm}^3/\text{min})$$

$$Q = \frac{4 \times 85 \times 600}{1000} = 204 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Polegadas

$$Q = a_p \times a_e \times v_f \quad (\text{pol.}^3/\text{min})$$

$$Q = .157 \times 3,346 \times 23,6 = 12,4 \text{ pol.}^3/\text{min}$$

Consumo de potência líquida

Considere: Material CMC 02.1

Métrico

$$P_c = \frac{a_e \times a_p \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6} \quad (\text{kW})$$

Polegadas

$$P_c = \frac{a_e \times a_p \times v_f \times k_c}{396 \times 10^3} \quad (\text{Hp})$$

Fresamento com largura fresada grande

ISO	CMC No.	Material	Specific cutting force k_c 1	Hardness Brinell	mc	CT530	
						Max chip thickness 0.1 – 0.15 – 0.2	Cutting speed v_c
P	Steel		N/mm ²	HB			
	Unalloyed						
	01.1	C = 0.10 – 0.25%	1500	125	0.25	430–390–50	
	01.2	C = 0.25 – 0.55%	1600	150	0.25	385–350–15	
	01.3	C = 0.55 – 0.80%	1700	170	0.25	365–330–00	
	01.4		1800	210	0.25	315–290–60	
	01.5		2000	300	0.25	235–210–95	
	Low alloyed (alloying elements 5%)		1700	175	0.25	300–275–45	
	Non-hardened						
	02.2	Hardened and tempered	1900	300	0.25	195–180–60	
	High alloyed (alloying elements > 5%)		1950	200	0.25	230–205–85	
	Annealed						
	03.11	Hardened tool steel	2150	200	0.25	190–170–55	
	03.21		2900	300	0.25	165–150–35	
	03.22		3100	380	0.25	105–95–85	
Castings		1400	150	0.25	305–280–50		
Unalloyed							
06.2	Low alloyed (alloying elements 5%)	1600	200	0.25	245–220–00		
06.3	High alloyed (alloying elements > 5%)	1950	200	0.25	180–160–45		

Specific cutting force k_c ,016	Hardness Brinell	n
216,500	125	0
233,000	150	0
247,000	170	0
260,500	210	0
291,500	300	0
246,500	175	0
278,500	300	0
282,000	200	0
311,000	200	0
420,000	300	0
446,500	380	0
204,000	150	0
230,500	200	0
283,500	200	0

$$P_c = \frac{85 \times 4 \times 600 \times 1700}{60 \times 10^6} = 5.8 \text{ kW}$$

$$P_c = \frac{3.346 \times 1.157 \times 23.6 \times 246500}{396 \times 10^3} = 7.7 \text{ Hp}$$

O cálculo acima é aproximado e válido para espessura média de cavacos (h_m) de 1 mm (0,039 pol.).

Para um valor mais preciso de consumo de potência (P_c) o valor k_c deve ser calculado de acordo.

Métrico

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_o}{100}\right) \quad (\text{N/mm}^2)$$

Polegadas

$$k_c = k_{c1} \times \left(\frac{0.039}{h_m}\right)^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_o}{100}\right) \quad (\text{lbs/pol.}^2)$$

h_m = Espessura média do cavaco

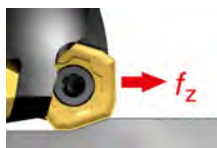
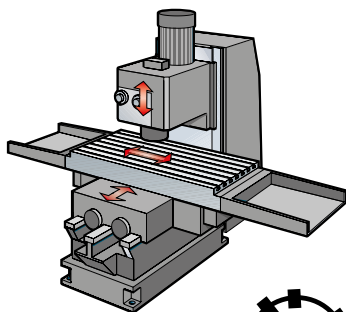
γ_o = Ângulo de saída da pastilha

m_c = Fator de compensação da espessura do cavaco

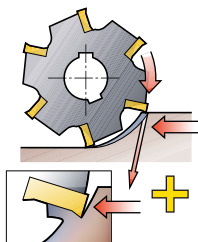
k_c = Força de corte específica

k_{c1} = Força de corte específica para espessura média de cavacos 1 mm (0,039 pol.).

Dicas de aplicação para fresamento



Até 0,50 mm (0,020 pol.)



Capacidade de potência

- Verifique a capacidade de potência e rigidez da máquina, certifique-se que a máquina pode suportar o diâmetro da fresa necessário.

Estabilidade da peça

- Condição e consideração de fixação da peça.

Balanco

- Máquina com o balanço mais curto possível no fuso.

Selecione o passo correto da fresa

- Use o passo correto da fresa para a operação, a fim de assegurar que não haja muitas pastilhas em corte ao mesmo tempo, porque isso pode causar vibração.

Contato de corte

- Assegure que há contato suficiente da pastilha em peças estreitas ou durante o fresamento com interrupções.

Escolha da geometria da pastilha

- Use as pastilhas intercambiáveis com geometria positiva sempre que possível para ação de corte suave e consumo mais baixo de potência.

Use o avanço correto

- Certifique-se que o avanço por pastilha seja correto, para alcançar uma ação de corte adequada para a espessura máxima dos cavacos recomendada.

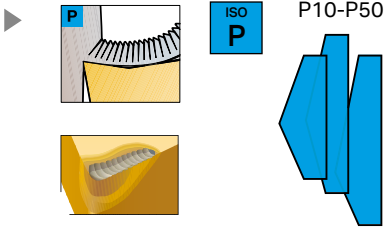
Direção de corte

- Use o fresamento concordante sempre que possível.

Consideração da peça

- Material e configuração da peça. Também demanda qualidade na superfície a ser usinada.





Escolha da classe da pastilha

- Selecione a classe dependendo do tipo do material da peça e do tipo de aplicação.

Ferramentas para fresamento antivibratórias

- Para longos balanços acima de 4 vezes o diâmetro da ferramenta, a tendência à vibração pode tornar-se mais visível e as fresas antivibratórias podem melhorar a produtividade significativamente.

Ângulo de posição

- Selecione o ângulo de posição mais adequado.

Diâmetro da fresa

- Selecione o diâmetro certo em relação à largura da peça.

Posição da fresa

- Posicione a fresa corretamente.

Entrada e saída da fresa

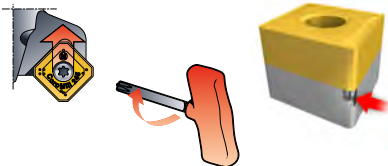
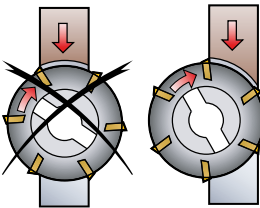
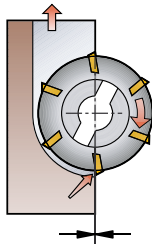
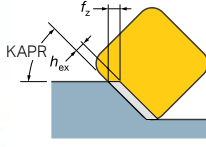
- Pode ser observada ao fazer rolagem para dentro do corte, a espessura do cavaco na saída é quase zero, permitindo maior avanço e maior vida útil da ferramenta.

Refrigeração

- Use refrigeração somente se considerar necessário. Geralmente, o fresamento é melhor sem refrigeração.

Manutenção

- Siga as recomendações de manutenção da ferramenta e monitore o desgaste da ferramenta.





Furação

A furação abrange métodos de usinagem de furos cilíndricos em uma peça com ferramentas de usinagem

- Teoria E 4
- Procedimento para seleção E 15
- Visão geral do sistema E 20
- Como aplicar E 26
- Tolerâncias e qualidade do furo E 38
- Problemas e soluções E 43

O processo de furação



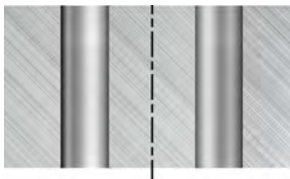
- A broca trabalha sempre dentro da peça, impedindo a visualização da operação.
- Os cavacos devem ser controlados.
- O escoamento de cavacos é essencial; ele afeta a qualidade do furo, a vida útil da ferramenta e a confiabilidade.

Os quatro métodos comuns de furação

Furação



Trepanação



A furação é classificada em quatro métodos comuns:

- Furação
- Trepanação
- Furação de chanfros
- Usinagem de furos escalonados

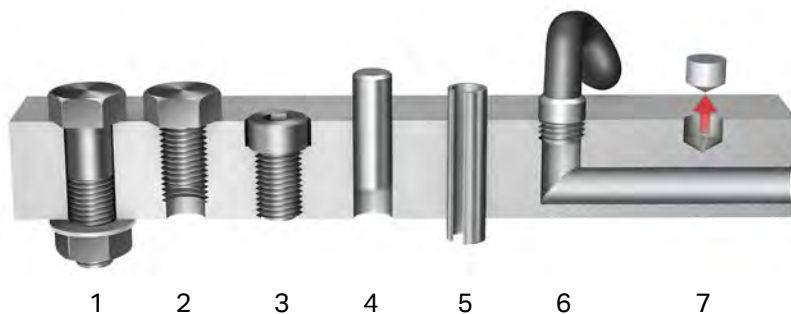
Furação de chanfros



Usinagem de furos escalonados



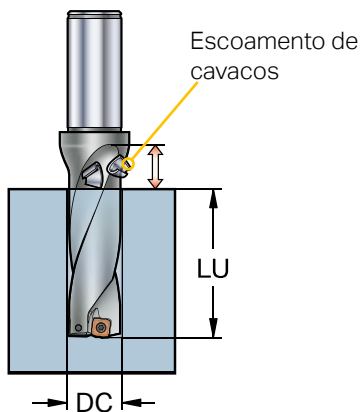
O furos mais comuns



O furos mais comuns são:

- 1 Furos com folga para parafusos
- 2 Furos com rosca para parafuso
- 3 Furos escareados
- 4 Furos que tem bom ajuste
- 5 Furos com ajuste deslizante
- 6 Furos que formam canais
- 7 Furos para remover peso para balanceamento.

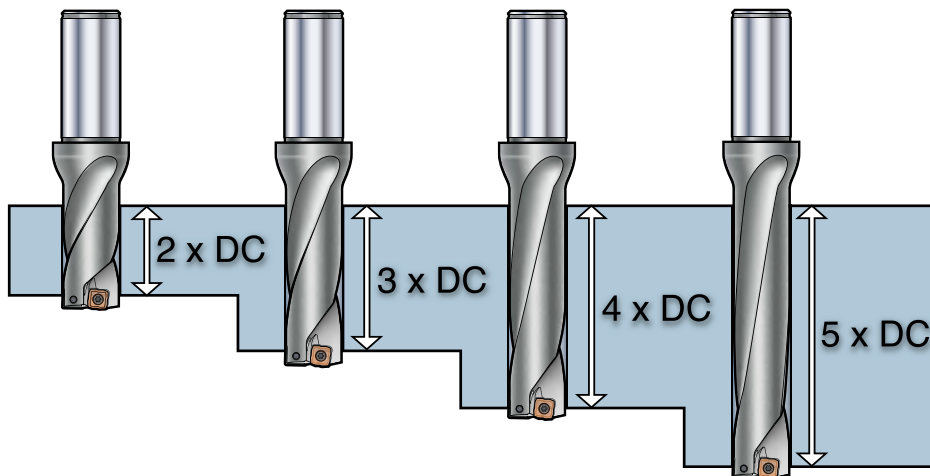
Profundidade máxima do furo



A profundidade do furo (LU) determina a escolha da ferramenta.

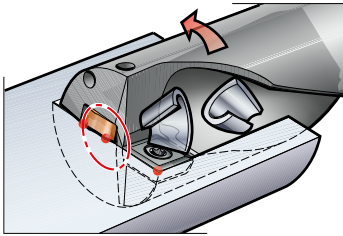
Profundidade máxima do furo é em função do diâmetro do furo DC e da profundidade de furo (LU).

Exemplo: profundidade máx. do furo: 3 x DC.

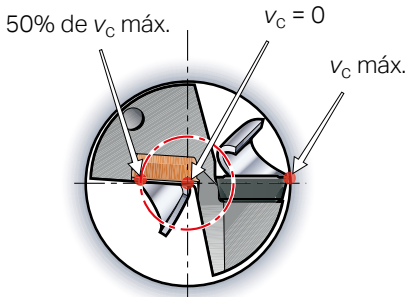


Teoria de furação

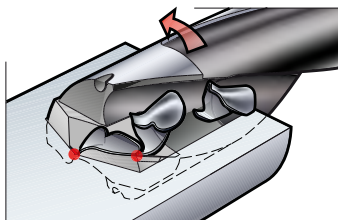
Velocidades de corte para brocas intercambiáveis



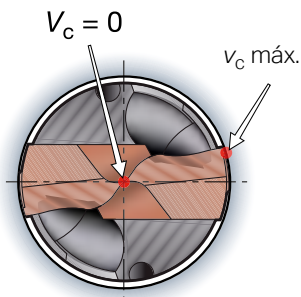
- Velocidade de corte (v_c) para brocas intercambiáveis cai de 100% na periferia a zero no centro.
- A pastilha central opera a partir da velocidade de corte zero até aprox. 50% de v_c máx. A pastilha periférica trabalha de 50% do v_c máx. até 100% de v_c máx.
- Uma aresta de corte efetiva/rot: = z_c .



Velocidades de corte para brocas com ponta intercambiável



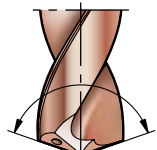
- Duas arestas de corte efetivas do centro até a periferia.
- Duas arestas/rot: = z_c .



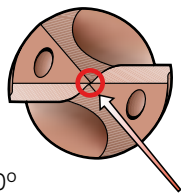
Broca inteiriça de metal duro (SCD) vs. brocas de alta velocidade (HSS)

Ângulo de ponta e aresta transversal

Broca inteiriça de metal duro

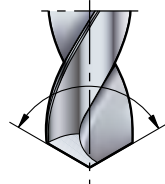


Ângulo de ponta de 140°

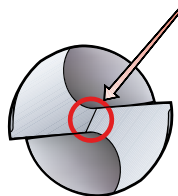


Aresta transversal

Broca HSS



Ângulo de ponta de 118°



1 Aresta de corte principal

2 Aresta transversal

3 Folga primária

4 Folga secundária

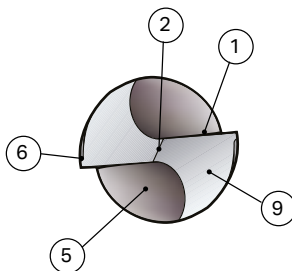
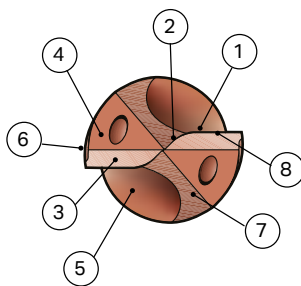
5 Canal

6 Guia

7 Fase de alívio

8 Chanfro negativo

9 Superfície de folga



- A aresta transversal é praticamente eliminada com a broca inteiriça de metal duro.

- A força de corte axial é reduzida consideravelmente porque a aresta transversal é eliminado nas brocas inteiriças de metal duro.

- Isso resulta em melhores recursos de centralização e formação dos cavacos próximo ao centro da ponta da broca, eliminando a necessidade de uso da broca de centro.

Broca sólida de metal duro - Vantagens

- A aresta transversal é praticamente eliminada

- A aresta de corte principal alcança o ponto central

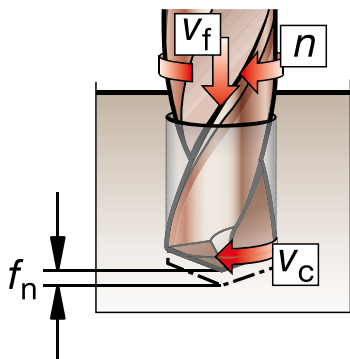
- Prolonga a vida útil e aumenta a produtividade

- Reduz a força de avanço e o torque

- Melhores tolerâncias

Definições de termos

Velocidade de corte



A produtividade da furação está intimamente relacionada à taxa de penetração, v_f .

n = velocidade do furo (rpm)
 v_c = velocidade de corte m/min (pés/min)
 f_n = avanço por rotação mm/r (pol./r)
 v_f = taxa de penetração mm/min (pol./min)
 DC = diâmetro da broca mm (pol.)

Métrico

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{1000} \text{ m/min}$$

Polegadas

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{12} \text{ pés/min}$$

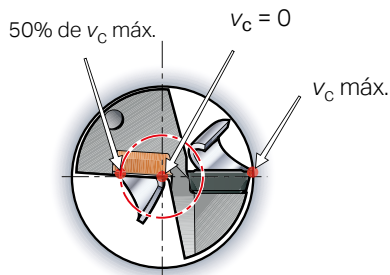
$$v_f = f_n \times n \text{ mm/min (pol./min)}$$

Velocidades de corte para brocas intercambiáveis

Velocidade de corte (v_c) para brocas intercambiáveis cai de 100% na periferia a zero no centro.

A pastilha central opera a partir da velocidade de corte zero até aprox. 50% de v_c máx. A pastilha periférica trabalha de 50% do v_c máx. até 100% de v_c máx.

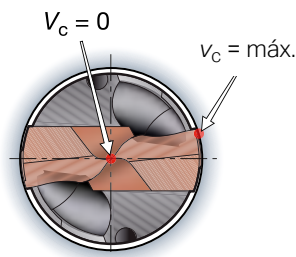
Uma aresta de corte efetiva/rot: = z_c .



Velocidades de corte para brocas com ponta intercambiável

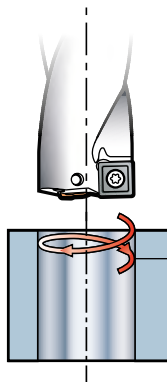
Duas arestas, do centro até a periferia.

Duas arestas/rot: = z_c .



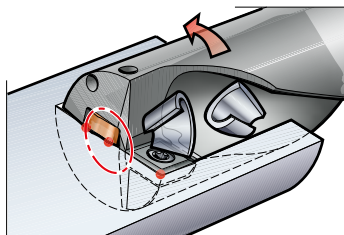
Efeitos da velocidade de corte – v_c m/min (pés/min)

- Afeta a potência P_c kW (Hp) e o torque M_c Nm (lbf-pés).
- O principal fator que determina a vida útil da ferramenta.
- Velocidades mais altas geram temperaturas mais altas e aumentam o desgaste de flanco, especialmente nos cantos, na periferia.
- As velocidades mais altas beneficiam a formação de cavacos em materiais macios e cavacos longos, como por ex., aços com baixo teor de carbono.
- Afeta os níveis de ruído.



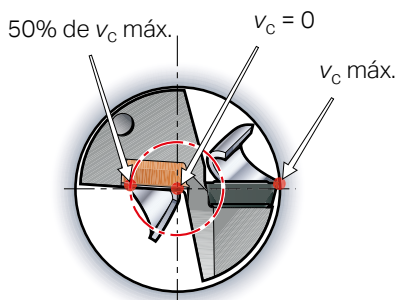
Velocidade de corte muito alta causa:

- desgaste rápido do flanco
- deformação plástica
- qualidade insatisfatória do furo
- tolerância ruim do furo.

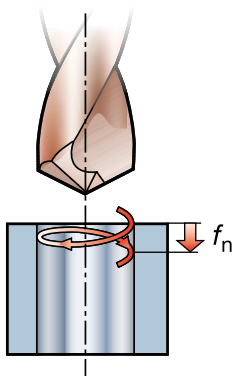


Velocidade de corte muito baixa causa:

- arestas postiça
- escoamento de cavacos ruim
- tempo em corte mais longo
- risco mais alto de quebra da broca
- qualidade reduzida do furo.



Faixa de avanço



Efeitos de faixa de avanço – f_n mm/r (pol./r)

- Afeta a força de avanço F_f (N), potência P_c kW (Hp) e torque M_c Nm (lbf-pés).
- Controle da formação de cavacos.
- Contribui para a qualidade do furo.
- Influencia principalmente o acabamento superficial.
- Contribui para a tensão mecânica e térmica.

$$f_n = f_z \times 2 \quad \text{mm/r (pol./r)}$$

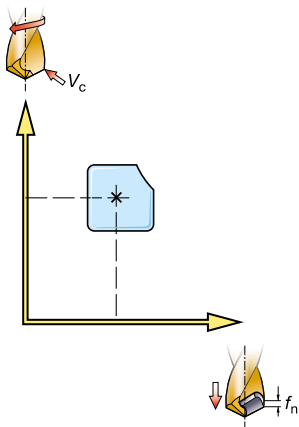
Alta faixa de avanço:

- formação dos cavacos mais difícil
- tempo em corte reduzido.

Baixa faixa de avanço:

- cavacos mais longos e mais finos
- melhor qualidade
- desgaste acelerado da ferramenta
- tempo em corte mais longo.

*Nota: A faixa de avanço deve estar relacionada com a velocidade de corte.

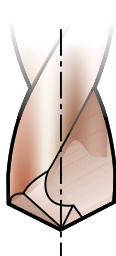


Cálculo aproximado do consumo de potência

CoroDrill® 880



CoroDrill® Delta-C



n = velocidade do fuso (rpm)

v_c = velocidade de corte m/min (pés/min)

f_n = avanço por rotação, mm/rot. (pol./rot.)

v_f = taxa de penetração mm/min (pol./min)

DC = diâmetro da broca mm (pol.)

f_z = avanço por aresta (pol.)

k_{c1} = força de corte específica N/mm² (lbf pés/pol.²)

P_c = consumo de potência kW (Hp)

F_f = força de avanço (N)

M_c = torque Nm (lbf pés)

Métrico

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{240 \times 10^3} \text{ kW}$$

Polegadas

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{132 \times 10^3} \text{ Hp}$$

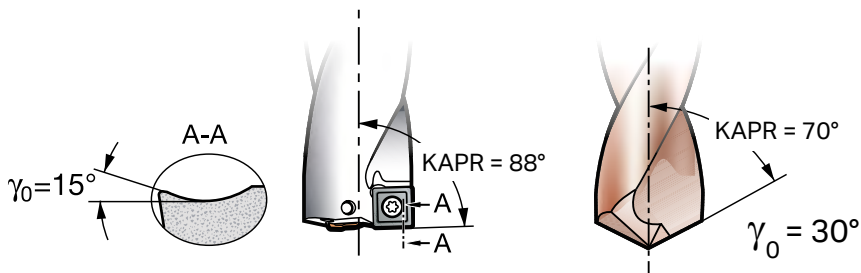
ISO P			Força de corte específica $k_{c1} 1,0$ N/mm ²	Força de corte específica $k_{c1} 0,0394$ lbs/pol. ²	Dureza Brinell HB	mc
Nº MC	Nº CMC	Material				
		Aços sem liga				
P1.1.Z.AN	01.1	C = 0.1-0.25%	1500	216.500	125	0.25
P1.2.Z.AN	01.2	C = 0.25-0.55%	1600	233.000	150	0.25
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0.55-0.80%	1700	247.000	170	0.25
P1.3.Z.AN	01.4	Aços alto carbono, recozidos	1800	260.500	210	0.25
P1.3.Z.HT	01.5	Endurecido e temperado	2000	291.500	300	0.25
		Baixa liga (elementos de liga ≤5%)				
P2.1.Z.AN	02.1	Não endurecidos	1700	246.500	175	0.25
P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido e temperado	1900	278.500	300	0.25

Para informações sobre o valor de k_{c1} , veja a página H16.

Cálculo preciso do consumo de potência

CoroDrill® 880

CoroDrill® Delta-C



Métrico

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{240 \times 10^3} \text{ kW}$$

Polegadas

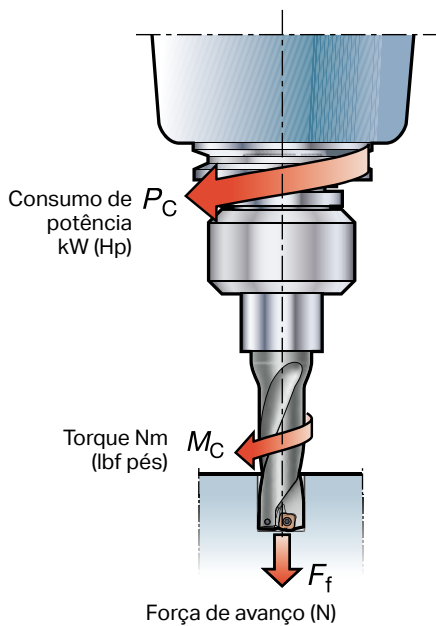
$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{132 \times 10^3} \text{ Hp}$$

$$k_c = k_{c1} \times (f_z \times \sin KAPR)^{m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

ISO P			Força de corte específica k_{c1} 1,0 N/mm ²	Força de corte específica k_{c1} 0,0394 lbs/pol. ²	Dureza Brinell HB	mc
Nº MC	Nº CMC	Material				
		Aços sem liga				
P1.1.Z.AN	01.1	C = 0.1-0.25%	1500	216.500	125	0.25
P1.2.Z.AN	01.2	C = 0.25-0.55%	1600	233.000	150	0.25
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0.55-0.80%	1700	247.000	170	0.25
P1.3.Z.AN	01.4	Aços alto carbono, recozidos	1800	260.500	210	0.25
P1.3.Z.HT	01.5	Endurecido e temperado	2000	291.500	300	0.25
		Baixa liga (elementos de liga ≤5%)				
P2.1.Z.AN	02.1	Não endurecidos	1700	246.500	175	0.25
P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido e temperado	1900	278.500	300	0.25

Para informações sobre o valor de k_{c1} , veja a página H16.

Cálculo do torque e força de avanço



n = Velocidade do fuso (rpm)
 f_n = Avanço por rotação, mm/rot. (pol./rot.)
 DC = Diâmetro da broca mm (pol.)
 k_{c1} = Força de corte específica N/mm² (lbf pés/pol.²)
 F_f = Força de avanço (N)
 M_C = Torque Nm (lbf pés)

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times \frac{DC}{2} f_n \times \sin KAPR \text{ (N)}$$

Métrico

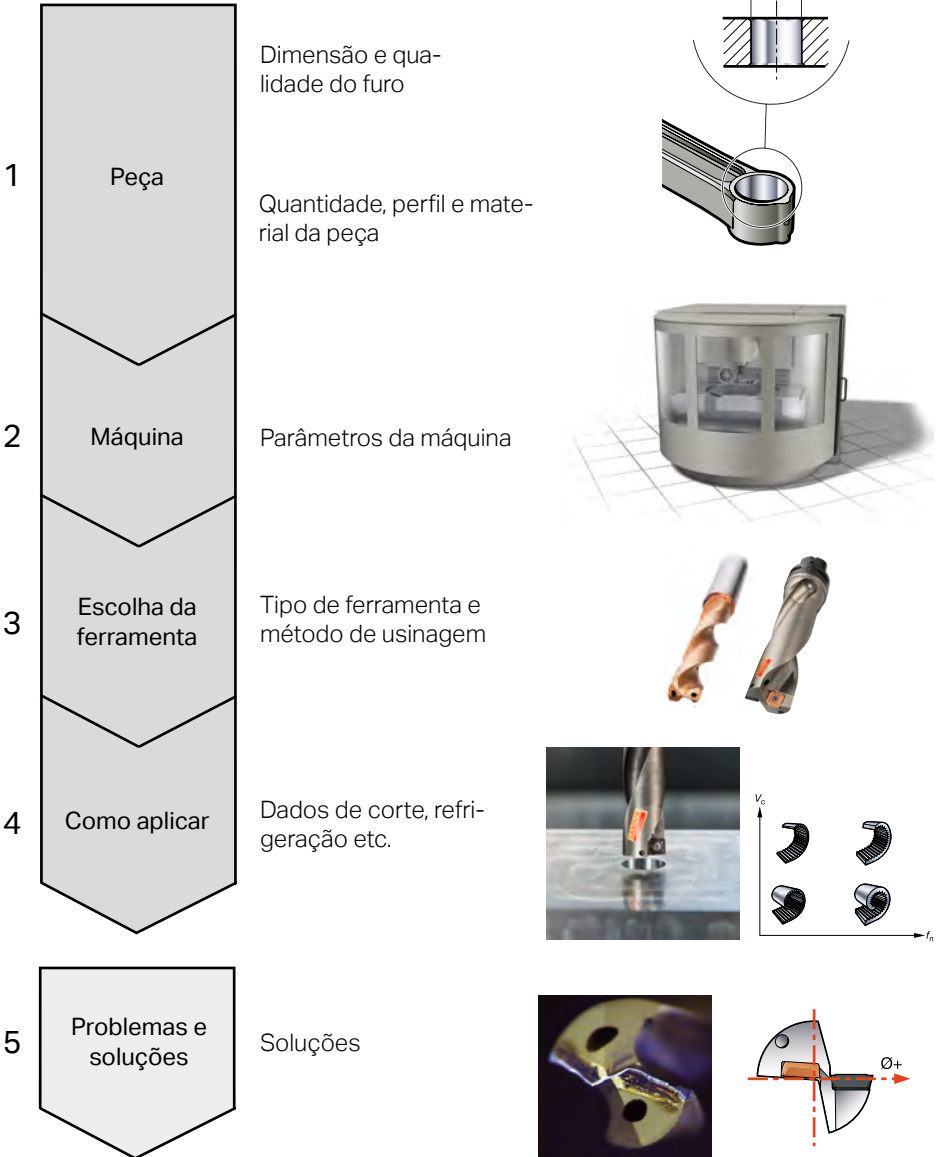
$$M_C = \frac{P_C \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} \text{ (Nm)}$$

Polegadas

$$M_C = \frac{P_C \times 16501}{\pi \times n} \text{ (lbf-pés)}$$

Procedimento para seleção da ferramenta

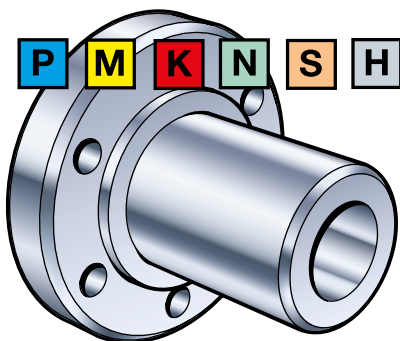
Processo de planejamento de produção



1. Peça e material da peça

Material:

- Usinabilidade
- Quebra de cavacos
- Dureza
- Elementos da liga.

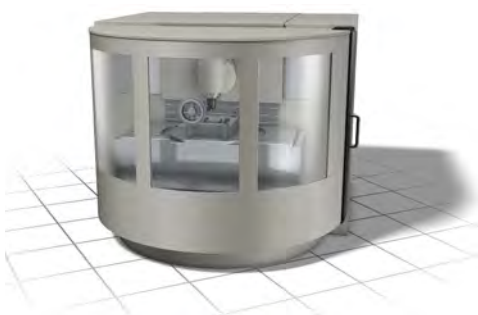


Peça:

- É a rotação de componente simétrica? Use uma broca rotativa ou fixa?
- Fixação, tamanho e profundidade do furo. A peça é sensível à força de avanço e/ou vibração?
- É necessário usar uma extensão da ferramenta para alcançar a superfície em que o furo será feito, ou seja, longos balanços da ferramenta?
- Características das peças é algo que dificulta o processo? Há superfícies inclinadas, côncavas ou convexas? Furos cruzados (transversais)?

2. Considerações importantes sobre a máquina

Condição da máquina:



- Estabilidade da máquina
- Velocidade do fuso
- Refrigeração
- Fluxo e pressão de refrigeração
- Fixação da peça
- Fuso horizontal ou vertical
- Potência e torque
- Magazine de ferramentas.

3. Escolha da ferramenta de furação

Maneiras diferentes de usinar um furo

Os parâmetros básicos são:

- Diâmetro
- Profundidade
- Qualidade (tolerância, acabamento superficial, retilidade).

O tipo de furo e a precisão necessária afetam a escolha da ferramenta.

A furação pode ser afetada por superfícies de entrada/saída angulares ou irregulares e por furos cruzados.

Furação



Vantagens

- Ferramentas padrões simples
- Relativamente flexível.

Desvantagens

- Duas ferramentas, adaptadores e suportes básicos
- Requer uma ferramenta extra e operação se for um furo escalonado/chanfrado
- Dependendo da escolha
 - Produtividade
 - Qualidade do furo.

Usinagem de furos escalonados/chanfrados



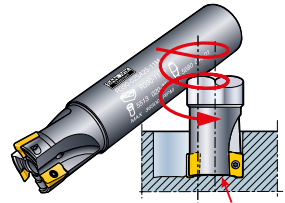
Vantagens

- Reduz o número de operações
- Maneira mais rápida para fazer um furo escalonado/chanfro.

Desvantagens

- Necessita de mais potência e estabilidade
- Menor flexibilidade.

Interpolação helicoidal



Vantagens

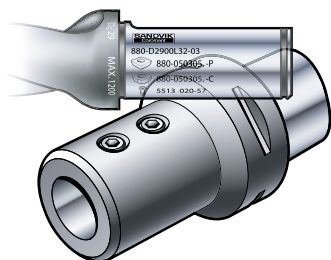
- Ferramentas padrões simples
- Muito flexíveis
- Baixas forças de corte.

Desvantagens

- Tempos de ciclo maiores.

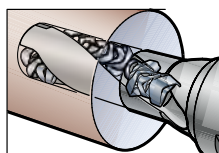
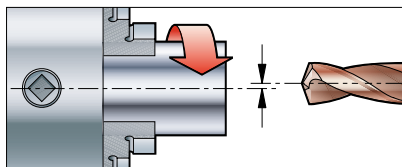
4. Como aplicar

Considerações importantes sobre a aplicação



Sistemas de fixação

- Use sempre a broca mais curta possível para reduzir a deflexão e a vibração, tendo em mente o escoamento adequado dos cavacos.
- Para melhor estabilidade e qualidade do furo, use as ferramentas modulares, ferramentas com fixação hidráulica ou hidromecânica.

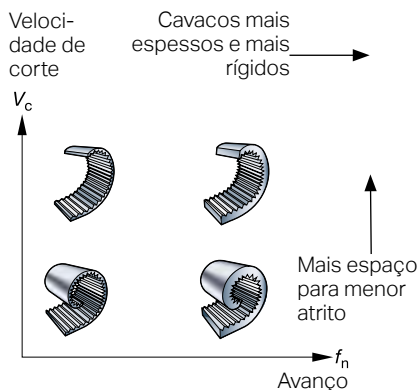


Batimento da ferramenta

- O batimento radial da ferramenta, deve ser o mínimo possível, isso é essencial para uma furação bem-sucedida.

Escoamento de cavacos e fluido de corte

- A formação e o escoamento dos cavacos são os fatores dominantes na furação e afetam a qualidade do furo.



Classe e geometria

- Use a classe e a geometria recomendadas.
- Use os parâmetros de corte recomendados.
- Para assegurar um processo estável, certifique-se de obter a boa formação de cavacos, com o ajuste dos parâmetros de corte.

5. Problemas e soluções

Algumas áreas a considerar

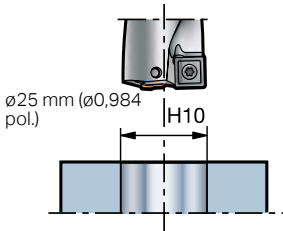


Desgaste da pastilha e vida útil da ferramenta

- Verifique o padrão de desgaste e, se necessário, ajuste os dados de corte.

Escoamento de cavacos

- Verifique a quebra de cavacos e o fornecimento do fluido de corte, se necessário, mude o quebra-cavacos e/ou os parâmetros de corte.



Tolerâncias e qualidade do furo

- Verifique a fixação da broca/peça, faixa de avanço, condições da máquina e o escoamento de cavacos.

Dados de corte

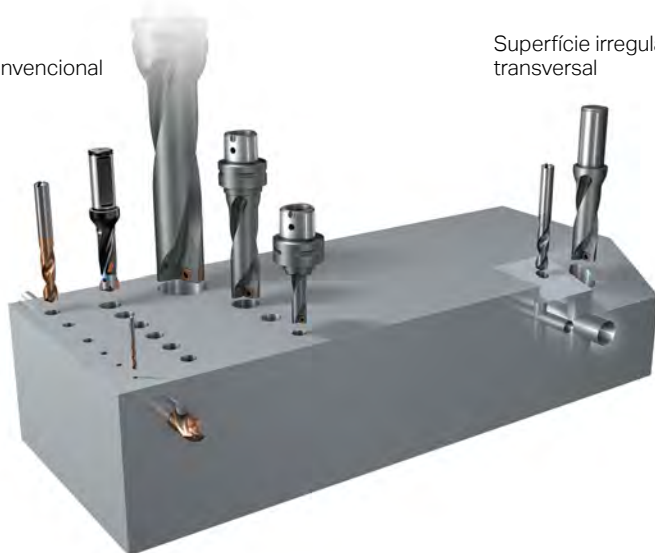
- A velocidade de corte e a faixa de avanço corretas são essenciais para a alta produtividade e vida útil da ferramenta.

Ferramentas de furação

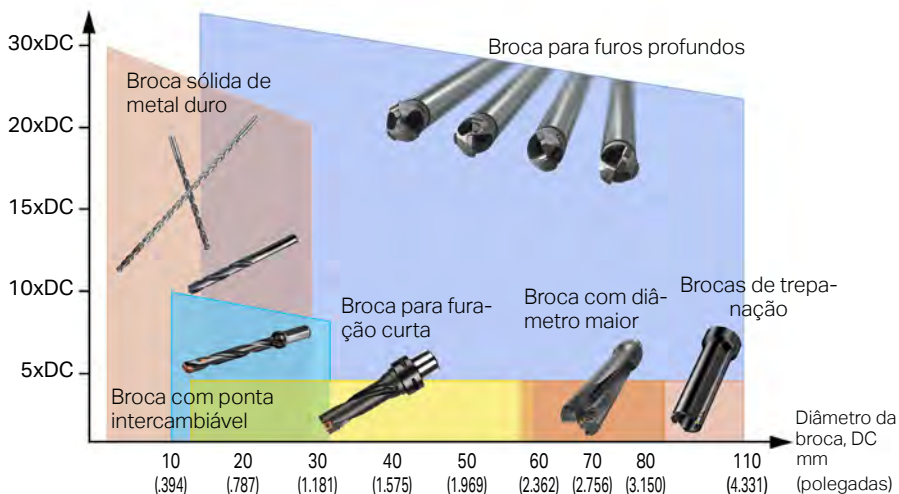
Ferramentas de furação cobrem diâmetros de 0,30 mm até 110 mm (0,0118 pol. até 4,331 pol.) e maiores com soluções de produtos especiais.

Furação convencional

Superfície irregular e furação transversal

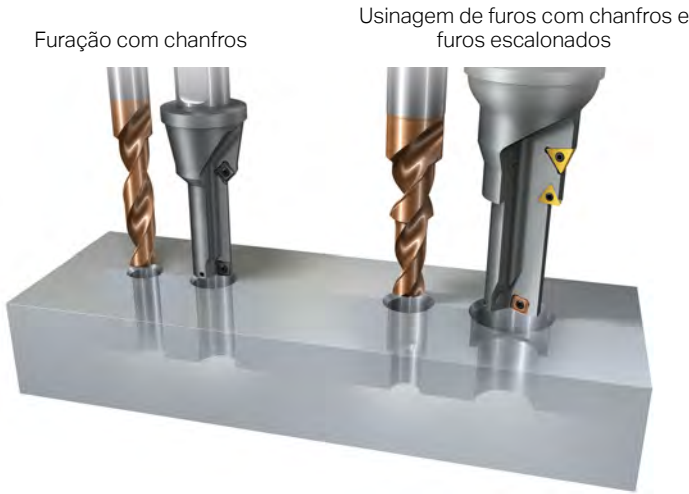


Relação comprimento/diâmetro

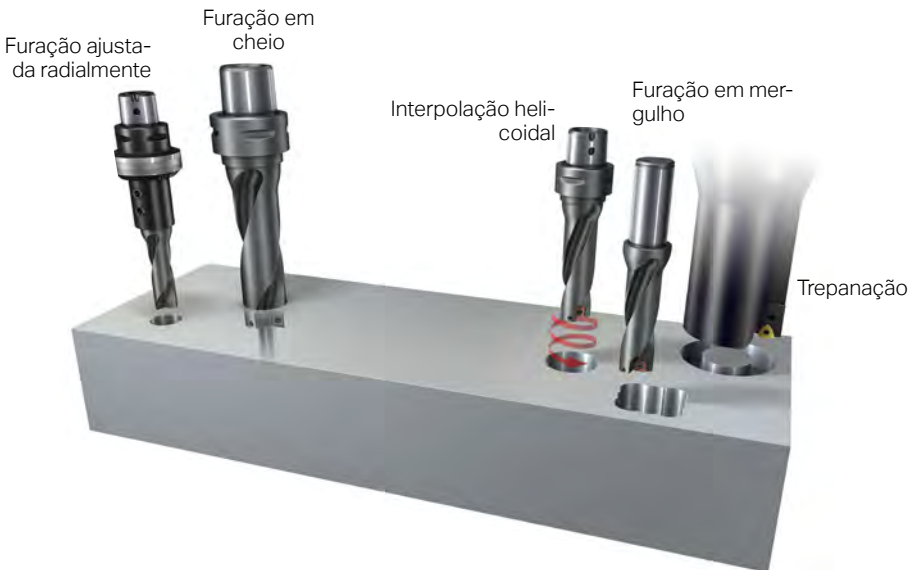


Escolha da ferramenta de furação

Furação escalonada e com chanfros



Outros métodos



Diâmetro e profundidade do furo

Posicionamento de brocas para furação curta

Brocas com pastilha intercambiável



Deve ser considerada como a primeira escolha devido ao custo mais baixo por furo. Elas também são ferramentas muito versáteis.

Área de aplicação

- Furos com diâmetro pequeno a grande.
- Necessidade de tolerância média.
- Furos cegos que requerem um fundo "plano".
- Furação em mergulho ou operações de mandrilamento.

Brocas sólidas de metal duro



Primeira escolha para diâmetros menores e quando for necessária tolerância mais estreita do furo.

- Diâmetro menor.
- Furos com tolerância estreita ou precisas.
- Furos curtos a relativamente profundos.

Brocas com ponta intercambiável



Primeira escolha para furos de diâmetro médio em que a ponta intercambiável é uma solução econômica.

- Diâmetro médio.
- Furos com tolerâncias estreitas.
- O corpo de aço propicia tenacidade.
- Furos curtos a relativamente profundos.

Brocas com pastilha intercambiável

A broca básica

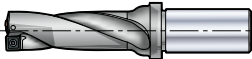


- A maneira mais econômica de produzir um furo.
- Para todos os materiais de peça.
- Estão disponíveis como brocas padrão, Tailor Made e especiais.
- Uma ferramenta versátil que pode fazer mais do que apenas furar.

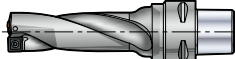
Opções de montagem

Estão disponíveis em diferentes opções de montagem, que permitem que o usuário monte a broca em quase todas as configurações de máquinas. Atualmente, os fabricantes da máquina-ferramenta estão oferecendo opções de montagem integradas ao fuso.

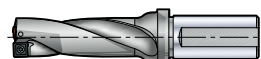
Haste cilíndrica



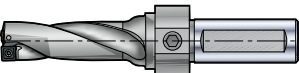
Acoplamento Coromant Capto®



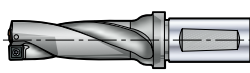
Cilíndrica com planos



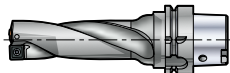
Haste P



Whistle Notch



Outros sistemas modulares



Brocas sólidas de metal duro

A escolha básica

Brocas otimizadas para os materiais



Brocas otimizadas para as aplicações

Broca com chanfros



Broca de precisão para aços endurecidos



Brocas para furação curta – Grupos de materiais ISO

Grupo de material ISO

P

M

K

N

S

H



Brocas sólidas de metal duro

+++

+++

+++

+++

+++

+++



Brocas com ponta intercambiável

+++

+++

+++

++

++

+



Brocas com pastilha intercambiável

+++

+++

+++

+++

+++

+++

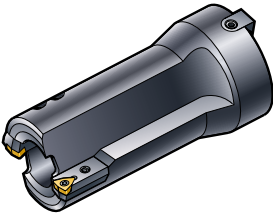
Furos de diâmetros maiores

Broca com diâmetro maior



Brocas com pastilha intercambiável estão disponíveis em diâmetros até 84 mm (3,307 pol.).

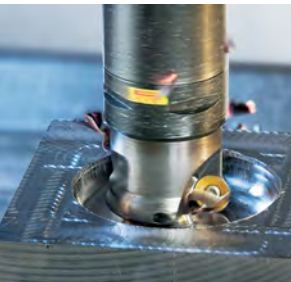
Brocas de trepanação



A trepanação é usada para furos com diâmetros maiores e quando a potência da máquina for limitada, pois não consome tanta potência como na furação em cheio. As brocas de trepanação estão disponíveis até o diâmetro de 110 mm (4,331 pol.) como padrão.

Nota: Essas brocas são para uma aplicação de furo passante somente.

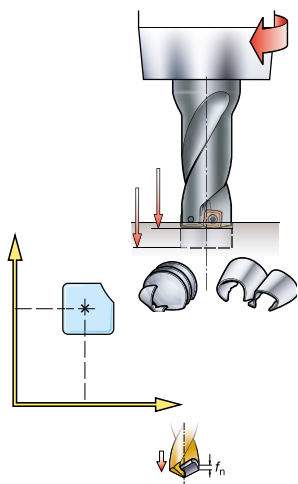
Fresamento, interpolação helicoidal



Uma fresa aplicada com a interpolação helicoidal ou circular pode ser usada no lugar das brocas ou ferramentas de mandrilamento. O método é menos produtivo, mas pode ser uma alternativa quando a quebra de cavacos for um problema.

Como aplicar

Brocas com pastilha intercambiável

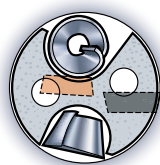


Rotina de preparação (set-up)

- Use a broca o mais curta possível.
- Verifique o comprimento para programação.
- Inicie a furação com uma faixa de avanço e velocidade de corte médias a uma profundidade de 3,2 mm (0,125 pol.).
- Verifique a formação de cavacos e faça medição do tamanho do furo.
- Inspeccione a broca para certificar-se de que não há atrito entre a broca e o furo.
- Aumente ou diminua a faixa de avanço e/ou velocidade de corte de acordo com a formação de cavacos, vibração, acabamento superficial do furo, etc.

Formação de cavacos - intercambiável

- O melhor escoamento de cavacos é alcançado quando a formação deles é adequada.
- Cavacos longos podem causar o entupimento dos canais da broca.
- Além disso, o acabamento superficial pode ser afetado e a pastilha ou a ferramenta podem estar em risco.
- A correção envolve a seleção da geometria correta da pastilha e o ajuste dos dados de corte.
- Utilize as geometrias da pastilha para se adequar aos diferentes materiais e condições de corte.



Excelente



Aceitável



Não aceitável

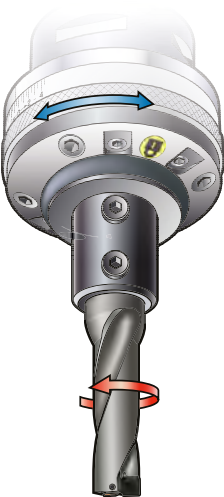
Broca rotativa intercambiável



Alinhamento

- Se a broca estiver fora do centro, é possível que sejam produzidos furos com medidas maiores ou menores ou que a pastilha central tenha tendência ao lascamento.
- Girar a broca no suporte em 180°, pode resolver esse problema.
- Porém, é importante assegurar que o eixo central da broca e o eixo de rotação estejam paralelos para obter furos precisos.
- O fuso da máquina e o suporte devem estar em boas condições.

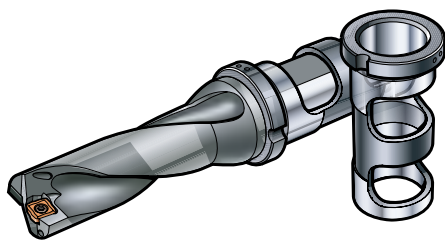
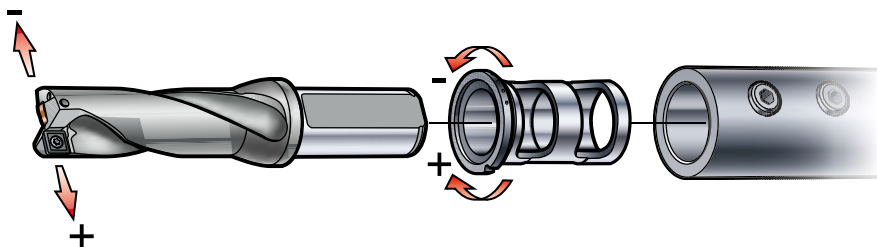
Ajuste radial



Suporte ajustável

- O ajuste é feito ao girar o anel graduado ao redor do suporte, marcado em incrementos de um 0,05 mm (0,002 pol.), indicando o movimento diametral da ferramenta.
- Ajuste radial $-0,2 / +0,7$ mm ($-0,008 / +0,028$ pol.). Note que a faixa de ajuste para a broca não deve ser exceder o recomendado. (O ajuste máximo pode ser visto nas páginas de pedido no catálogo).
- Pode ser necessário reduzir o avanço/rot (f_n) devido ao balanço mais longo e às forças de corte desbalanceadas criadas pelo deslocamento (offset).
- As buchas são usadas para adaptar vários tamanhos de hastes ISO para um suporte.

Bucha ajustável para brocas com hastes ISO 9766



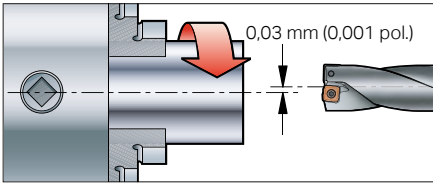
Broca rotativa - bucha excêntrica

O diâmetro da broca pode ser ajustado para tolerância mais estreita do furo. A faixa de ajuste é aprox. $\pm 0,3$ mm ($\pm 0,012$ pol.), mas o ajuste na direção negativa deve ser feito somente se a broca produzir um furo maior (para não obter furos menores).

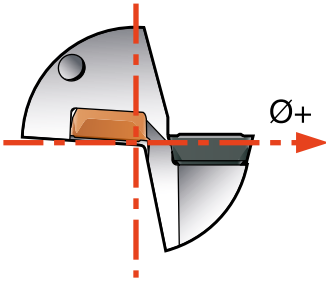
- Um ponto aumenta/diminui o diâmetro do furo em 0,10 mm (0,004 pol.).
- Aumente o diâmetro girando a bucha no sentido horário.
- Diminua o diâmetro girando a bucha no sentido anti-horário.
- Use ambos os parafusos para fixar a broca no dispositivo de fixação e certifique-se de que os parafusos no suporte sejam longos o suficiente.

Broca não rotativa

Alinhamento

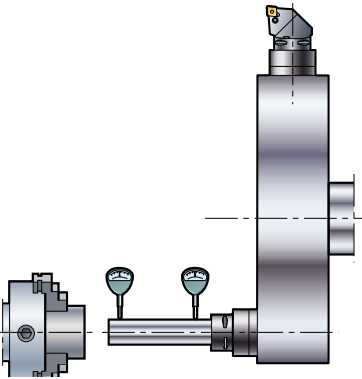


- O batimento total entre a linha de centro da máquina e a peça não deve exceder 0,03 mm (0,001 pol.).
- A broca deve ser montada de forma que a face frontal da pastilha periférica fique paralela ao movimento transversal da máquina (geralmente eixo X).



Relógio comparador e barra de teste padrão

- O desalinhamento tem o efeito de deslocamento (offset) radial que produz um furo maior ou um furo menor.
- O teste pode ser realizado com relógio comparador junto com uma barra de teste padrão.

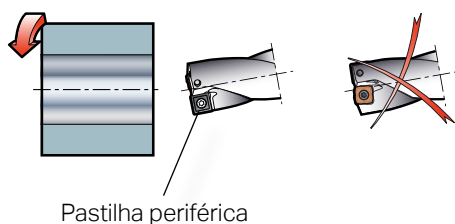
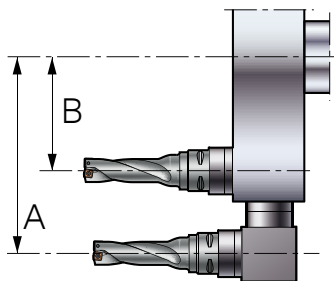


Broca com quatro planos

- Outra maneira é fazer uma broca com quatro planos igualmente posicionados ao redor da haste da broca.
- Faça os furos com a broca montada em cada uma das posições dos quatro planos. A medição do furo indicará o estado do alinhamento da máquina.



Deflexão de torre



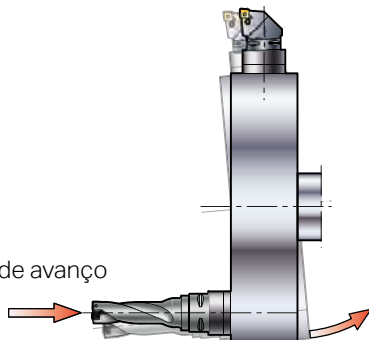
Pastilha periférica

Solução do problema

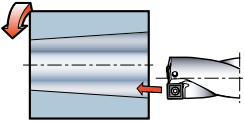
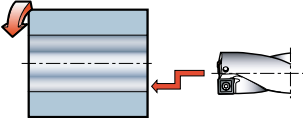
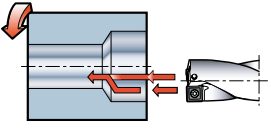
- Deflexão da torre em um torno CNC pode ser causada pela força de avanço.
- Primeiro, verifique se você pode reduzir o torque, montando a ferramenta de forma diferente. A posição B é mais indicada que a posição A.

- Para evitar o desgaste do corpo da broca e as marcas de retração no furo, monte a broca com a pastilha periférica como mostrado na figura.
- Finalmente, uma redução do avanço/rotação (f_r) pode ser feita para minimizar a força de avanço.

Força de avanço

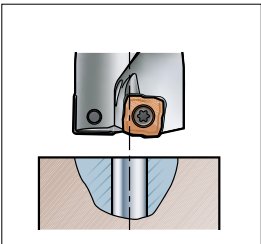
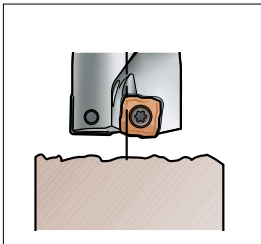


Deslocamento (Offset) radial



- Os furos podem ser usinados maiores que o tamanho nominal da broca, bem como, alargados como uma operação de mandrilamento subsequente.
- As brocas com pastilhas intercambiáveis não rotativas também podem ser usadas para gerar furos cônicos.
- O chanframento e os alívios podem ser usinados com a própria broca.
- Um furo o qual será feito um rosca posteriormente, pode ser preparado pela broca já com o chanframento.

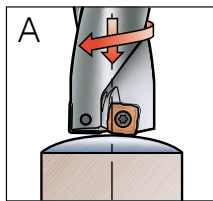
Superfícies irregulares e furos pré-usinados por broca



Quando entrar ou sair de uma superfície irregular, há um risco de lascamento das pastilhas.

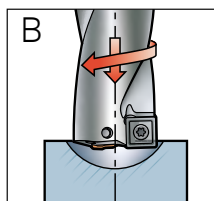
- A faixa de avanço deve ser reduzida.
- Um furo pré-usinado deve ser pequeno e não grande - não deve exceder 25% do diâmetro da broca - para evitar deflexão da broca.
- Porém, com o avanço reduzido, será possível usinar uma ampla gama de furos pré-usinados.

Entrada em superfícies não planas



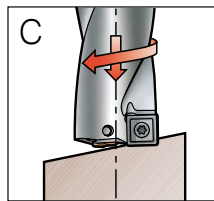
A Superfície convexa

- Normalmente, não é necessário reduzir o avanço.



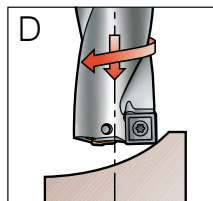
B Superfície côncava

- Reduza o avanço a 1/3 da faixa de avanço original.



C Superfície inclinada

- Com ângulo de posição de 2°–89°, reduza a faixa em 1/3 da faixa de avanço original.



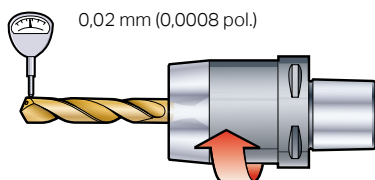
D Superfícies irregulares

- Reduza o avanço a 1/3 da faixa de avanço original.

Brocas inteiriças de metal duro e com pontas intercambiáveis

Alinhamento

Broca rotativa

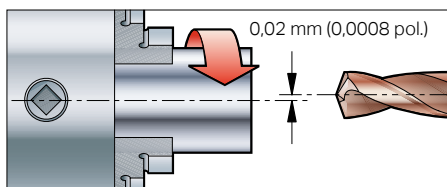


O batimento mínimo da ferramenta é um dos principais critérios para uso correto das brocas inteiriças de metal duro.

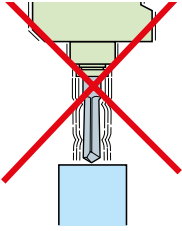
O batimento não deve exceder 0,02 mm (0,0008 pol.) para alcançar:

- tolerância estreita do furo
- bom acabamento superficial
- vida útil longa e consistente da ferramenta.

Broca estacionária



► Sistemas de fixação



- Uma pinça e uma haste de ferramenta em condições, afetarão negativamente o ajuste (set-up) perfeito.
- Certifique-se de que o TIR (Total Indicator Runout) está dentro do 0,02 mm (0,0008 pol.).
- Um batimento inaceitável pode ser temporariamente reduzido ao girar a broca ou a pinça em 90° ou 180° para encontrar o menor TIR.

Para melhor desempenho, use mandril com fixação hidromecânica, hidráulica ou com fixação por contração.

Brocas inteiriças de metal duro e com pontas intercambiáveis



Brocas sólidas de metal duro

- Não recomendada devido ao risco de lascamento na aresta de corte.

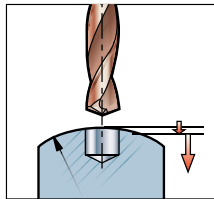


Brocas com ponta intercambiável

- Não é possível alargar os furos existentes por meio de mandrilamento reverso porque não haverá quebra de cavacos.

Entrada em superfícies não planas

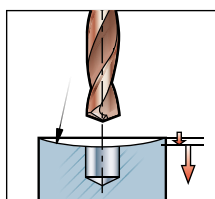
Quando entrar em superfícies não planas, há um risco de deflexão da broca. Para evitar isso, o avanço pode ser reduzido durante a entrada.



Superfície convexa

Será possível furar, se o raio for 4 vezes maior que o diâmetro da broca e o furo for perpendicular ao raio.

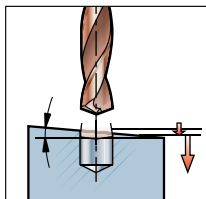
Reduza o avanço em 50% da faixa normal durante a entrada.



Superfície côncava

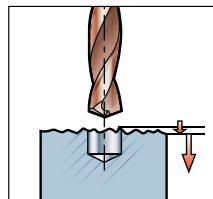
Será possível furar, se o raio for 15 vezes maior que o diâmetro da broca e o furo for perpendicular ao raio.

Reduza o avanço em 25% da faixa normal durante a entrada.



Superfície inclinada

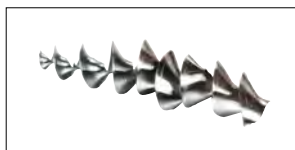
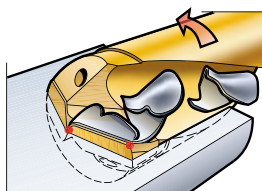
Inclinações até 10°, reduza o avanço a 1/3 da faixa de avanço normal durante a entrada. Não é recomendado mais de 10°. Faça um pequeno plano com a fresa na superfície e faça o furo.



Superfícies irregulares

Reduza a faixa de avanço a 1/4 da faixa normal para evitar o lascamento nas arestas de corte.

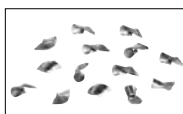
Formação de cavacos – Brocas inteiriças de metal duro e com pontas intercambiáveis



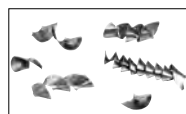
Cavaco inicial

Nota: O cavaco inicial da entrada na peça é sempre longo e não cria qualquer problema.

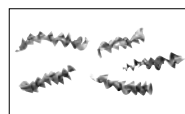
- O melhor escoamento de cavacos é alcançado quando se melhora a formação de cavacos.
- Cavacos longos podem causar o entupimento dos canais da broca.
- Além disso, o acabamento superficial pode ser afetado e a pastilha ou a ferramenta podem estar em risco.
- Certifique-se de que os dados de corte e geometria da ponta/broca estejam adequados ao material e às condições de corte.



Excelente



Aceitável



Pode causar entupimento dos cavacos

Refrigeração



Refrigeração interna

- Sempre é recomendada, especialmente em materiais com cavacos longos e quando usinar furos mais profundos (4-5 x DC).

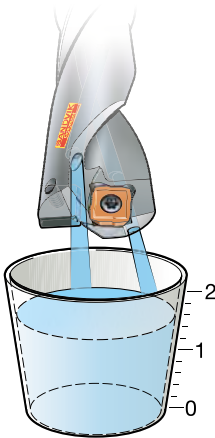
Refrigeração externa

- pode ser usada quando a formação de cavacos for boa e quando a profundidade do furo for pequena.

Ar comprimido, Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) ou furação sem refrigeração

- Pode ter bons resultados em condições favoráveis, mas geralmente não é recomendada.

O fluido de corte



Óleo solúvel (emulsão)

- Óleo 5 a 12% (10-25% para aços inoxidáveis).
- Aditivos EP (pressão extrema).

Óleo puro

- sempre com aditivos EP.
- aumenta a vida útil da ferramenta em aplicações ISO-M e ISO-S
- tanto as brocas inteiriças de metal duro quanto as brocas com pastilha intercambiável trabalham bem com óleo integral.

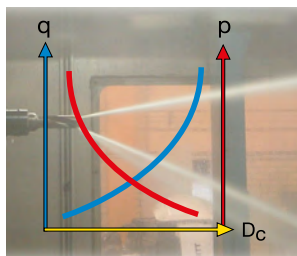
Use névoa de óleo ou MQL - Mínima Quantidade de Lubrificação

- pode ser usado com bom desempenho em materiais com formação de cavacos favorável.

Furação sem refrigeração

- pode ser executada em materiais com cavacos curtos.
- furos com profundidade até 3 vezes o diâmetro.
- preferencialmente em aplicações horizontais.
- a vida útil será prejudicada.

Refrigeração – Importante para o desempenho bem-sucedido



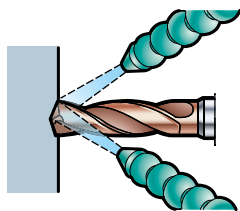
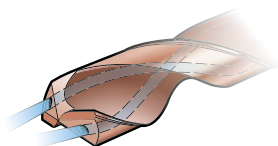
A refrigeração é essencial para a furação e influencia:

- escoamento de cavacos
- qualidade do furo
- vida útil da ferramenta.

- A capacidade cúbica do tanque de refrigeração deve ser de 5 a 10 vezes maior que o volume de refrigeração que a bomba fornece por minuto.
- A capacidade de volume pode ser verificada usando um cronômetro e um balde de tamanho adequado.

Refrigeração

Interno ou externo



Refrigeração interna

- Sempre recomendado para evitar o entupimento de cavacos.
- Sempre deve ser usada em furos com profundidades com mais de 3 vezes o diâmetro.
- Uma broca na horizontal, deve ter um fluxo de refrigeração saindo pelo canal da broca, que gere um jato com uns de 30 cm (12") de comprimento, sem que diminua.

Refrigeração externa

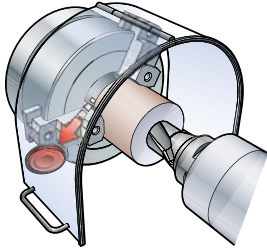
- Pode ser aceitável em materiais com cavacos curtos.
- Para melhorar o escoamento de cavacos, pelo menos um olhal de refrigeração (dois se a broca for estacionária) deve ser direcionado para bem perto da ponta da ferramenta.
- Algumas vezes, pode ajudar a evitar a formação de arestas postíças devido à temperatura mais alta da aresta.

Ar comprimido, mínima quantidade de lubrificação ou furação sem refrigeração

- Pode ser usado com uma broca de ponta intercambiável em condições favoráveis em materiais com cavacos curtos.
- As brocas inteiriças de metal duro trabalham bem nesses tipos de aplicações.

Precauções de segurança

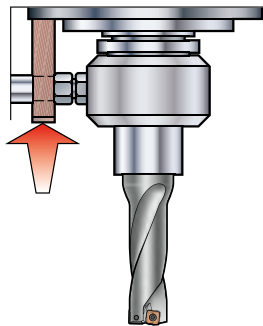
Refrigeração interna



Proteção para o perigo causado pelos discos que se formam

- Proteger contra os discos formados nos furos passantes é importante para evitar danos ou ferimentos, especialmente quando usar brocas não rotativas.

Refrigeração externa



Um "stop" ou trava de segurança é uma medida importante

- Um limitador de rotação deve ser utilizado para brocas rotativas.
- Se a refrigeração contém partículas de cavacos, elas podem se alojar nas vedações do canal e arrastar a carcaça externa que poderá girar junto.
- Se o conector rotativo não tiver sido utilizado por um longo período, verifique se o suporte gira na carcaça antes de ligar o fuso da máquina.

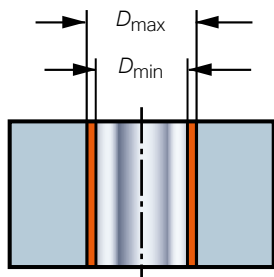
Tolerância e qualidade do furo

Passos para garantir furos de boa qualidade



- A máquina-ferramenta deve estar em boas condições.
- A fixação da ferramenta influencia a qualidade do furo e a vida útil da ferramenta.
- Use a broca o mais curta possível para estabilidade máxima.
- A quebra e o escoamento dos cavacos devem ser sempre satisfatórios.
- A refrigeração e a pressão da refrigeração são importantes.

Furo e tolerância do furo



As dimensões do furo são caracterizadas por três parâmetros:

- valor nominal (o valor teórico exato)
- largura da tolerância (um número) ex., IT 7 de acordo com a ISO
- posição da tolerância (designada por letras maiúsculas de acordo com a norma ISO).

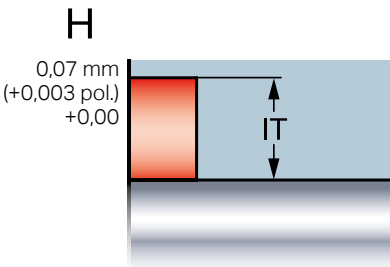
$D_{m\acute{a}x.}$ menos $D_{m\acute{i}n}$ é a largura da tolerância também chamada, p. ex., IT 7.

Tolerância do furo conforme a norma ISO

Tolerância	Faixa de diâmetro, mm/pol.							Exemplos
	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	
	.118- .236	.236- .394	.394- .709	.709- 1.181	1.181- 1.969	1.969- 3.150	3.150- 4.724	
IT6	0.008 .0003	0.009 .0004	0.011 .0004	0.013 .0005	0.016 .0006	0.019 .0007	0.022 .0009	Rolamentos
IT7	0.012 .0005	0.015 .0006	0.018 .0007	0.021 .0008	0.025 .0010	0.030 .0012	0.035 .0014	1) Furos para rosqueamento
IT8	0.018 .0007	0.022 .0009	0.027 .0011	0.033 .0013	0.039 .0015	0.046 .0018	0.054 .0021	
IT9	0.030 .0012	0.036 .0014	0.043 .0017	0.052 .0020	0.062 .0002	0.074 .0029	0.087 .0034	Furos normais para machos
IT10	0.048 .0019	0.058 .0022	0.070 .0028	0.084 .0033	0.100 .0039	0.120 .0047	0.140 .0055	
IT11	0.075 .0030	0.090 .0035	0.110 .0043	0.130 .0051	0.160 .0062	0.190 .0074	0.220 .0089	
IT12	0.120 .0047	0.150 .0059	0.180 .0071	0.210 .0083	0.250 .0098	0.300 .0118	0.350 .0138	
IT13	0.180 .0071	0.220 .0087	0.270 .0106	0.330 .0130	0.390 .0154	0.460 .0181	0.540 .0213	

1) Furos para rosqueamento com machos (roscas laminadas)

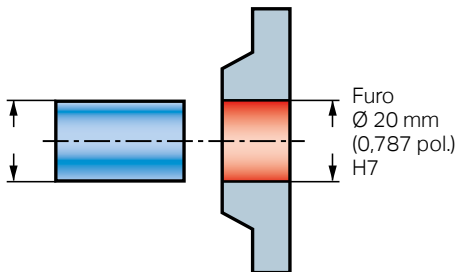
- Quanto mais baixo o número IT, mais estreita é a tolerância.
- A tolerância para uma classe IT aumenta com diâmetros maiores.



Exemplo:	Ø 15,00 mm (0,591 pol.) H10
Valor nominal:	15,00 mm (0,591 pol.)
Largura da tolerância:	0,07 mm (0,003 pol.) (IT 10 de acordo com a ISO)
Posição:	0 para mais (H conforme a norma ISO)

Tolerâncias do furo conforme a norma ISO

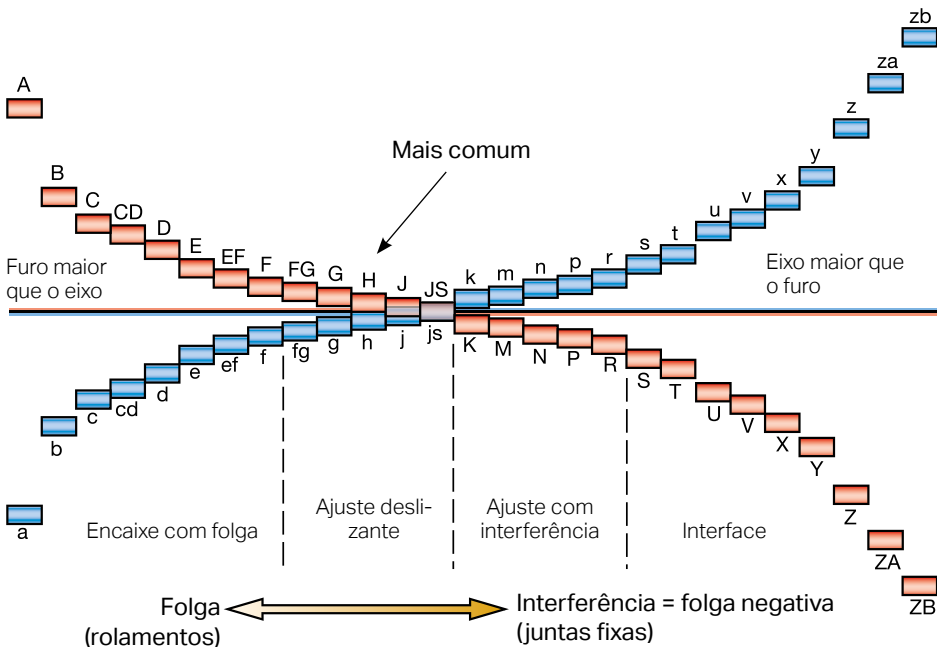
Eixo
 $\varnothing 20$ mm
 (0,787 pol.)
 h7



A tolerância do furo é geralmente associada à tolerância de um eixo que deve encaixar-se no furo.

Tolerância do eixo e do furo conforme a norma ISO

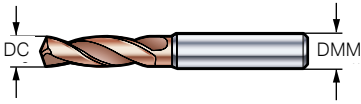
A posição de tolerância do eixo é denominada por letras minúsculas que correspondem à tolerância do furo em letras maiúsculas. A figura abaixo dá um panorama completo.



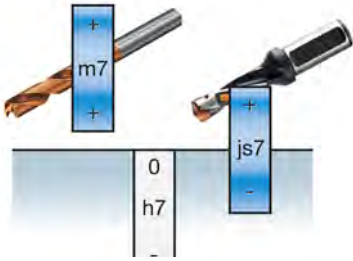
Tolerância do furo e da ferramenta

Tolerância do furo obtido com diferentes ferramentas

Tolerância do diâmetro da broca Dc



A tolerância DC para uma broca inteiriça de metal duro e uma com ponta intercambiável



Tolerância da broca

- A broca é retificada para uma determinada tolerância do diâmetro, designada por letras minúsculas de acordo com a norma ISO.

A tolerância do furo

- Para brocas com ponta intercambiável ou inteiriças de metal, a tolerância do furo é muito próxima à tolerância da broca.

	Brocas inteiriças de metal duro	Brocas com ponta intercambiável	Brocas com pastilhas intercambiáveis
Tolerância			
IT6			
IT7			
IT8			
IT9			
IT10			
IT11			
IT12			
IT13			

Com ajuste (pre-setting)

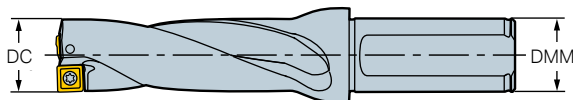
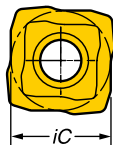
Brocas com pastilha intercambiável

Tolerância da broca

- A tolerância do diâmetro de uma broca com pastilha intercambiável é uma combinação da tolerância do alojamento (tip seat) no corpo da broca e da tolerância da pastilha.

Tolerância do furo

- As brocas com pastilha intercambiável proporcionam um ótimo balanceamento das forças de corte e uma tolerância de furo maior (para furos maiores), porque a maioria dos furos têm tolerância H.

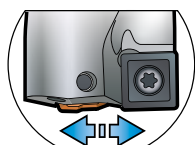


Profundidade da broca 2-3 x DC

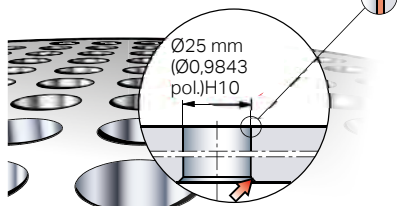
Diâmetro da broca, mm (polegadas)	12 – 43.99 (.472 – 1.732)	44 – 52.99 (1.732 – 2.086)	53 – 63.5 (2.087 – 2.5)
Tolerância do furo, mm (polegadas)	0/+0.25 (0/+0.0098)	0/+0.28 (0/+0.011)	0/+0.3 (0/+0.0118)
Tolerância DC, mm (polegadas)	0/+0.2 (0/+0.0079)	0/+0.25 (0/+0.0098)	0/+0.28 (0/+0.011)

Profundidade da broca 4-5 x DC

Diâmetro da broca, mm (polegadas)	12 – 43.99 (.472 – 1.732)	44 – 52.99 (1.732 – 2.086)	53 – 63.5 (2.087 – 2.5)
Tolerância do furo, mm (pol.)	0/+0.4 (0/+0.0157)	0/+0.43 (0/+0.0169)	0/+0.45 (0/+0.0177)
Tolerância DC, mm (polegadas)	+0.04/+0.24 (+0.0016/+0.0094)	+0.04/+0.29 (+0.0016/+0.0114)	+0.04/+0.32 (+0.0016/+0.0126)



Ø25,084 mm (Ø0,9876 pol.)
Ø25 mm (Ø0,9843 pol.)



Ø25 mm
(Ø0,9843 pol.)H10

Como melhorar a tolerância do furo

Uma maneira de eliminar a tolerância de fabricação do corpo da broca e das pastilhas é fazer o ajuste (pre-set) da broca.

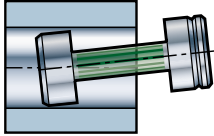
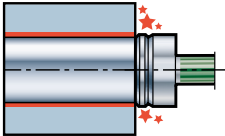
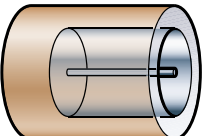
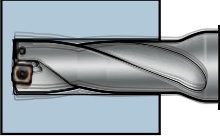
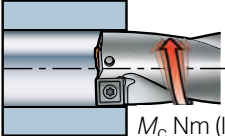
Isso pode ser feito em um torno ou com suporte/bucha ajustável, veja a página E28.

Assim, uma largura de tolerância (IT) dentro de 0,10 mm (0,004 pol.) pode ser obtida.

O tamanho do furo pode ser influenciado pela troca da geometria da pastilha em uma das pastilhas.

Problemas e soluções

Brocas com pastilhas intercambiáveis

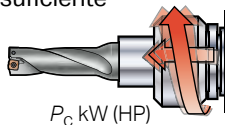
Problema	Solução	
Furos maiores 	Broca rotativa <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumente o fluxo de refrigeração, limpe o filtro e os furos de refrigeração na broca. 2. Experimente uma geometria mais resistente na periferia (mantenha a pastilha central). 	Broca não rotativa <ol style="list-style-type: none"> 1. Verifique o alinhamento no torno. 2. Gire a broca em 180°. 3. Experimente uma geometria mais resistente na periferia (mantenha a pastilha central).
Furos menores 	Broca rotativa <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumente o fluxo de refrigeração, limpe o filtro e os furos de refrigeração na broca. 2. Experimente uma geometria mais resistente no centro e uma geometria de corte leve na periferia. 	Broca não rotativa <ol style="list-style-type: none"> 1. Estacionária: Verifique o alinhamento no torno. 2. Estacionária: Gire a broca em 180°. 3. Experimente uma geometria mais resistente no centro (mantenha a periférica).
Pino no furo 	Broca rotativa <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumente o fluxo de refrigeração, limpe o filtro e os furos de refrigeração na broca. 2. Experimente outra geometria na periferia e ajuste a faixa de avanço de acordo com os dados de corte recomendados. 3. Reduza o balanço da broca. 4. Use uma faixa de avanço mais baixa durante os primeiros 3 mm da profundidade do furo. 	Broca não rotativa <ol style="list-style-type: none"> 1. Verifique o alinhamento no torno. 2. Aumente o fluxo de refrigeração, limpe o filtro e os furos de refrigeração na broca. 3. Reduza o balanço da broca. 4. Experimente outra geometria na periferia e ajuste a faixa de avanço de acordo com os dados de corte recomendados.
Vibração 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reduza o balanço da broca, melhore a estabilidade da peça. 2. Reduza a velocidade de corte. 3. Experimente outra geometria na periferia e ajuste a faixa de avanço de acordo com os dados de corte recomendados. 	
Torque insuficiente da máquina 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reduza o avanço. 2. Escolha uma geometria de corte leve para reduzir a força de corte. 	

M_c Nm (lbf-pés)

Problema

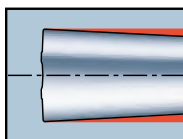
Solução

Potência da máquina insuficiente



1. Reduza a velocidade de corte.
2. Reduza o avanço.
3. Escolha uma geometria de corte leve para reduzir a força de corte.

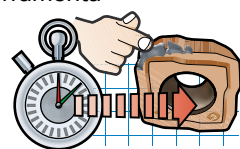
Furo não simétrico



O furo alarga no fundo (devido ao entupimento de cavacos na pastilha central)

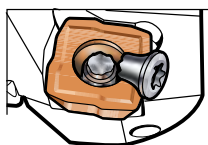
1. Aumente o fluxo de refrigeração, limpe o filtro e os furos de refrigeração na broca.
2. Experimente outra geometria na periferia e ajuste a faixa de avanço de acordo com os dados de corte recomendados.
3. Reduza o balanço da broca.

Vida útil insatisfatória da ferramenta



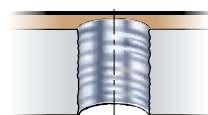
1. Aumente ou reduza a velocidade de corte dependendo do tipo de desgaste.
2. Escolha uma geometria de corte leve para reduzir a força de corte.
3. Aumente o avanço

Parafusos quebrados da pastilha



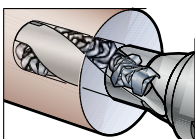
1. Use um torquímetro para prender o parafuso, aplique lubrificante Molykote.
2. Verifique e troque o parafuso da pastilha regularmente.

Acabamento superficial insatisfatório



1. Importante para um bom controle de cavacos.
2. Reduza o avanço (se for importante manter v_f , aumente a velocidade também).
3. Aumente o fluxo de refrigeração, limpe o filtro e os furos de refrigeração na broca.
4. Reduza o balanço da broca, melhore a estabilidade da peça.

Entupimento de cavacos nos canais da broca



Causado por cavacos longos

1. Verifique a geometria e os dados de corte recomendados.
2. Aumente o fluxo de refrigeração, limpe o filtro e os furos de refrigeração na broca.
3. Reduza o avanço dentro dos dados de corte recomendados.
4. Aumente a velocidade de corte dentro dos dados de corte recomendados.

Desgaste da ferramenta – Broca com pastilha intercambiável

Problema

Causa

Solução

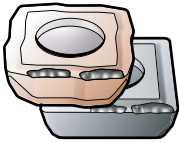
Desgaste de flanco



- a) Velocidade de corte muito alta.
b) Classe resistente ao desgaste insuficiente.

- a) Reduza a velocidade de corte.
b) Selecione uma classe mais resistente ao desgaste.

Craterização



Pastilha periférica

- Desgaste por difusão devido à temperatura de corte muito alta na face de saída.

Pastilha periférica

- Selecione uma classe mais resistente ao desgaste.
- Reduza a velocidade.

Pastilha central:

- Desgaste por abrasão causado por aresta postiça e abrasão.

Pastilha central:

- Reduza o avanço.

Geral:

- Escolha uma geometria mais positiva, ou seja, -LM.

Deformação plástica (pastilha periférica)



- a) Temperatura de corte (velocidade de corte) muito alta, combinada com alta pressão (avanço, dureza da peça).
b) O resultado final do desgaste de flanco e/ou craterizações em excesso.

- a–b) Selecione uma classe mais resistente ao desgaste com melhor resistência à deformação plástica.
a–b) Reduza a velocidade de corte.
a) Reduza o avanço.

Lascamento



- a) Tenacidade insuficiente da classe.
b) Geometria da pastilha muito fraca.
c) Aresta postiça (BUE).
d) Superfície irregular.
e) Estabilidade insatisfatória.
f) Inclusões de areia (ferro fundido).

- a) Selecione uma classe mais tenaz.
b) Selecione uma geometria mais robusta.
c) Aumente a velocidade de corte ou selecione uma geometria mais positiva.
d) Reduza o avanço na entrada.
e) Melhore a estabilidade.
f) Escolha uma geometria mais robusta. Reduza o avanço.

Problema	Causa	Solução
----------	-------	---------

Aresta postiça



- | | |
|---|--|
| <p>a) Reduza a velocidade de corte (temperatura muito baixa na aresta de corte).</p> <p>b) Geometria de corte muito negativa.</p> <p>c) Material muito pastoso como aços inoxidáveis e alumínio puro.</p> <p>d) Percentual de mistura de óleo no fluido de corte muito baixo.</p> | <p>a) Aumente a velocidade de corte ou troque para uma classe com cobertura.</p> <p>b) Escolha uma geometria mais positiva, ou seja, -LM.</p> <p>c-d) Aumente a mistura de óleo e volume/pressão em fluido de corte.</p> |
|---|--|

Escoamento de cavacos - recomendações gerais



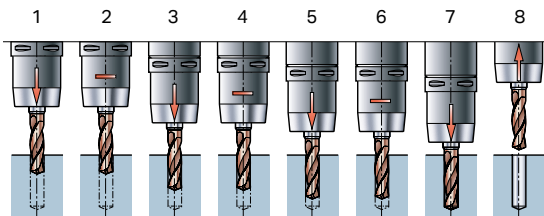
Verifique os pontos e as soluções

1. Certifique-se de que dados de corte e geometria da ponta/broca sejam usados corretamente.
2. Inspeccione a forma dos cavacos (compare com a figura na imagem E 26).
3. Verifique se o fluxo do fluido de corte e a pressão pode ser aumentadas.
4. Inspeccione as arestas de corte. O lascamento da aresta pode gerar cavacos longos porque ele é dividido. Além disso, uma aresta postiça pode formar cavacos insatisfatórios.
5. Verifique se a usinabilidade foi alterada devido a um novo lote do material da peça. Pode ser necessário ajustar os dados de corte.
6. Ajuste o avanço e a velocidade. Veja o diagrama na página E 18.

Furação intermitente (pica-pau) – brocas inteiriças de metal duro e com pontas intercambiáveis

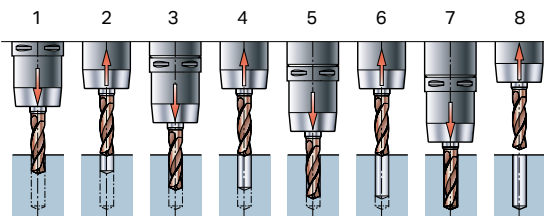
A furação intermitente pode ser usada se nenhuma outra solução for encontrada.

Há duas maneiras diferentes para realizar um ciclo de furação intermitente:



- Método 1 para melhor produtividade

Não retraia a broca em mais que aprox. 0,3 mm (0,012 pol.) do fundo do furo. Como alternativa, faça uma parada periódica enquanto a broca ainda estiver girando e antes de continuar a furar.



- Método 2 para melhor escoamento de cavacos

Após cada ciclo de furação, retire a broca do furo para assegurar que nenhum cavaco está preso na broca.

A

Torneamento

B

Cortes e canais

C

Rosqueamento

D

Fresamento

E

Furação

F

Mandrilamento

G

Sistemas de fixação

H

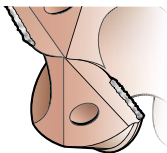
Usinabilidade
Outras informações

Desgaste da ferramenta – brocas inteiriças / pontas intercambiáveis

Causa

Solução

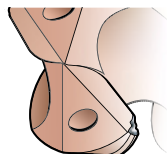
Aresta postiça (BUE)



1. Velocidade de corte muito baixa e temperatura da aresta muito alta
2. Fase negativa muito grande
3. Sem revestimento
4. Percentual de óleo no fluido de corte muito baixo

1. Aumente a velocidade de corte ou use o fluido de corte externo
2. Aresta de corte mais viva
3. Cobertura na aresta
4. Aumente o percentual de óleo no fluido de corte

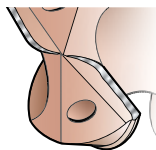
Lascamento no canto da aresta



1. Fixação instável
2. Batimento (TIR) muito alto
3. Corte intermitente
4. Fluido de corte insuficiente (trinca térmica)
5. Fixação instável da ferramenta.

1. Verifique a fixação
2. Verifique o batimento radial
3. Diminua o avanço
4. Verifique o fornecimento de fluido de corte
5. Verifique o porta-ferramenta

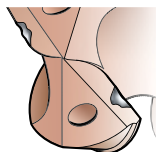
Desgaste do flanco nas arestas de corte



1. Velocidade de corte muito alta
2. Avanço muito baixo
3. Classe muito tenaz
4. Falta de fluido de corte

1. Reduza a velocidade de corte
2. Aumente o avanço
3. Mude para uma classe mais resistente
4. Verifique o fornecimento de fluido de corte adequado

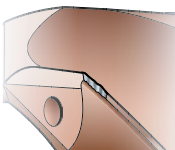
Lascamento na aresta de corte



1. Condições instáveis
2. Desgaste máximo permitido excedido
3. Classe muito dura

1. Verifique o ajuste (set-up)
2. Substitua a broca rapidamente
3. Mude para uma classe mais tenaz

Desgaste nas guias

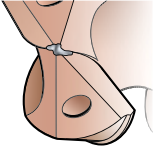


1. Batimento (TIR) muito alto
2. Fluido de corte muito fraco
3. Velocidade de corte muito alta
4. Material abrasivo

1. Verifique o batimento radial
2. Use o óleo puro ou emulsão mais forte
3. Reduza a velocidade de corte
4. Mude para uma classe mais resistente

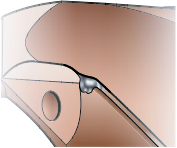
Causa

Solução

Desgaste da aresta transversal

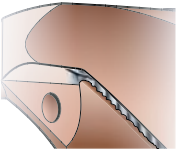
1. Velocidade de corte muito baixa
2. Avanço muito alto
3. Aresta transversal muito pequena

1. Aumente a velocidade de corte
2. Diminua o avanço
3. Verifique as dimensões

Desgaste à deformação plástica

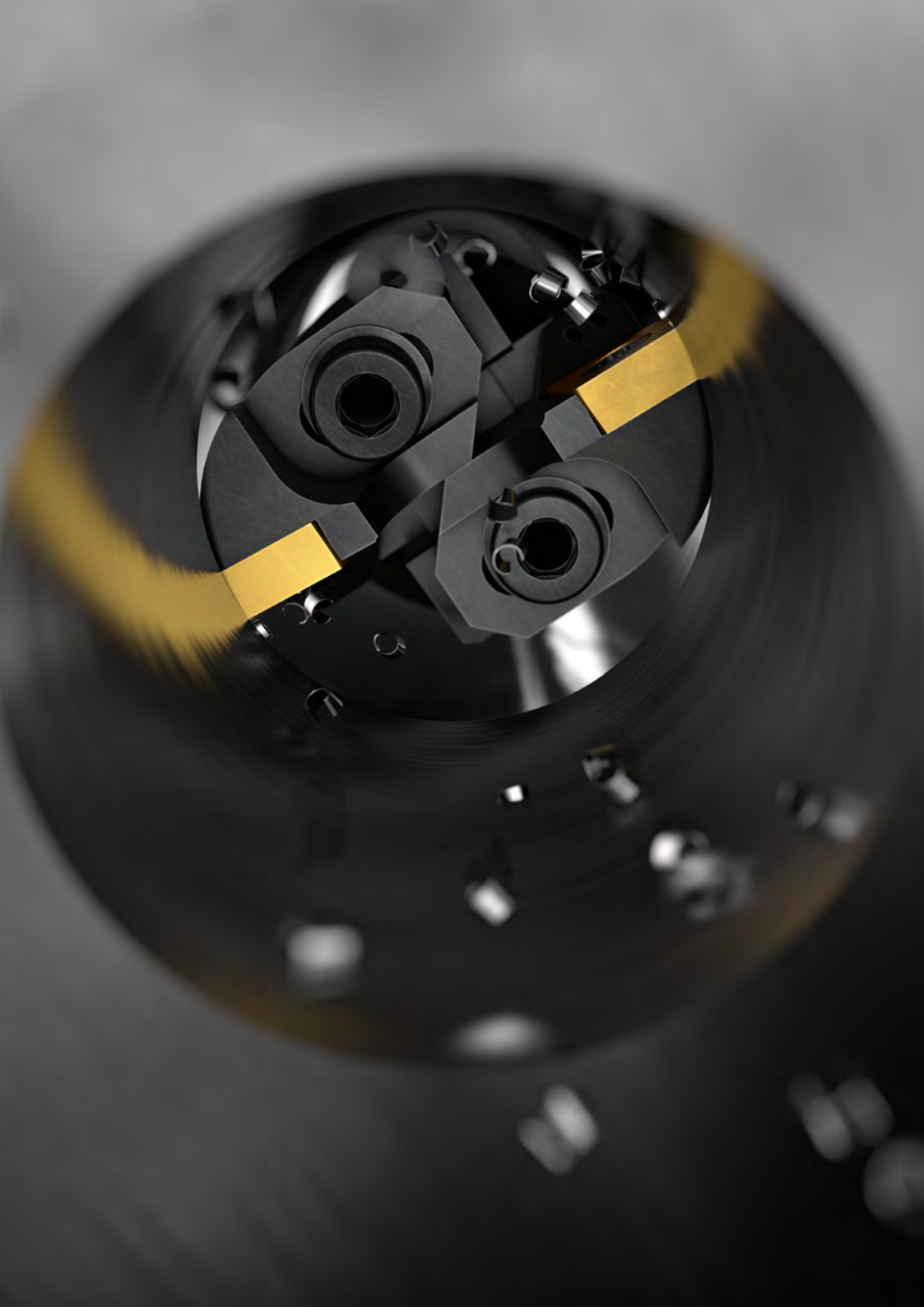
1. Velocidade de corte e/ou avanço muito alto
2. Fornecimento de fluido de corte insuficiente
3. Classe/broca inadequada

1. Diminua a velocidade de corte e/ou avanço
2. Aumente a pressão do fluido de corte
3. Use uma classe mais resistente

Trincas térmicas (entalhes)

1. Fluido de corte inconsistente

1. Verifique o fornecimento de fluido de corte
2. Encha o tanque de fluido de corte



Mandrillamento

As operações de mandrilamento que envolvem as ferramentas rotativas, são aplicadas para usinar furos feitos por meio de métodos como: Pré-usinagem, fundição, forjamento, extrusão, oxicorte etc.

- Teoria F 4
- Procedimento para seleção F 8
- Visão geral do sistema F 13
- Escolha da ferramenta F 16
- Como aplicar F 22
- Problemas e soluções F 27

Teoria de mandrilamento

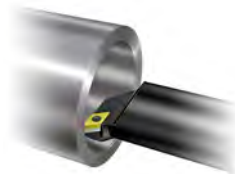
O processo de mandrilamento

- Geralmente, as operações de mandrilamento são realizadas em centros de usinagem e máquinas de mandrilamento horizontal.
- A ferramenta rotativa avança axialmente através do furo.
- Geralmente, a maioria dos furos é do tipo passante em peças prismáticas como alojamentos e carcaças.



Três métodos diferentes de mandrilamento básicos

Mandrilamento com uma ferramenta estacionária



Mandrilamento com uma ferramenta rotativa



Fresamento por interpolação helicoidal



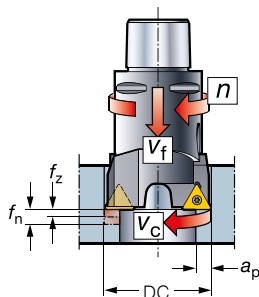
- A ser usado somente para peças simétricas em um torneamento.
- O perfilamento pode ser executado com barras de mandrilar padrão.
- Soluções de ferramentas muito flexíveis com cabeças de corte intercambiáveis.

- Para peças assimétricas usinadas em um centro de usinagem.
- Soluções de ferramentas flexíveis com diâmetros ajustáveis.
- Muito produtivo em operações de desbaste.
- Alta qualidade quanto a tolerância do furo e ao acabamento superficial.

- Solução muito flexível onde uma fresa pode ser usada para diâmetros diferentes.
- Espaço minimizado no magazine da ferramenta.
- Boa solução quando a quebra de cavacos é um problema.
- Alta demanda de qualidade da usinagem (para acabamento).

Definições de termos

Definições de termos de dados de corte



Velocidade de corte

A ferramenta de mandrilar gira a um determinado número de rotações (n) por minuto, gerando um determinado diâmetro (DC). Isso propicia uma velocidade de corte específica (v_c) medida em m/min (pés/min) na aresta de corte.

Avanço

O movimento axial da ferramenta é chamado de faixa de avanço (f_n) e é medido em mm/rot (pol./revolução). A faixa de avanço é obtida multiplicando o avanço por dente, mm/rot (pol./rot.), pelo número efetivo de dentes (z_c). A faixa de avanço é o principal valor para determinar a qualidade da superfície que está sendo usinada e para garantir que a formação de cavacos esteja dentro do campo de atuação da geometria da pastilha.

Taxa de penetração

A taxa de penetração (v_f) é a velocidade do movimento axial e está intimamente relacionada à produtividade.

- n = velocidade do furo (rpm)
- a_p = profundidade do corte radial mm (pol.)
- v_c = velocidade de corte m/min (pés/min)
- f_n = avanço por rotação, mm/rot. (pol./rot)
- DC = diâmetro de mandrilamento mm (pol.)
- v_f = taxa de penetração, mm/min (pol./min)
- f_z = avanço por dente mm/rot (pol./rot.)
- z_c = número efetivo de dentes que usinam a superfície final

Métrico

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{1000} \quad (\text{m/min})$$

Polegadas

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{12} \quad (\text{pés/min})$$

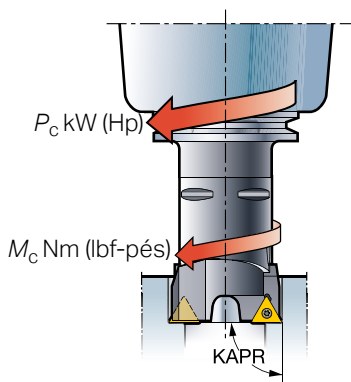
$$v_f = f_n \times n \quad \text{mm/min (pol./min)}$$

$$f_n = z_c \times f_z \quad \text{mm/r (pol./r)}$$

Profundidade de corte

A profundidade de corte (a_p) é a diferença entre o raio do furo usinado e não usinado.

Cálculo do consumo de potência e torque



Torque

O torque (M_c) é o valor de torque produzido pela ferramenta de mandrilar durante a ação de corte que a máquina deve ser capaz de suportar.

Potência líquida

A potência líquida (P_c) é a potência que a máquina deve ser capaz de proporcionar às arestas de corte para direcionar a ação de corte. A eficiência elétrica e mecânica da máquina deve ser levada em consideração na seleção dos dados de corte.

Força de corte específica

Força/área de corte para uma determinada espessura de cavacos na direção tangencial.

O valor k_c indica a usabilidade de um determinado material e é expresso em N/mm^2 (lbs/pol²).

n = velocidade do fuso (rpm)
 v_c = velocidade de corte m/min (pés/min)
 f_n = avanço por rotação, mm/rot. (pol./rot)
 DC = diâmetro de mandrilamento mm (pol.)
 k_c = Força de corte específica N/mm^2 (lbs/pol²)
 P_c = consumo de potência kW (Hp)
 M_c = torque Nm (lbf-pés)
 $KAPR$ = Ângulo da aresta de corte da ferramenta

Métrico

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} \quad (\text{Nm})$$

Polegadas

$$M_c = \frac{P_c \times 16501}{\pi \times n} \quad (\text{lbf-pés})$$

Potência líquida, kW

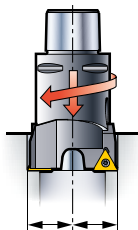
$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3} \left(1 - \frac{a_p}{DC} \right)$$

Potência líquida, HP

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{132 \times 10^3} \left(1 - \frac{a_p}{DC} \right)$$

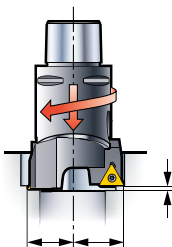
Métodos de usinagem de furos

Mandrillamento produtivo



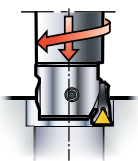
O mandrilamento produtivo envolve duas ou três arestas de corte e é empregado para operações de desbaste de tolerâncias de furo de IT9 ou maiores, onde a taxa de remoção de metal é a principal prioridade. No mandrilamento de multiarestas, todos os cassetes são ajustados com o mesmo diâmetro e altura. A faixa de avanço é obtida ao multiplicar o avanço para cada pastilha pelo número de pastilhas ($f_n = f_z \times z$). Este é o ajuste (set-up) básico para a maioria das aplicações de mandrilamento.

Mandrillamento escalonado



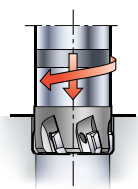
No mandrilamento escalonado, os dois cassetes são ajustados com diâmetros e alturas axiais. O mandrilamento escalonado é usado quando são necessárias grandes profundidades de corte radial ou no mandrilamento de material macio (material com cavacos longos). A largura do cavaco é dividido em dois tipos de cavacos pequenos, de fácil controle, por meio deste método. A faixa de avanço e o acabamento superficial produzido são os mesmos de quando se usa somente uma pastilha ($f_n = f_z$).

Mandrillamento com aresta única



O mandrilamento em desbaste com aresta única é usado quando há exigência de controle de cavacos (material com cavacos longos) e/ou quando a potência da máquina ferramenta é limitada. Apenas um cassete é usado. As superfícies do cassete são protegidas por capas quando não em uso. No mandrilamento de acabamento, é usada uma ferramenta de aresta única ajustável para tolerâncias mais rigorosas para o furo, ($f_n = f_z$).

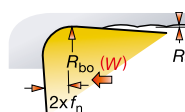
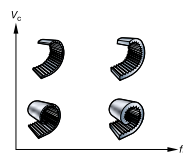
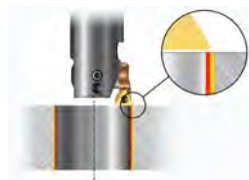
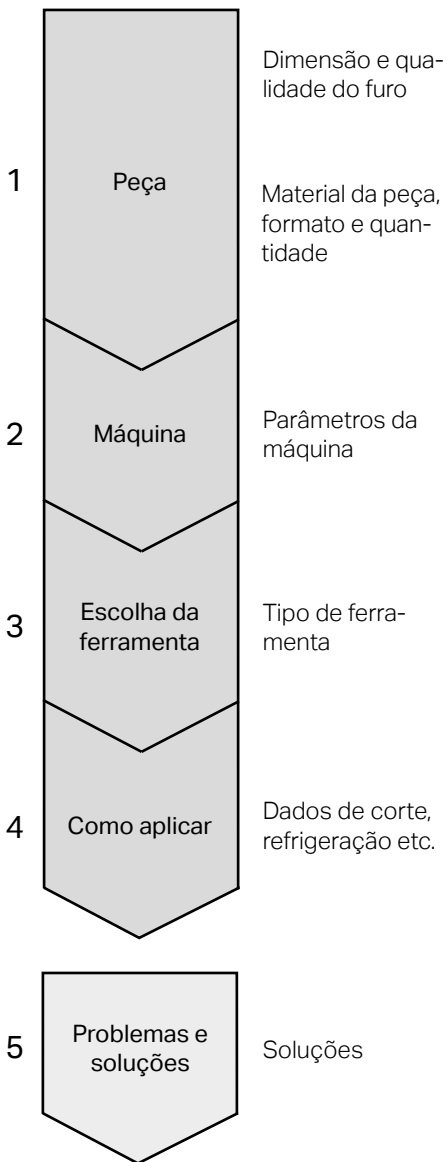
Alargamento



O alargamento é uma operação de acabamento leve, realizada com um alargador multiarestas em altos avanços.

Procedimento para seleção da ferramenta

Processo de planejamento de produção



1. Peça e material da peça

Parâmetros a serem considerados



Peça

- Identifique o tipo de operação e observe as características relacionadas ao furo a ser usinado, limitações, material e máquina.
- Fixação, forças de fixação e forças de corte. A peça é sensível à vibrações?
- Selecione a ferramenta que abranja a faixa de diâmetro de mandrilamento e a profundidade para a operação, além do acabamento superficial e da tolerância.

Material

- Usinabilidade
- Quebra de cavacos
- Dureza
- Elementos da liga.

2. Parâmetros da máquina

Condição da máquina



- Interface do fuso
- Estabilidade da máquina
- A velocidade do fuso
- Refrigeração
- Pressão de refrigeração
- Fixação da peça
- Fuso horizontal ou vertical
- Potência e torque
- Magazine de ferramentas.

3. Escolha da ferramenta

A resistência à deflexão e à transmissão de torque são os fatores mais importantes a se escolher um porta-ferramenta para operações de mandrilamento. Escolha a ferramenta de acordo com suas necessidades específicas:



- Ferramentas para vários materiais, aplicações e condições.
- Mecanismos de ajuste precisos e refrigeração de alta precisão para acabamento.
- Otimize a produtividade com várias ferramentas com aresta de corte.
- Ferramentas de diâmetro pequeno e grande.
- Para usinagem sem vibrações em longos balanços – use ferramentas antivibratórias.
- Reduz o peso do conjunto da ferramenta para facilitar o manuseio e reduzir a dinâmica.

Soluções específicas para a área da engenharia



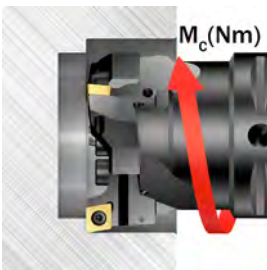
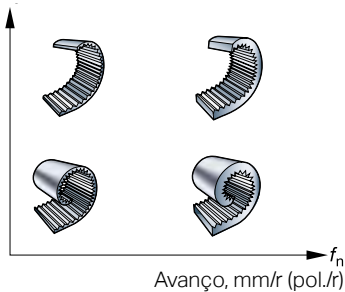
- Geralmente uma combinação de múltiplas operações em uma ferramenta.
- As operações podem ser concluídas durante um movimento de avanço.

4. Como aplicar

Considerações importantes sobre a aplicação



Velocidade de corte,
 v_c m/min (pés/min)



Sistemas de fixação

- Use sempre o acoplamento mais resistente e procure aplicar o balanço da ferramenta mais curto possível.
- Para melhor estabilidade e qualidade do furo use Coromant Capto®, ferramentas antivibratórias e hastes cônicas.

Considerações sobre a ferramenta

- Considere o ângulo de posição (ataque), a geometria da pastilha e a classe.

Escoamento de cavaco e fluido de corte

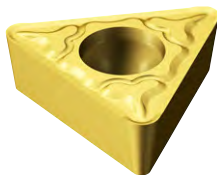
- A formação de cavacos e o escoamento são fatores importantes no mandrilamento e afetam a qualidade e a tolerância do furo.

Dados de corte

- A velocidade de corte e a faixa de avanço corretas, são essenciais para alta produtividade, vida útil da ferramenta e qualidade do furo.
- Tenha em mente o torque e a potência da máquina.

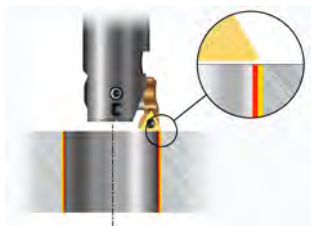
5. Problemas e soluções

Considerações importantes sobre a aplicação



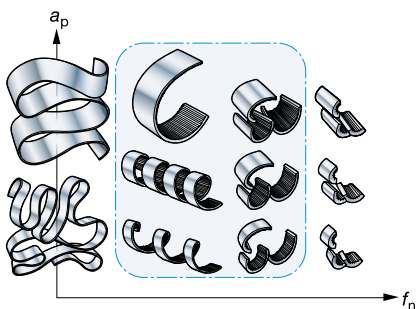
Desgaste da pastilha e vida útil da ferramenta

- A geometria, classe e dados de corte corretos são essenciais nas operações de mandrilamento.



Escoamento de cavacos

- Verifique a quebra de cavacos e o fornecimento de fluido de corte.

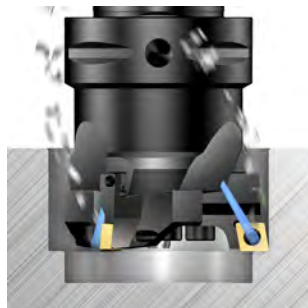


Tolerâncias e qualidade do furo

- Verifique a fixação da ferramenta de mandrilamento/peça, faixa de avanço, condições da máquina e escoamento de cavaco.

Dados de corte

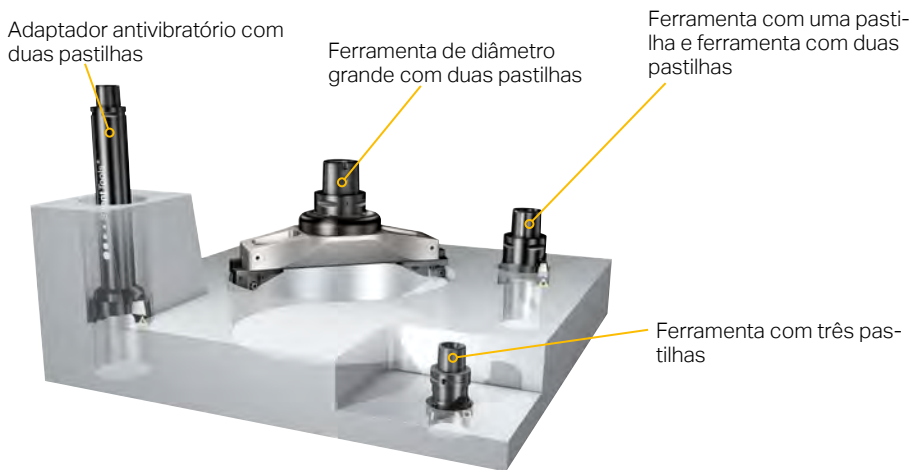
- A velocidade de corte, a faixa de avanço e a profundidade de corte corretos são essenciais para alta produtividade, vida útil da ferramenta e para evitar vibrações.



Visão geral do sistema

Ferramentas para mandrilamento em desbaste

As operações de mandrilamento em desbaste são realizadas para abrir um furo existente e prepará-los para o acabamento.



Ferramentas para mandrilamento de precisão

As operações de mandrilamento de precisão são realizados dentro dos limites da tolerância e de acabamento superficial.

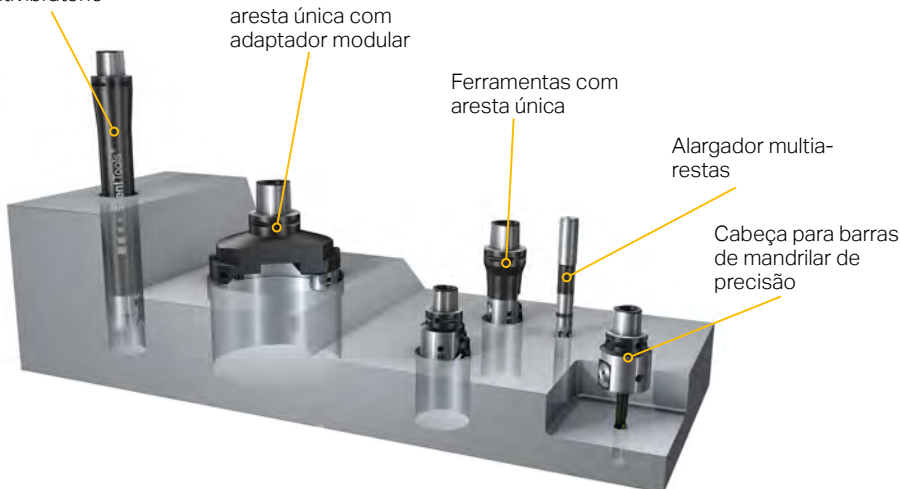
Ferramenta com aresta única com adaptador antivibratório

Ferramenta com aresta única com adaptador modular

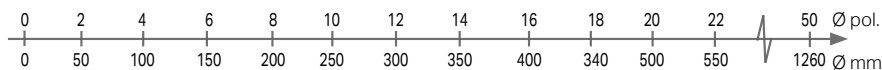
Ferramentas com aresta única

Alargador multiarestas

Cabeça para barras de mandril de precisão



Mandrilamento em desbaste



Ferramentas de mandrilamento em desbaste com duas pastilhas Ø23-170 mm (0,908-6,893")



Ferramentas de mandrilamento em desbaste com três pastilhas Ø36-306 mm (1,4-12")



Ferramentas antivibratórias de mandrilamento em desbaste com duas pastilhas Ø25-150 mm (1-6")



Ferramentas de mandrilamento em desbaste de diâmetro grande com duas pastilhas Ø150-1260 mm (6-50")



Ferramentas de mandrilamento em desbaste de diâmetro grande com duas pastilhas. Ø148-300 mm (5,82-11,81")



Ferramentas de mandrilamento em desbaste de diâmetro grande com duas pastilhas (antivibratórias). Ø148-300 mm (5,82-11,81")

Mandrilamento de precisão – diâmetro pequeno



Cabeças de mandrilamento de precisão com barra de metal duro de Ø1-8,2 mm (0,04-0,320")



Cabeças de mandrilamento de precisão com barra de mandril indexável Ø6-20 mm (0,24-0,79")




Cabeça de mandrilamento de precisão com barra indexável ou barra de canais de Ø8-32 mm (0,31-1,26")





Alargador multiarestas Ø3,97-31,75 mm (0,156 - 1,25")


Mandrimento de precisão – diâmetros médios




 Mandrilamento de precisão com cabeça intercambiável Ø19-36 mm (0,75-1,42")

 Mandrilamento de precisão com haste cilíndrica Ø19-36 mm (0,75-1,42")

 Mandrilamento de precisão com Coromant Capto (modular) Ø19-167 mm (0,75-6,58")

 Mandrilamento de precisão com Coromant Capto (antivibratório) Ø23-167 mm (0,91-6,58")

 Mandrilamento de precisão com Coromant Capto (leve) Ø69-167 mm (2,716-6,575")

Mandrimento de precisão – diâmetros grandes



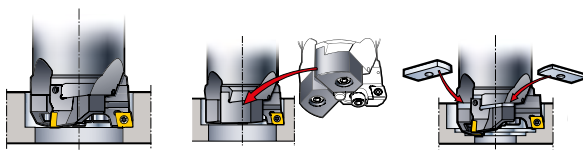
 Mandrilamento de precisão Ø150-1275mm (5,9-50")

 Mandrilamento de precisão (antivibratório) Ø150-315mm (5,9-12,4")

 Mandrilamento de precisão com Coromant Capto ou fixação do tipo árvore (leve) Ø150-315 mm (5,9-12,4")

Escolha da ferramenta

Desbaste



Mandrillamento produtivo

Mandrillamento com aresta única

Mandrillamento escalonado

Mandrillamento produtivo

- Alta taxa de remoção de metal.
- Mandrillamento multiarestas, pastilhas no mesmo nível.

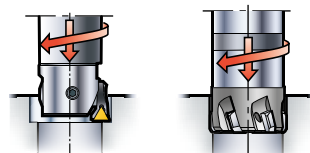
Mandrillamento escalonado

- Para mandrillamento em desbaste com grande taxa de remoção de sobremetal.
- Controle de cavacos aprimorado.

Mandrillamento com aresta única

- Controle de cavacos aprimorado.
- Menos exigência de potência da máquina.

Acabamento



Mandrillamento com aresta única

Alargamento

Mandrillamento com aresta única

- Mandrillamento de alta precisão.
- Capacidade de tolerância IT6.
- Ajustabilidade de 0,002 mm (0,00008").

Alargamento

- Muito bom acabamento superficial com altas taxas de penetração.
- Apropriada para produção em massa.

Soluções específicas para a área da engenharia



- Geralmente uma combinação de múltiplas operações em uma ferramenta.
- As operações podem ser concluídas durante um movimento de avanço.

Ferramentas para mandrilamento em desbaste

Ferramenta para mandrilamento em desbaste com três pastilhas



A recomendação como primeira escolha para máquinas de média e alta potência é uma ferramenta para mandrilamento em desbaste com três aresta de corte para produtividade otimizada. Ela também pode ser configurada para aresta única e mandrilamento escalonado.

Ferramenta para mandrilamento em desbaste com duas pastilhas



Uma ferramenta para mandrilamento em desbaste com duas arestas de corte para máquinas de baixa a média potência, operações estáveis ou diâmetros maiores.

Ferramenta para mandrilamento em desbaste leve



Reduz o peso do conjunto da ferramenta, para diminuir a dinâmica, facilitar a troca e o manuseio da ferramenta. Para o mandrilamento de diâmetros grandes com maior estabilidade sem aumentar o peso da ferramenta.

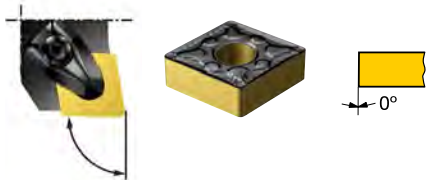
Ferramenta para mandrilamento em desbaste antivibratória para balanços longos



Escolha as ferramentas para mandrilamento em desbaste com mecanismo antivibratório para balanços mais longos que 4 vezes o diâmetro do acoplamento.

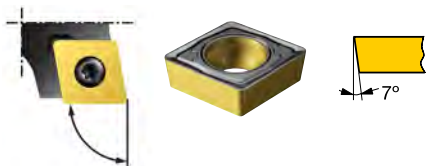
Cassetes para ferramentas para mandrilamento em desbaste

Cassetes com pastilhas negativas



- Para condições estáveis, escolha pastilhas de formato negativo para melhorar a economia da pastilha.
- Use pastilhas negativas em aplicações difíceis que precisam de pastilhas robustas e melhor segurança do processo.

Cassetes com pastilhas positivas



- No mandrilamento em desbaste, é uma vantagem para usar as pastilhas positivas com formato básico porque elas geram forças de corte mais baixas quando comparadas às pastilhas negativas.
- Um ângulo de ponta pequeno e um raio de ponta pequeno também contribuem para manter as forças de corte baixas.

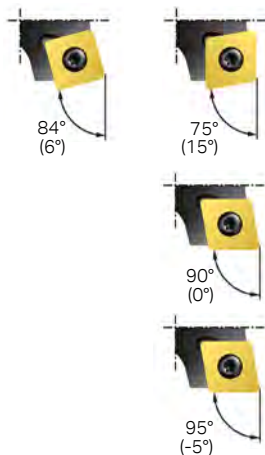
Ângulo de posição (ataque) e formato da pastilha

O ângulo de posição (ataque) das ferramentas de mandrilar afeta a direção e a magnitude das forças radiais e axiais. Um ângulo de posição grande (ataque menor)

produz uma força de corte axial elevada, enquanto que um ângulo de posição menor (ataque maior) resulta em uma força de corte radial elevada.

Pastilhas positivas

Pastilhas negativas



Para cortes interrompidos, inclusões de areia, mandrilamento em pacote etc. Somente furos passantes.

Primeira escolha para aplicações gerais, mandrilamento escalonado e para operação de usinagem de cantos a 90°.

Para altos avanços ou melhor acabamento superficial com pastilhas Wiper em condições estáveis.



Ferramentas para mandrilamento de precisão

Ferramenta para mandrilamento de precisão com aresta única



Uma ferramenta para mandrilamento de precisão é a primeira escolha para operações de mandrilamento de precisão.

Ferramenta para mandrilamento de precisão leve



Reduz o peso do conjunto da ferramenta, para diminuir a dinâmica, facilitar a troca e o manuseio da ferramenta. Para o mandrilamento de diâmetros grandes com maior estabilidade sem aumentar o peso da ferramenta.

Cabeça com barras para mandrilamento de precisão



Para diâmetros pequenos, é necessária uma cabeça com barras para mandrilamento de precisão.

Silent Tools para balanços longos



As Silent Tools (com mecanismo antivibração) são a primeira escolha para balanços que sejam mais longos que 4 vezes o diâmetro do acoplamento.

Alargador multiarestas



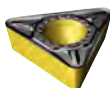
Os alargadores multiarestas são adequados para altos avanços em produção de massa.

Cápsulas para ferramentas de mandrilamento de precisão

Recomendações gerais



Pastilhas positivas
ângulo de folga de 7°



Pastilhas positivas
ângulo de folga de 11°

Ângulo de posição (ataque)

afeta a direção e a magnitude das forças de corte axiais e radiais. Quanto maior o ângulo de posição (ataque menor) maiores as forças axiais, o que pode ser benéfico na aplicação de mandrilamento. Diferente do ângulo de posição menor (ataque maior), o qual resulta em forças radiais maiores, causando vibração na aplicação.

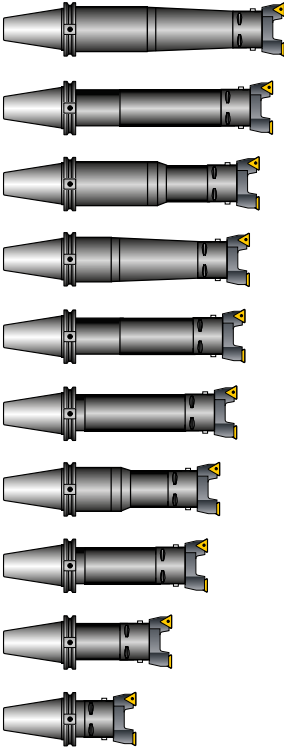
Formato da pastilha

deve ser selecionado de acordo com a largura fresada da aresta de corte. O ângulo da ponta grande, assegura a resistência e a confiabilidade da pastilha, mas também precisa de mais potência da máquina e tem maior tendência à vibração devido à grande área de contato da aresta de corte. A minimização do ângulo de ponta da pastilha pode melhorar a estabilidade da ferramenta e possíveis movimentos radiais, permitindo menor variação e força de corte. A primeira escolha são pastilhas com formato básico positivo com ângulos de folga de 7°.

Raio de ponta da pastilha

é um fator essencial nas operações de mandrilamento. A escolha do raio de ponta depende da profundidade de corte e da faixa de avanço que influencia o acabamento superficial, a quebra de cavacos e a resistência da pastilha. Um raio de ponta grande defletirá a ferramenta de mandrilamento mais do que um raio de ponta menor e pode ser mais suscetível à vibração. O uso de uma geometria da pastilha de corte leve, cobertura fina e um raio de ponta pequeno com profundidades de corte leves, contribui para manter as forças de corte baixas.

Balanço da ferramenta



- Escolha o adaptador mais curto possível.
- Escolha o maior tamanho/diâmetro de adaptador possível.
- Para longos balanços (maiores do que 4 x o diâmetro do acoplamento) use adaptadores antivibratórios.
- Se possível, use um adaptador cônico para aumentar a rigidez estática e para reduzir a deflexão.
- Para longos balanços certifique-se de que haja fixação rígida com contato da flange com o fuso, se possível.

Como aplicar

Tolerância do furo

O que influencia nas tolerâncias:

- a fixação do porta-ferramenta
- a fixação da peça
- o desgaste das pastilhas, etc.

Ferramentas de mandrilamento e alargamento

Assegure sempre de fazer o ajuste final após a medição do diâmetro do furo, enquanto a ferramenta ainda está no fuso de máquina. Isso compensa algum desalinhamento que possa ocorrer entre o fuso da máquina-ferramenta e a configuração da ferramenta, deflexões radiais e desgaste da pastilha.

	Ferramenta para mandrilamento em desbaste com múltiplas arestas 	Ferramenta para mandrilamento de precisão com aresta única 	Alargador multiarestas para acabamento em alto avanço 
IT6			
IT7			
IT8			
IT9			

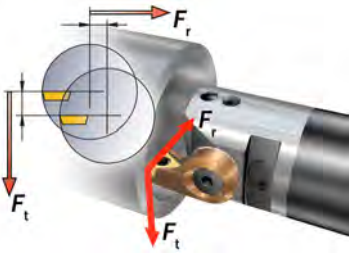
Ferramentas para mandrilamento de precisão

Mecanismo da ferramenta de mandrilamento de precisão ajustável



As ferramentas para mandrilamento de precisão com aresta única têm possibilidades de ajuste para pré-ajustar a aresta de corte dentro de microns.

Deflexão da ferramenta



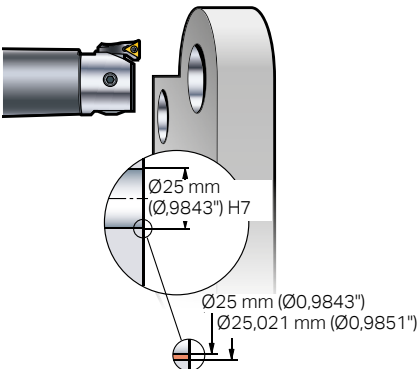
- Ferramentas de mandrilamento para acabamento, com uma aresta de corte, sofrerão um certo grau de deflexão radial durante a usinagem devido às forças de corte.

- A profundidade do corte e o comprimento do balanço influenciam a deflexão radial da ferramenta de mandrilamento.

- A deflexão pode causar furos muito pequenos ou vibrações.

- Normalmente, é necessário fazer um corte de medição seguido do auste final da ferramenta.

Tolerância do furo



Ferramentas para mandrilamento – geral

Refrigeração interna

O escoamento de cavacos, a refrigeração e a lubrificação entre a ferramenta e o material da peça, são as principais funções do fluido de corte.



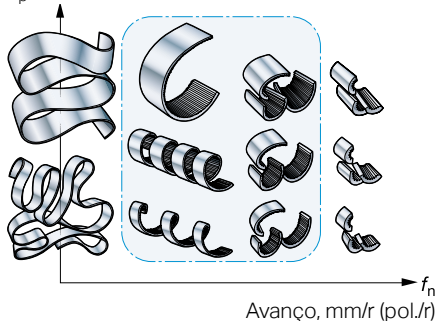
- Aplique fluido de corte para otimizar o escoamento de cavaco, a refrigeração e a lubrificação.
- Afeta a qualidade do furo e a vida útil da ferramenta.
- O fluido de corte interno é recomendado a fim de direcionar o fluido para a zona de corte.

Controle de cavacos e escoamento de cavacos

A formação e o escoamento de cavacos são questões críticas em operações de mandrilamento, especialmente em furos cegos.

O ideal é que os cavacos devem ter o formato de uma vírgula ou espirais.

Profundidade de corte,
 a_p mm (inch)

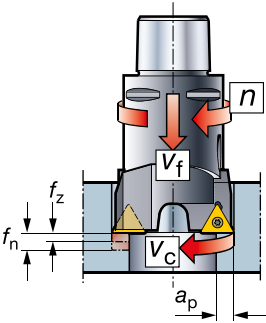


Os fatores que influenciam a quebra de cavacos são:

- micro e macrogeometrias da pastilha
- raio de ponta
- ângulo de posição (ataque)
- profundidade de corte
- avanço
- velocidade de corte
- material.



Recomendações de dados de corte



A configuração da velocidade de corte (v_c) e do avanço (f_n) corretos depende da aplicação. O aumento da velocidade de corte e/ou avanço, aumenta o risco de segurança do processo e confiabilidade insuficientes, causando escoamento de cavaco insatisfatório, entupimento de cavaco e quebra da pastilha. Especialmente em aplicações de furo profundo. Uma velocidade de corte baixa pode aumentar as possibilidades de arestas postiças (BUE), levando a acabamento superficial insatisfatório, forças de corte mais altas e diminuição da vida útil da ferramenta. Os dados de corte gerais para geometria e classe da pastilha podem ser seguidos considerando-se as exceções a seguir:

- Mandrilamento em desbaste

Valor inicial máx $v_c = 200$ m/min (656 pés/min).

- Mandrilamento de precisão com adaptadores de mandrilamento de precisão:

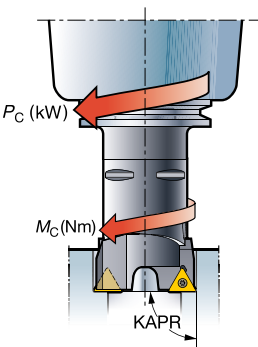
Valor inicial máx $v_c = 240$ m/min (787 pés/min).

- Mandrilamento de precisão com barras de mandrilamento de precisão:

Valor inicial máx $v_c = 90 - 120$ m/min (295 - 394 pés/min).

- Mandrilamento de precisão:

APMX máx. = 0,5 mm (0,020 pol.).



A velocidade de corte é limitada principalmente por:

- tendências à vibração
- escoamento de cavaco
- longos balanços.

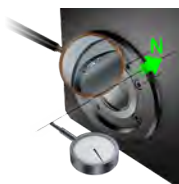
Avanço e profundidade de corte

Largura fresada excessiva da aresta de corte, profundidade do corte grande (a_p) e/ou avanço (f_n) podem causar vibração e maior consumo de potência. Uma profundidade de corte muito pequena, fará com que a aresta da pastilha passe na superfície pré-usinada, apenas raspando ou esfregando nela, causando um resultado insatisfatória no desgaste da ferramenta e acabamento superficial.

Consumo de potência e torque

No mandrilamento, certifique-se de que a máquina tenha potência e torque suficientes.

Manutenção da ferramenta e uso do torquímetro



- Use sempre um torquímetro e aplique o torque recomendado nos parafusos para a pastilha e o conjunto da ferramenta.
- Verifique regularmente se as pastilhas e seus assentos estão limpos e em bom estado. Limpe todos os itens do conjunto antes de montar.
- Substitua as peças com desgastes.
- Lubrifique todos os itens do conjunto, bem como o mecanismo de ajuste de mandrilamento de precisão com óleo, ao menos uma vez por ano.
- Use um dispositivo de fixação de montagem do conjunto adequado e o ajuste da medida (pre-setter) da ferramenta.
- Ao instalar ferramentas antivibratórias; nunca fixe diretamente no corpo do adaptador. Os adaptadores deformam mais facilmente devido à espessura fina da parede.
- Verifique o fuso da máquina, o batimento radial, o desgaste e a força de fixação.

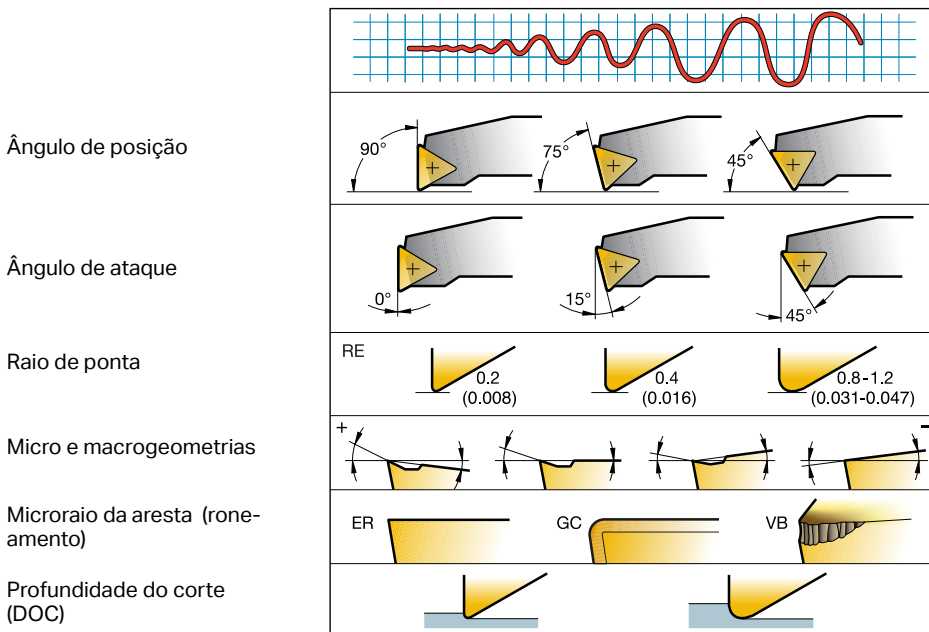
Como aplicar as ferramentas de alargamento

- O alargador não deve ser usado para corrigir erros de posição ou retilidade de furos pré-usinados.
- A retilidade de um furo pré-usinado deve ser menor que 0,05 mm (0,0020 pol.).
- Um pequeno batimento radial é muito importante para operações de alargamento.
- O batimento radial máximo recomendado é de 5 microns.
- Certifique-se de que o alargador seja concêntrico com o furo pré-usinado.
- Escolha o menor balanço e haste da ferramenta possível.
- Emulsão como fluido de corte permite melhor vida útil da ferramenta.
- Use os dados de corte recomendados.

Problemas e soluções

Fatores que afetam as tendências à vibração

As tendências à vibração crescem para a direita.



- Reduza a velocidade de corte.
- Use o mandrilamento escalonado.
- Escolha uma ferramenta de mandrilamento em desbaste de aresta dupla.
- Escolha uma geometria e classe para corte leve.
- Use um raio de ponta menor.
- Verifique a fixação da peça.
- Verifique o fuso da máquina, a fixação, o desgaste etc.
- Aumente a profundidade do corte (acabamento).
- Diminua a profundidade de corte (des-

baste).

- Use ferramentas antivibratórias em caso de longos balanços.
- Verifique se todas as unidades na montagem da ferramenta estão montadas corretamente e com o torque correto.
- Reduza ou aumente o avanço.
- Use o maior diâmetro de ferramenta possível.
- Use o menor balanço da ferramenta possível.

Desgaste da pastilha

Os padrões de desgaste da pastilha e as ações corretivas em mandrilamento geralmente são muito semelhantes ao torneamento.

Quebra de cavacos



Causa

Muito curto, duro.

Solução

- Aumente a velocidade de corte.
- Diminua o avanço.
- Mude a geometria para um quebra-cavacos mais aberto.



Muito longo.

- Aumente o avanço.
- Reduza a velocidade de corte.
- Mude a geometria para um quebra-cavacos mais fechado.

Vibração da ferramenta



Avanço muito alto.
Velocidade muito alta.
Profundidade de corte muito grande.

- Diminua o avanço.
- Diminua a velocidade.
- Use o mandrilamento escalonado.



Forças de corte muito altas.

- Diminua a profundidade do corte.
- Use pastilhas positivas.
- Use um raio de ponta menor.

Marcas de avanço



Avanço muito alto.

- Escolha uma pastilha Wiper com aresta viva.
- Use um raio de ponta maior.
- Diminua o avanço.



Causa

Solução

Desgaste da pastilha



Dados de corte incorretos.

- Mude a aresta de corte e investigue quais as razões para este padrão de desgaste – dados de corte, geometria e classe da pastilha.

Os cavacos arranham a superfície

Quebra de cavacos insatisfatória.

- Altere os dados de corte.
- Altere a geometria da pastilha.

Acabamento superficial



Acabamento superficial insatisfatório.

- Aumente a velocidade.
- Use refrigeração.
- Use uma classe cermet.

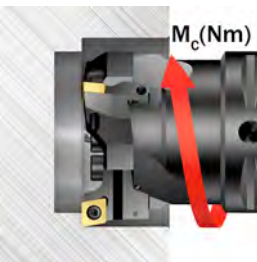
Limitação da potência da máquina



Potência limitada da máquina.

- Diminua os dados de corte.
- Use o mandrilamento escalonado.
- Diminua o número de pastilhas no corte.
- Reduza a profundidade do corte.

Consumo de potência e torque



No mandrilamento em desbaste, certifique-se de que a máquina ofereça potência e torque suficientes.

Parâmetros importantes:

- Avanço.
- Número de pastilhas.
- Diâmetro.
- Profundidade do corte.



Sistemas de fixação

A fixação de uma ferramenta de corte pode influenciar dramaticamente a produtividade e o desempenho da ferramenta de corte. Por isso é importante escolher o porta-ferramentas correto. Este capítulo simplificará o processo e dará orientações sobre como aplicar e manter os produtos de fixação.

- Histórico e conceitos G 4
- Por que ferramentas modulares G 8
- Centros de torneamento G 16
- Centros de usinagem G 25
- Máquinas multitarefas G 30
- Mandris G 35

Sistemas de fixação de ferramentas

- A interface do sistema de fixação com a máquina desempenha um papel muito importante no processo de corte.
- Estabilidade, tempo de troca de ferramenta, precisão, flexibilidade, modularidade, manuseio e armazenamento são de importância vital para o êxito da usinagem.
- Comparado às ferramentas convencionais, um sistema de troca rápida pode aumentar o tempo de corte efetivo em 25% nos centros de torneamento.



Os sistemas de fixação de ferramentas hoje



- A ferramenta evoluiu em consequência da necessidade de produzir novos tipos de padrões de fabricação de máquina.
- Normalmente, estas ferramentas seguem o desenho da interface do fuso do fabricante da máquina (MTM's), sem qualquer controle de padronização.
- Há mais de 35 tipos de interfaces de

fusos nas máquinas atuais, com um igual número de opções de ferramentas para suporte; com isto, a intercambialidade e a disponibilidade de programa reduziu dramaticamente.

História dos cones das máquinas



- A primeira versão deste tipo de cone, foi introduzida nos anos 20 e padronizada (DIN) em 1974.
- O cone foi a base da maioria dos fusos de máquinas ferramenta, devido ao cone longo, permitindo um contato seguro e com estabilidade.
- Ele ainda é popular atualmente, em vários tamanhos e padrões diferentes, usando o cone 7/24. Contudo, não são adequados para ambas aplicações de rotação e de estática.

Interfaces rotativas de máquinas



- Atualmente no mercado houve um aumento na variedade de diferentes interfaces rotativas de máquina.
- Infelizmente, estes sistemas não são projetados para fixação em um fuso e também para um uso modular.
- Nenhum destes sistemas é adequado para ambas aplicações rotativas e estáticas.

Coromant Capto®

Três sistemas em um

- Coromant Capto® foi introduzido em 1990.
- Coromant Capto® foi adotado como norma ISO em 2008.
- Coromant Capto® é um sistema de ferramenta verdadeiramente universal para uso em:
 - Centros de torneamento
 - Centros de usinagem
 - Máquinas multitarefas



A história do sistema Coromant Capto®

- Centro de usinagem / ferramentas rotativas



Suportes sólidos



Varilock



Coromant Capto®/
suportes básicos



- Centro de torneamento / ferramentas para torneamento



Suportes convencionais



Block Tool System



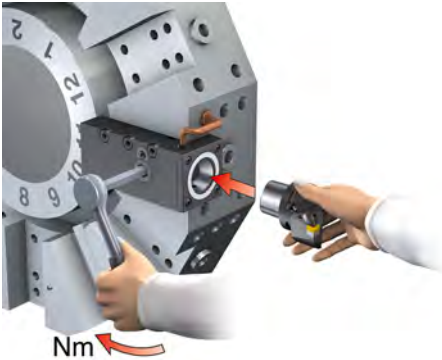
Coromant Capto®/
unidades de fixação



Modularidade

A história do sistema Coromant Capto®

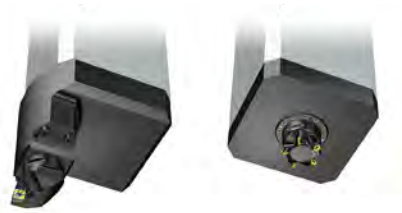
Troca rápida



- Centros de torneamento
- Tornos verticais

Maior utilização da máquina

Fuso integrado



- Máquinas multitarefas
- Tornos verticais
- Centros de usinagem

Maior versatilidade e estabilidade

Sistemas modulares

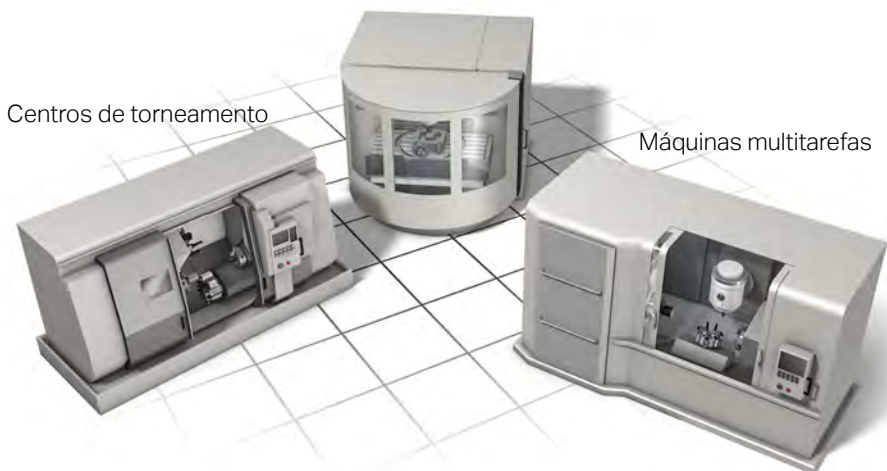


- Centros de usinagem
- Máquinas multitarefas
- Tornos verticais

Maior flexibilidade

Um desenvolvimento significativo das máquinas

Centros de usinagem

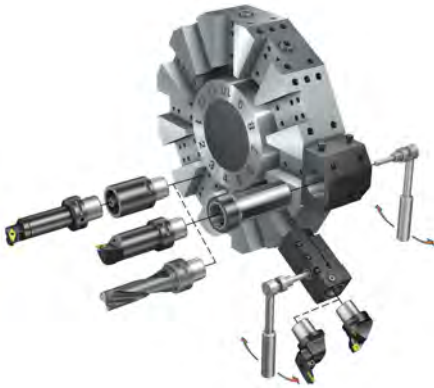


Tendências

Máquinas e métodos de usinagem

- Máquinas multitarefas que necessitam de um sistema de suporte para fuso e torres.
- Várias torres em máquinas multitarefas e centros de torneamento.
- Mais ferramentas multifuncionais para máquinas multitarefas.
- Ferramentas acionadas em centros de torneamento.
- Interfaces potentes no sistema de controle da máquina para graus de automação maiores.
- Modelos 3-D de ferramentas e suportes para verificação de praticamente todo o processo da máquina.
- Integração de várias tecnologias de manufatura em um número menor de máquinas.
- Refrigeração de alta pressão.

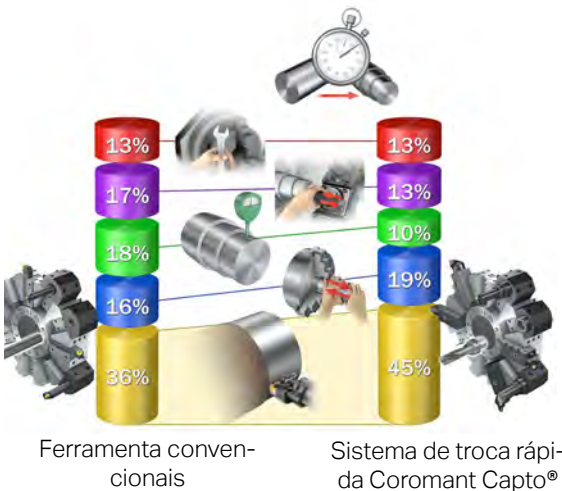
Quando usar a ferramenta de troca rápida



- A máquina necessita de trocas frequentes na preparação (set-up).
- A medição do corte é necessária para obter o tamanho correto.
- A usinagem é realizada com dados de corte altos e vida útil relativamente curta.
- Um operador gerencia mais de uma unidade.

Reduza o tempo de paradas em suas máquinas

Apenas 36% do tempo da máquina é usado para a usinagem

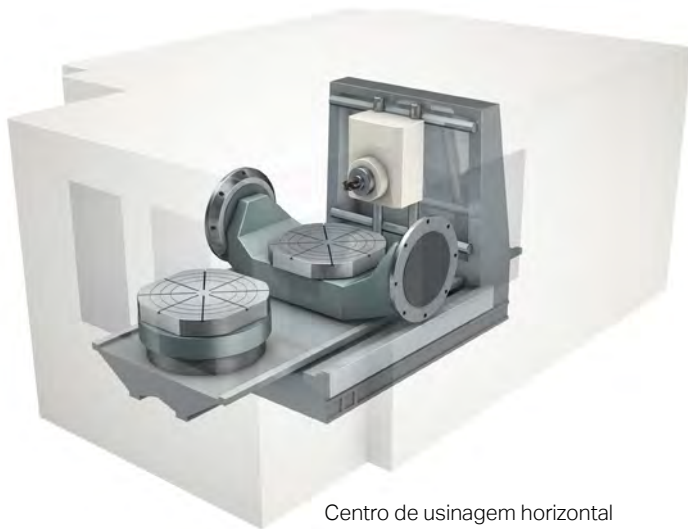


- - Serviço e manutenção
- - Troca da pastilha e troca da ferramenta
- - Medição das ferramentas e das peças
- - Troca de peças
- - Tempo de corte efetivo

As ferramentas de troca rápida oferecem um aumento de 25% na produtividade

Sistema Coromant Capto®

Em quais tipos e tamanhos de máquina precisamos de um sistema modular?



Centro de usinagem horizontal

Centro de usinagem com:

- Coromant Capto® tamanho C6 e maior
- Cones 7/24 no tamanho 40 e maior
- HSK63 e maior.
- Máquina multitarefa com a necessidade de longos balanços
- Centro de torneamento vertical
- Centro de torneamento com acoplamento SL*.

*SL é um sistema modular universal de adaptadores com cabeças de corte intercambiáveis.

Reduza o estoque de porta-ferramentas

Ao combinar suportes básicos, adaptadores e extensões ou reduções (quando necessário), é possível criar muitos conjuntos diferentes para máquinas diferentes.

Modular

ISO 40 ISO 50 HSK 100 HSK 63



Número de itens com ferramentas modulares:
 $4 + 2 + 8 = 14$ itens

Inteiro



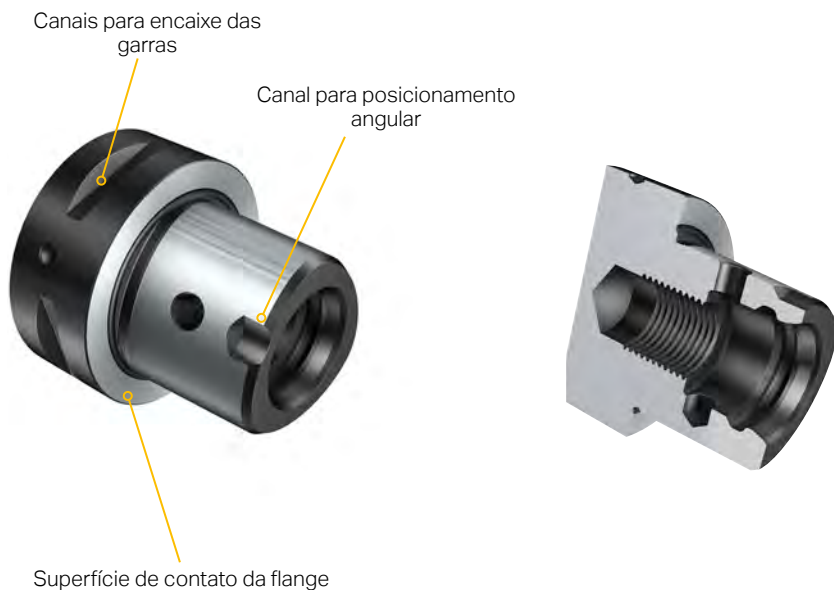
Total 64 itens

As ferramentas modulares mesmo com pouquíssimos itens, fornecem uma grande quantidade de soluções em ferramentas.

O acoplamento Coromant Capto®

O exclusivo acoplamento Coromant Capto® possui alguns recursos muito específicos:

- A boa face de contato da flange em relação ao polígono do cone retificado, oferece a máxima estabilidade, graças às duas faces de contato e o ajuste de interferência.
- Há quatro canais para encaixe das garras para a troca de ferramenta automática.
- Há um canal para o posicionamento angular da ferramenta de corte.



O único acoplamento universal que pode ser usado em todas as aplicações sem comprometimento no processo.

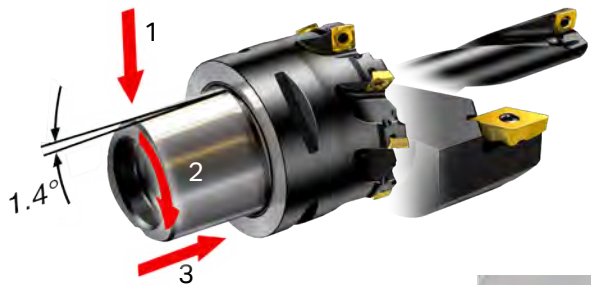
Características e benefícios do acoplamento

A principal característica do acoplamento é o travamento positivo por 3 faces de contatos

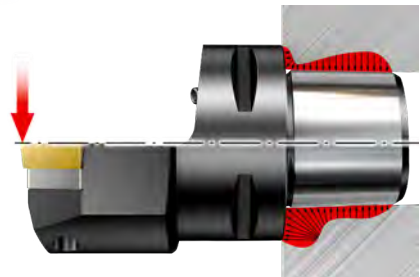
1. A centralização radial é feita pela parte cônica do polígono.
2. O pequeno ângulo do cone permite transmitir toda a força para o contato da flange. A rigidez do acoplamento poligonal permite fixar com uma força maior do que em outros sistemas. Isto é muito importante para resistência à deflexão.
3. Um formato poligonal tem autocentralização e controla a orientação sem a necessidade de um canal guia, sendo assim, não há folga no acoplamento. O formato poligonal também é exclusivo devido à sua capacidade de transmitir torque alto devido às três áreas de contato.

Como resultado dos recursos acima - o contato radial e axial e a capacidade de autocentralização - o acoplamento tem uma repetibilidade extremamente favorável, na classe de 2 microns (0,00008 pol.).

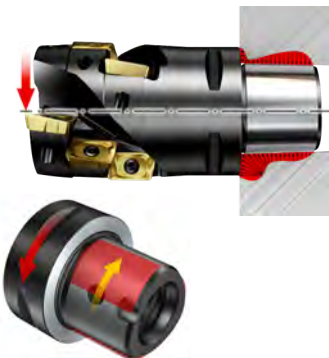
Os canais para encaixe garras, são projetados para oferecer máxima resistência à deflexão e maior força de fixação, pelo fato de que o polígono tem uma maior área de superfície.



travamento de 3 contatos



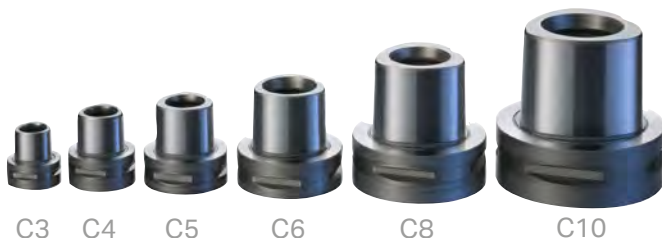
Transmissão de torque



O formato poligonal transmite torque sem peças soltas como pinos ou chaves.

- Sem pinos, chaves, etc.
- Sem folga no acoplamento
- Cargas assimétricas
- Contato em duas faces/alta força de fixação.

Seis tamanhos diferentes de acoplamento



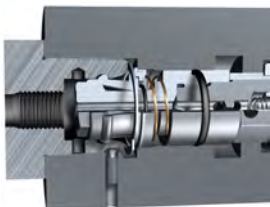
C3 = D 32 mm (1,260 pol.)
C4 = D 40 mm (1,575 pol.)
C5 = D 50 mm (1,969 pol.)

C6 = D 63 mm (2,480 pol.)
C8 = D 80 mm (3,150 pol.)
C10 = D 100 mm (3,937 pol.)

Métodos diferentes de fixação

Um acoplamento oferece dois métodos de fixação.

Fixação segmentada



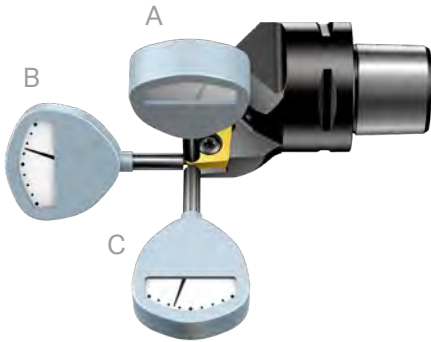
Fixação central por parafuso



Método de fixação para troca rápida e automática de ferramentas.

Para soluções modulares de fixação, por exemplo, quando usar extensões e suportes básicos.

Repetibilidade excelente e altura de centro garantida



- A precisão da repetibilidade é de ± 2 microns [μm] ($\pm 0,00008$ pol.) da altura de centro, medição do comprimento e radial (A),(B),(C).
- Pouca ou nenhuma necessidade de medição de cortes se for usada pré-medição (primeira peça certa).

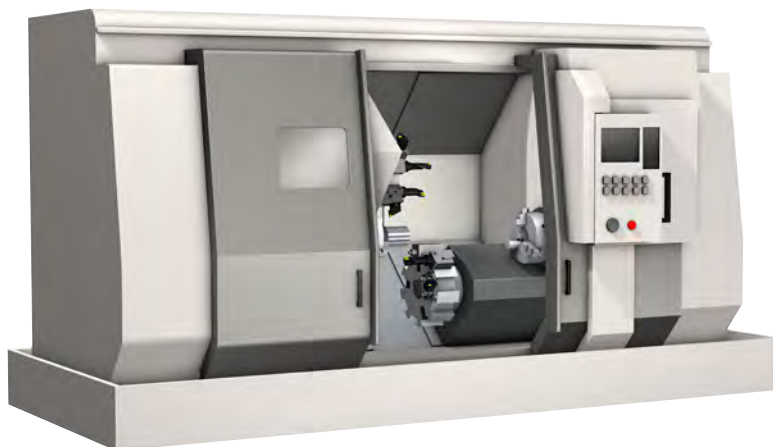
Menor vibração com acoplamento estável

Na usinagem interna, o acoplamento Coromant Capto® é uma solução excelente para fixar a barra de mandrilar, com fixação firme e segurança ao redor de todo o polígono.



Geralmente, a barra de mandrilar é fixada com 2 a 3 parafusos. Isso causa problemas com vibração, acabamento superficial insatisfatório, pastilhas desgastadas e interrupções de produção com tempo de paradas, gasto no ajuste dos dados de corte e medição da peça.

Ferramentas de troca rápida para centros de torneamento



O que é um centro de torneamento?

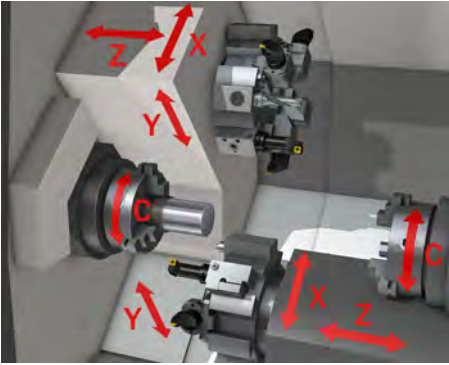
- O princípio de tornos e centros de torneamento é cortar uma peça rotativa com uma ferramenta de corte estacionária.
- A ferramenta de corte move-se paralela e perpendicular ao eixo da peça para fornecer o formato da peça com acabamento desejado.
- Quando uma ferramenta de corte é aplicada à peça, ela pode ser ajustada para produzir uma peça que tenha simetria rotacional.

O centro de torneamento tem opções de configurações

- Projeto horizontal e vertical
- Uma outra placa (Subspindle) para usinagem em dois lados
- Ferramentas acionadas
- Eixo Y para mandrilamento e fresamento excêntrico.

Configuração de um centro de torneamento

Rotação do fuso e definições de eixos



- Diversos programas de máquina-ferramentas multieixos podem fornecer resultados de torneamento desde desbaste e usinagem de canais até rosqueamento e acabamento.

Ferramentas de troca rápida para centros de torneamento



Um sistema de troca rápida oferece:

- troca de ferramentas muito mais rápida e eficiente
- pastilhas que podem ser trocadas fora da máquina
- possibilidades de ajustes (pre-setting).

O sistema mais econômico para:

- produção de pequenos lotes, tempos de preparação (setup) mais rápidos
- operações com trocas de pastilha frequentes.

Menos de 180° para fixar e soltar

Unidades de fixação típicas para centros de torneamento

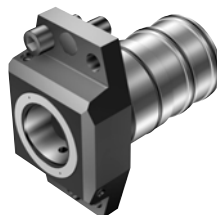
VDI angular
Came ativado



Haste quadrada
Came ativado



Unidade automática
Operado hidraulicamente



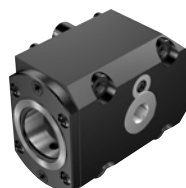
VDI reto
Came ativado



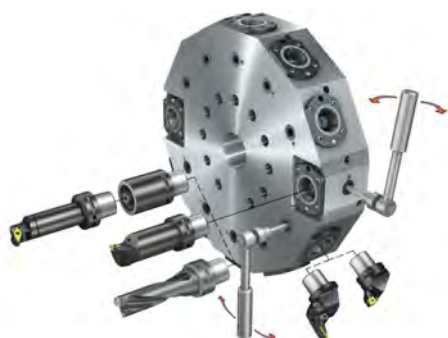
Haste cilíndrica
Fixação do segmento



Aplicações especiais
Came ativado



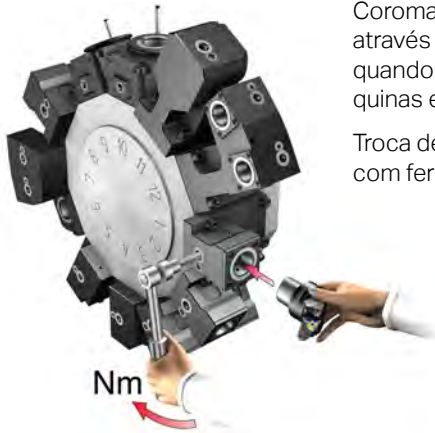
Diferentes maneiras de instalar a troca rápida Integrado diretamente na torre



O Coromant Capto® diretamente integrado nas torres é a melhor solução para obter desempenho máximo do acoplamento Coromant Capto®.

Diferentes maneiras de instalar a troca rápida

Convertido pelas unidades de fixação padrão (standard)



Coromant Capto® como uma interface de máquina através de unidades de fixação é uma boa alternativa quando não é possível utilizar integração direta, (máquinas existentes, etc).

Troca de ferramenta cinco vezes mais rápida do que com ferramentas convencionais.

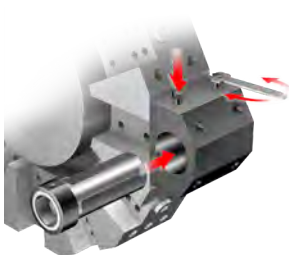
Os tornos podem ser facilmente convertidos para ferramentas de troca rápida Coromant Capto® usando unidades de fixação padrão (standard). Não necessita de modificações na torre e de adaptadores especiais.



Ferramentas internas



Ferramentas externas



Unidades de fixação adaptadas para máquinas

Interface Coromant tipo disco (CDI)



- Interface flexível e simétrica, pode ser instalada em 180°.
- A mesma interface para porta-ferramentas estáticos e acionados. Porta-ferramentas estáticos e acionados podem ser usados em todas as posições.
- Melhor desempenho de corte.
- Vida mais longa da ferramenta de corte.
- Melhor acabamento superficial.
- Mais comprimento da ferramenta disponível para operações de furação radial.
- Aumento da produção.
- Ferramenta racionalizada.
- Custos de ferramental reduzidos.



Unidade de fixação estática, reta



Unidade de fresamento/furação acionada, reta



Unidade de fixação estática, ângulo reto



Unidade de fresamento/furação acionada, ângulo reto

Interface Coromant com parafuso (CBI)



- Interface flexível e simétrica, pode ser instalada em 180°.
- A mesma interface para porta-ferramentas estáticos e acionados.
- Porta-ferramentas estáticos e acionados podem ser usados em todas as posições.
- Melhor desempenho de corte.
- Vida mais longa da ferramenta de corte.
- Melhor acabamento superficial.
- Mais comprimento da ferramenta disponível para operações de furação radial.
- Aumento da produção.
- Ferramenta racionalizada.
- Custos de ferramental reduzidos.



Porta-ferramentas acionado



Unidade de fixação para torneamento externo



Unidade de fixação para torneamento interno



Unidade de fixação dupla para torneamento externo para troca de ferramenta com eixo Y

Um sistema de troca rápida

Troca de pastilha ao usar ferramentas gêmeas



- Menos tempo de máquina parada
- Pouca ou nenhuma necessidade de medição. Melhor lucratividade
- Sem risco de perder os parafuso da pastilha no transportador de cavacos

- Ergonômico
- Facilidade de limpar o alojamento (tip seat) fora da máquina.

0,5 min

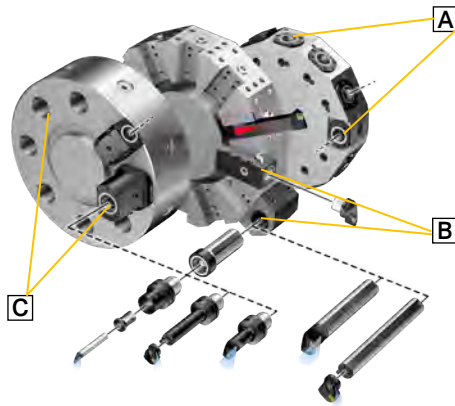
1,5 min



Trocar para uma ferramenta gêmea com sistema de troca rápida é mais rápido do que trocar a pastilha dentro da máquina.

Diferentes maneiras de instalar a troca rápida

Alternativas de ferramentas em torres convencionais



A Unidades de fixação operadas hidraulicamente

- Botão manual para troca de ferramenta
- Possibilidades de troca de ferramenta totalmente automáticas.

B Tipo de haste e unidades de fixação

- Ferramentas convencionais cilíndricas e quadradas, bem como unidades de corte para operações internas e externas.

C Unidades de fixação para torres VDI

- Unidades de fixação angulares e retas para operações externas e internas.



Exemplo de instalações.

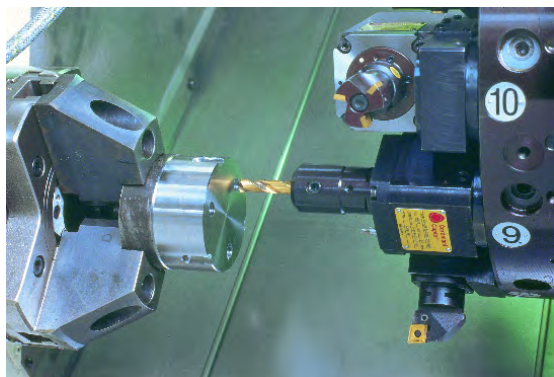


Porta-ferramentas acionados Coromant Capto®

Os porta-ferramentas acionados proporcionam melhorias significativas na economia da usinagem permitindo que operações de fresamento, torneamento e furação sejam feitas em um único ajuste (set-up).



- Porta-ferramentas acionados podem ser fornecidos para requisitos de máquina específicos.
- Dimensões do fuso
 - Tipo e modelo de máquina
 - Diâmetro máximo de oscilação da torre
 - Comprimento da ferramenta máximo.



Exemplo de instalações.

Ferramentas modulares para centros de usinagem



O que é um centro de usinagem?

- Um centro de usinagem é uma máquina multifuncional que geralmente combina tarefas de mandrilamento, furação e fresamento.
- Centros de usinagem de 5 eixos e mais dois eixos além dos três eixos normais (X/Y/Z).
- Centros de usinagem podem ter projeto horizontal e vertical.

A

Torneamento

B

Cortes e canais

C

Rosqueamento

D

Fresamento

E

Furação

F

Mandrilamento

G

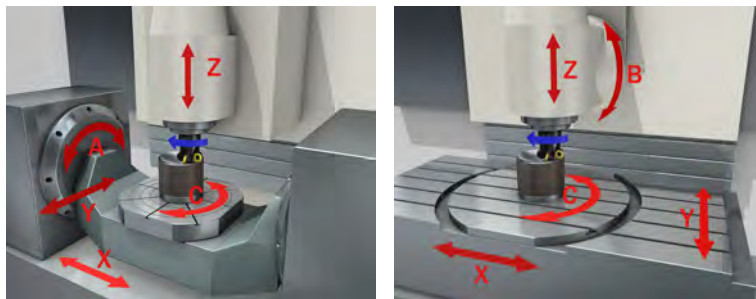
Sistemas de fixação

H

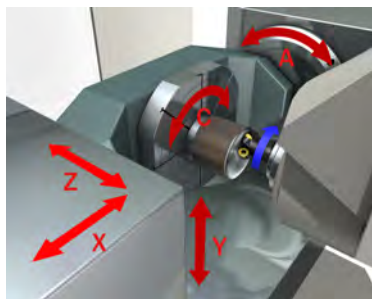
Usinabilidade
Outras informações

Rotação do fuso e definições de eixos

Configuração de um centro de usinagem vertical



Configuração de um centro de usinagem horizontal



Os centros de usinagem podem ter projeto horizontal e vertical

- O tipo básico tem 3 eixos. O fuso é instalado ao longo dos eixos Z.
- Os centros de usinagem de 4 e 5 eixos agregam mais eixos (A/B/C) além dos três eixos normais (X/Y/Z).
- Geralmente, o eixo B controla a inclinação da própria ferramenta de corte e os eixos A e C permitem que a peça gire.

Ferramentas modulares para centros de usinagem

Em um centro de usinagem, um sistema modular pode oferecer muitas vantagens como:

- Ferramenta flexível – as mesmas ferramentas podem ser usadas em várias máquinas e interfaces de máquina.
- Ferramenta flexível – crie seus próprios conjuntos e reduz significativamente a necessidade de itens especiais.
- Estoque reduzido.



Construa seus próprios conjuntos

Use os adaptadores Coromant Capto® para todas as interfaces de fuso



Reduza o estoque de porta-ferramentas nos centros de usinagem

As ferramentas modulares fornecem acesso a uma quantidade muito grande de soluções em ferramentas, com pouquíssimos itens!

Modular



Número de itens com ferramentas modulares:

$$4 + 2 + 30 + 10 = 46 \text{ itens.}$$

Inteiro



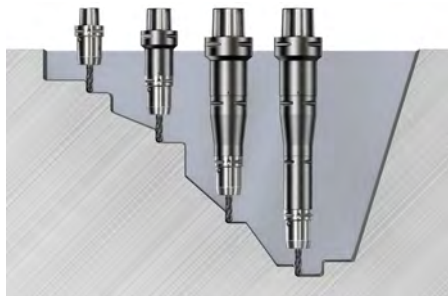
Número de ferramentas inteiras:
 $4 \times 3 \times (30 + 10) = 480 \text{ itens.}$

Combinação certa para melhor rigidez possível

Adaptadores de extensão e de redução

Comumente são necessárias ferramentas estendidas para centros de usinagem para poder atingir a superfície a ser usinada. Com o sistema modular Coromant

Capto® é possível construir um conjunto, para que se obtenha o comprimento correto.



- É importante que o comprimento mínimo seja usado, especialmente quando são necessários longos balanços.
- Com as ferramentas modulares é sempre possível usar dados de corte ideais para melhor produtividade!
- Ferramentas modulares são criadas em minutos!
- É possível obter tolerâncias mais estreitas.

Todas as principais interfaces de máquinas são abrangidas



CAT-V 40
CAT-V 50
CAT-V 60
ISO 40
ISO 50
ISO 60
MAS-BT 30
MAS-BT 40
MAS-BT 50
MAS-BT 60



CAT-V BIG PLUS® 40
CAT-V BIG PLUS® 50

ISO BIG PLUS® 40
ISO BIG PLUS® 50

MAS-BT BIG PLUS® 30
MAS-BT BIG PLUS® 40
MAS-BT BIG PLUS® 50

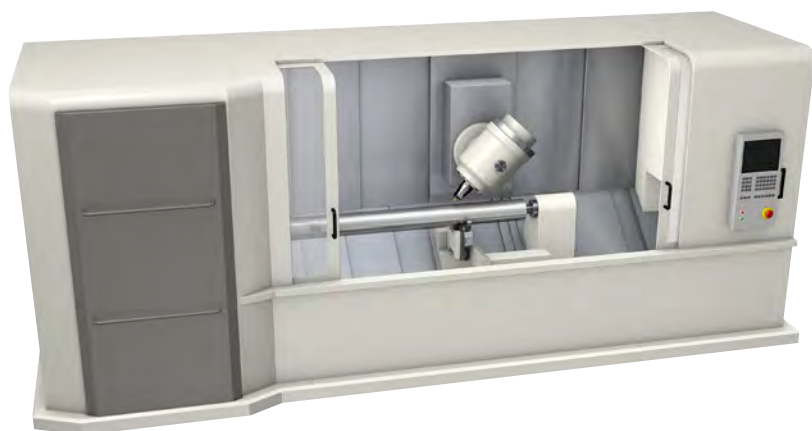


HSK A/C 40
HSK A/C 50
HSK A/C 63
HSK A/C 80
HSK A/C 100
HSK A/C 125
HSK A/C 160
HSK A/C/T 40
HSK A/C/T 63
HSK A/C/T 100
HSK F 80 (com pinos)



Coromant Capto® C3
Coromant Capto® C4
Coromant Capto® C5
Coromant Capto® C6
Coromant Capto® C8
Coromant Capto® C10

Ferramentas modulares para máquinas multitarefas

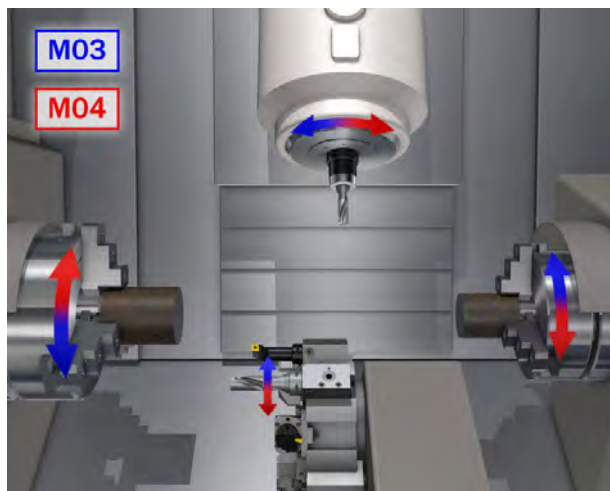


O que é uma máquina multitarefas?

- As máquinas multitarefas são fornecidas com diversas configurações:
 - projeto horizontal ou vertical.
 - dois fusos (principal e subspindle) e um fuso do eixo B permitem operações de fresamento e torneamento na face frontal e traseira da peça.
 - cada fuso atua como um suporte para a peça, permitindo a usinagem multieixos na face frontal ou traseira da peça.
- Em uma máquina multitarefa, a peça pode ser concluída em uma única preparação (set-up) da máquina, ex., torneamento, fresamento, perfilamento e fresamento de superfícies angulares e reafiação.
- As máquinas multitarefas são uma combinação de um centro de torneamento e um centro de usinagem.

Definições das direções do fuso

A linguagem do programa para definição da direção do fuso

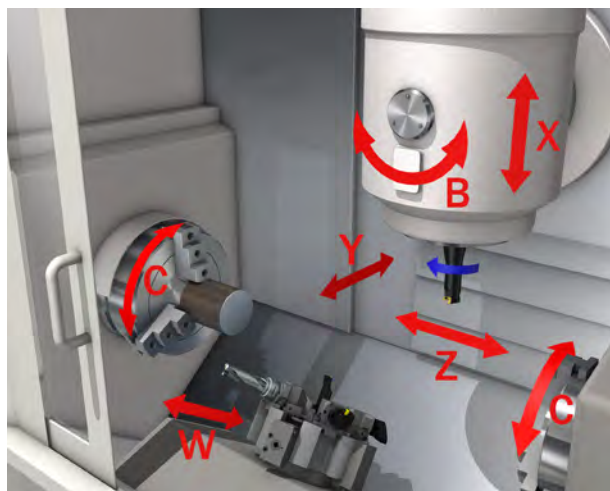


M03 = Fuso em sentido horário

M04 = Fuso em sentido anti-horário

Configuração de uma máquina multitarefas

Rotação do fuso e definições de eixos

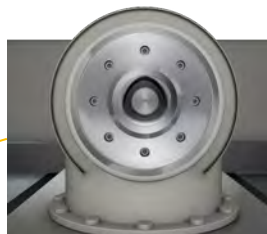
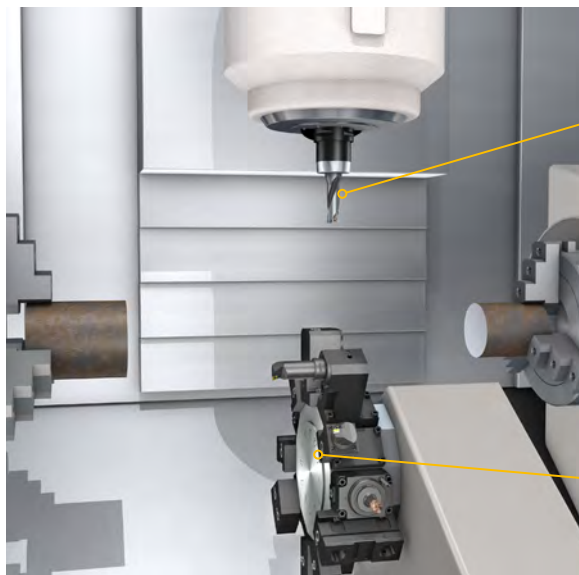


Como usar ferramenta modular em uma máquina multitarefa

O fuso com uma ferramenta de fresamento, em máquina multitarefa deve ser capaz de portar ferramentas rotativas e estacionárias. Coromant Capto® é o único sistema de ferramenta que pode atender esta exigência sem comprometimento do processo.

Ferramentas para máquina multitarefa costumam ser usadas em aplicações “concluído em uma vez” nas quais as operações vão do desbaste ao acabamento em um setup de máquina ferramenta.

Portanto, as ferramentas de máquina multitarefa necessárias para um sistema de ferramenta com rigidez incomparável e precisão de repetição tanto radial quanto axialmente, como o Coromant Capto®.



O sistema de ferramentas Coromant Capto® é diretamente integrado ao fuso.



Torre com sistema de ferramentas Coromant Capto®

A máquina-ferramenta multitarefas com fuso de ferramenta integrado Coromant Capto® e torre de torneamento inferior com unidades de fixação Coromant Capto®.

Novas ferramentas multifuncionais para máquinas multitarefas

Para aproveitar as versáteis ferramentas nas máquinas multitarefas e otimizar a eficiência das mesmas, por vezes é necessário utilizá-las com ferramentas específicas. Estas ferramentas somente estão disponíveis com o Coromant Capto® e foram desenvolvidas para ferramentas de máquina multitarefa, oferecendo:

- acessibilidade, estabilidade e alta produtividade
- tempo de troca de ferramenta reduzido
- economia no alojamento de ferramentas no magazine de ferramentas
- redução de custo - uma ferramenta substitui muitas ferramentas.



Ferramentas multifuncionais

– em uma mesma ferramenta, uma para fresamento e duas para torneamento



Ferramentas conjugadas

– duas ferramentas para torneamento em uma



Minitorres

– quatro ferramentas para torneamento em uma

Construa sua própria minitorre

Quatro cabeças de corte aplicadas a um porta-ferramenta



Radial

Escolha a partir de um grande número de cabeças de corte intercambiáveis para operações de torneamento, rosqueamento, cortes e canais para criar uma ferramenta otimizada para a peça.



Axial

- Tempo de troca de ferramenta reduzido
- Economiza espaço no alojamento de ferramentas do magazine
- Para uso interno e externo.

Uso de adaptadores em uma máquina multifunções

Adaptadores para ferramentas convencionais



Adaptadores para ferramentas de torneamento para

- hastes
- barras
- lâminas
- minitorres

...para possibilitar o uso de ferramentas convencionais, também em uma máquina multifunção, com um sistema de ferramenta modular integrado em um fuso.

Adaptador para ferramentas com lâmina para corte



Adaptador para barra de mandril



Mandris

Benefícios do uso de mandris hidráulicos

Desenho de mandril hidráulico para usinagem pesada

Desenho delgado para mandril hidráulico

Desenho tipo lápis para mandril hidráulico

Fixação por contração



Pinças abertas



Pinças com vedação, seladas

Fixação direta

Fixação direta

Porta-pinça ER





























Pinças abertas



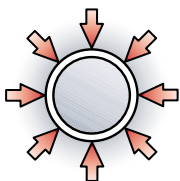
Pinças com vedação, seladas

Opções de mandris

	Mandril hidráulico	Mandril com fixação por contração	Mandril mecânico	Porta-pinça ER	Adaptadores de fixação lateral Weldon, ISO 9766
Segurança contra extração da ferramenta, transmissão de torque					
Fácil manuseio					
Alta precisão, batimento radial					
Flexibilidade					
Acessibilidade					

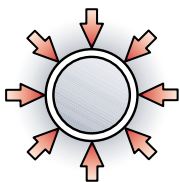
 Muito boa Boa Aceitável

Mandris hidráulicos



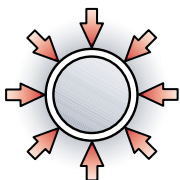
- O melhor do mercado na questão da segurança contra extração da ferramenta - a força de fixação se mantém continuamente.
- Batimento radial de precisão <math>< 4 \mu\text{m}</math> (0,00016 $\mu\text{pol.}</math>) em $2,5 \times \text{DC}</math> - alta precisão de repetição.$$
- Fácil manuseio com torquímetro, usado para fixação segura.

Mandril com fixação por contração



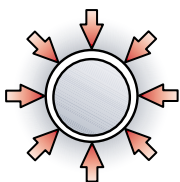
- Com alta segurança contra extração da ferramenta e precisão.
- O menor diâmetro de ponta possível – boa acessibilidade.
- Desenho simétrico.

Mandris mecânicos



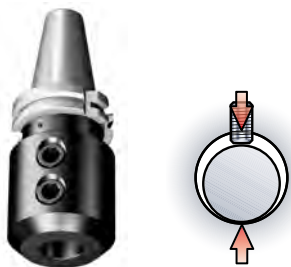
- Possibilidade de usar buchas cilíndricas – boa flexibilidade.
- A acessibilidade não é tão boa por conta do seu desenho (geralmente usinagem pesada).

Porta-pinça ER



- Muito flexível em diâmetros de fixação graças à pinças.
- Não depende da tolerância do eixo h6.
- Baixa transmissão de torque e batimento radial.

Adaptadores de fixação lateral Weldon, ISO 9766



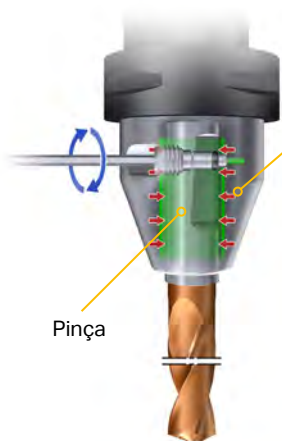
- Alta transmissão de torque.
- Baixa precisão – baixa vida útil da ferramenta e do acabamento superficial.

Mandris hidráulicos

O segredo por trás da alta precisão e da segurança contra extração da ferramenta

- Uma nova geração de mandris hidráulicos oferece a mais alta precisão e capacidade de transmissão de torque.

- O segredo por trás da alta precisão e da segurança contra extração do CoroChuck 930 é o desenho otimizado da membrana. Ela permite a fixação segura com dois suportes de cada lado (fulcrums).



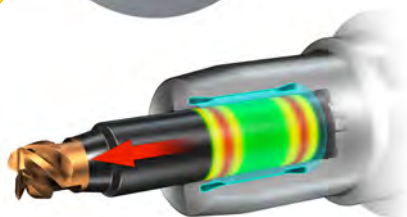
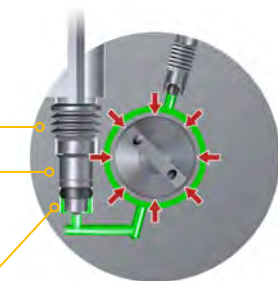
Membrana

Pinça

Parafuso de pressão

Pistão

Fixação média (óleo)



Tente minimizar o comprimento de calibração



- É importante manter o menor comprimento de calibração possível para aumentar a estabilidade e reduzir a deflexão.
- Uma redução do comprimento muito baixa como 20% pode ter uma redução significativa na deflexão (-50%).

Influência do batimento radial na vida útil da ferramenta



- O batimento radial deve ser $< 0,006$ mm ($< 0,001$ pol.).
- Para cada batimento radial de 0,01 mm (0,0004 pol.) - até 50% de diminuição na vida útil da ferramenta.
- Se torna mais crítico à medida que o diâmetro da ferramenta fica menor.

Especificações de fixação da ferramenta

Aplicação - Desbaste e semidesbaste



- Principal critério = força de fixação
- Capacidade de alto torque
- Para melhor desempenho use hastes cilíndricas
- Versatilidade das pinças.

Aplicação - Acabamento



- Principal critério = batimento radial
- Influência na vida útil da ferramenta e na peça
 - acabamento e precisão.

Desbalanceamento no porta-ferramentas



Causas de desbalanceamento no porta-ferramentas:



- acabamento superficial insatisfatório
- tolerância de peça insatisfatória
- redução na vida útil da ferramenta
- desgaste prematuro do fuso da máquina.



A

Torneamento

B

Cortes e canais

C

Rosqueamento

D

Fresamento

E

Furação

F

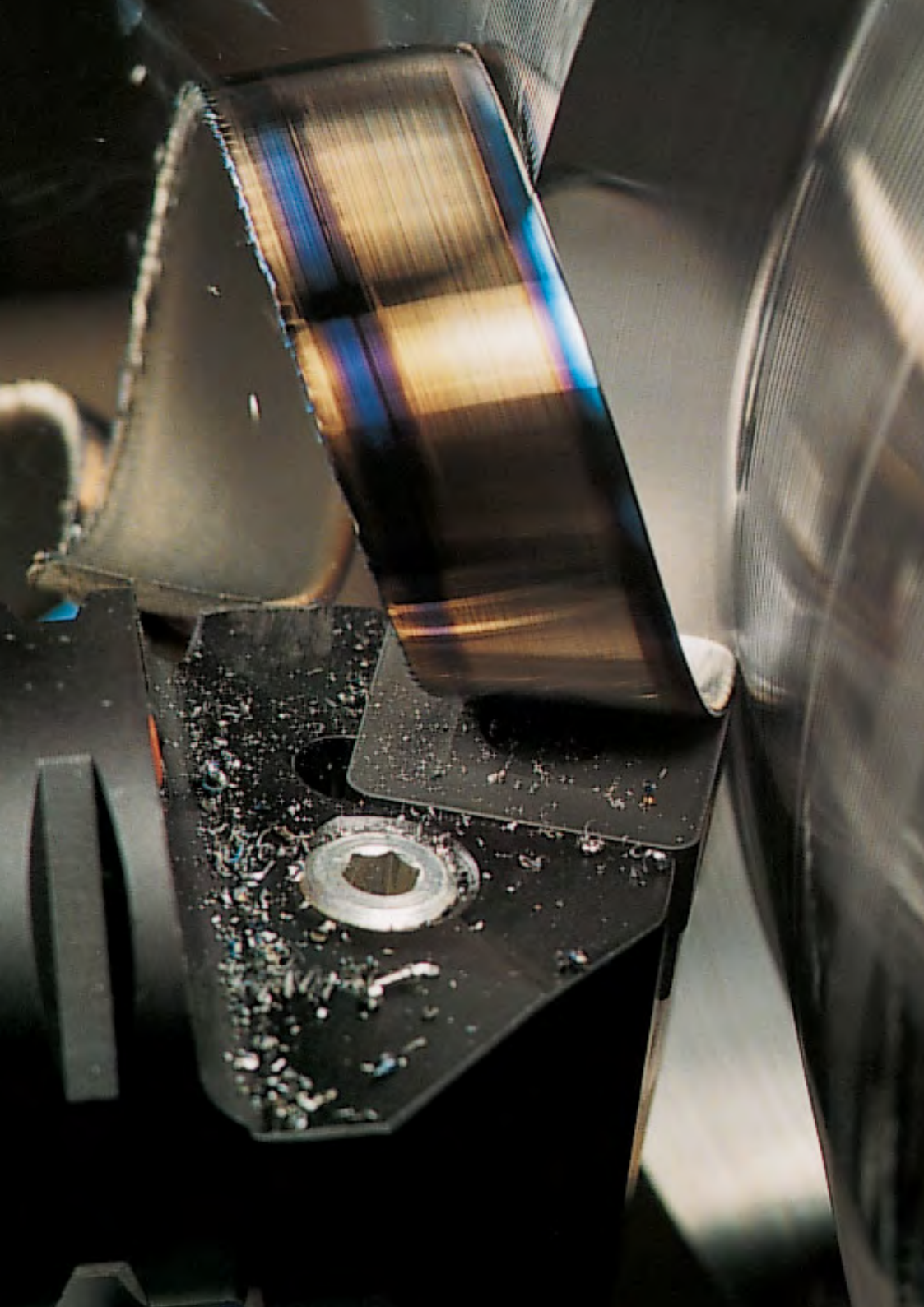
Mandrilamento

G

Sistemas de fixação

H

Usinabilidade
Outras informações



Usinabilidade

A compatibilidade do material da ferramenta de corte mais adequada (classe) e da geometria da pastilha com o material da peça a ser usinada é importante para um processo de usinagem produtivo e livre de problemas.

- Materiais das peças H 4
- Produção de metal duro H 18
- A aresta de corte H 29
- Materiais das ferramentas de corte H 40
- Desgaste da ferramenta e manutenção H 52

Outras informações

- Economia da usinagem H 63
- ISO 13399 - O padrão na indústria H 78
- Fórmulas e definições H 81
- Aprendizado "online" H 92

Materiais das peças

Seis principais grupos

Os grupos de materiais ISO são divididos em 6 tipos diferentes. Cada tipo tem propriedades exclusivas relacionadas à usinabilidade e configurações que exigem características diferentes da ferramenta.

ISO P	Aço	ISO M	Aço inoxidável	ISO K	Ferros fundidos
					
ISO N	Materiais não ferrosos	ISO S	Superligas resistentes ao calor	ISO H	Aços endurecidos
					

P A maior variedade de tipos diferentes de peças está, provavelmente, na área P, pois ela abrange vários setores diferentes na indústria.

N A indústria aeroespacial e os fabricantes de rodas automotivas de alumínio dominam a área N.

M Na área M, uma grande parte da aplicação está em petróleo e gás, tubos, flanges, indústria de processamento e aplicações médicas.

S Os materiais difíceis de usar da área S, são encontrados nos setores aeroespacial, turbinas a gás e geração de energia.

K A área K é dominada por peças automotivas, pelos fabricantes de máquinas e por fundições.

H Aço endurecido na área H é encontrado em uma variedade de indústrias como a automotiva e seus fornecedores, bem como nos setores de fabricantes de máquinas e moldes e matrizes.

Características para a remoção e formação de cavacos

Fatores que devem ser identificados a fim de determinar a usinabilidade do material:

- Classificação, metalúrgica/mecânica, do material da peça.
- A micro e macrogeometria da aresta de corte a ser usada.

- O material da ferramenta de corte (classe), ex. metal duro com cobertura, cerâmica, CBN, PCD etc.

Estas seleções terão grande influência na usinabilidade do material em questão.

ISO P	Aço	ISO M	Aço inoxidável	ISO K	Ferros fundidos
ISO N	Materiais não ferrosos (Alumínio)	ISO S	Superligas resistentes ao calor	ISO H	Aços endurecidos

P Materiais ISO-P costumam gerar cavacos longos e com fluxo contínuo, e relativamente uniforme na formação de cavacos. As variações costumam depender do teor de carbono.

- Baixo teor de carbono = material tenaz e pastoso.
 - Alto teor de carbono = material quebradiço.
- A força de corte e a potência necessária variam muito pouco.

M ISO-M resulta em uma formação de cavacos irregular, lamelar, onde as forças de corte são mais altas comparadas ao aço normal. Há muitos tipos diferentes de aços inoxidáveis.

A quebra de cavacos varia dependo das propriedades da liga e do tratamento térmico, de fácil até cavacos quase impossíveis de se quebrarem.

K A formação de cavacos para os materiais ISO-K varia de cavacos semelhantes a pó e cavacos longos. A potência necessária para usinar este grupo de material costuma ser baixa.

Observe que há uma grande diferença entre ferros fundidos cinzentos (geralmente quase pó) e ferros dúcteis, que costumam ter uma quebra de cavacos mais semelhante à do aço.

N Potência baixa necessária por mm^3 (pol^3), mas devido à alta taxa de remoção de metal, é ainda uma boa ideia calcular qual é a potência máx. necessária.

S A gama é ampla, mas em geral, as forças de corte altas estão presentes.

H Geralmente um cavaco contínuo, vermelho incandescente. Esta alta temperatura ajuda a reduzir o valor k_{c1} e é importante para ajudar na operação.

O complexo mundo da usinagem

Muitos parâmetros influenciam o processo de corte



Material da peça

P

Aço

M

Aço inoxidável

K

Ferros fundidos

N

Materiais não ferrosos

S

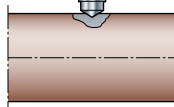
Ligas resistentes ao calor

H

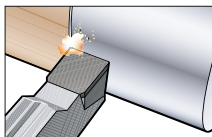
Aços endurecidos

Os grupos de materiais ISO são divididos em 6 tipos diferentes, onde cada tipo tem propriedades exclusivas relacionadas à usinabilidade.

Dureza

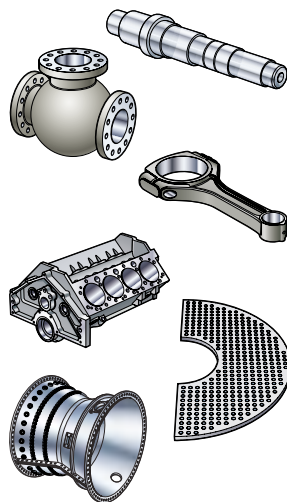


Dureza Brinell



Geralmente há uma relação entre a dureza do material e a vida útil da ferramenta, bem como entre os dados da usinagem e o tipo de geometria da classe. Quanto maior a dureza, menor a vida útil da ferramenta, com desgaste mais rápido na aresta de corte.

Peça



Dependendo do tamanho, tipo de material, set-up e maneira de usinagem, são necessárias escolhas diferentes de ferramentas para realizar aplicações diferentes como torneamento, fresamento, furação etc. .



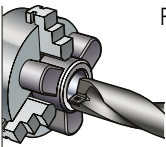
Aplicação



Torneamento



Fresamento



Furação

R^H Desbaste/
Pesado

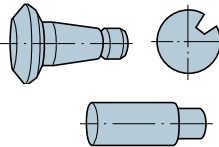
M Médio

F^L Acabamento/
Leve

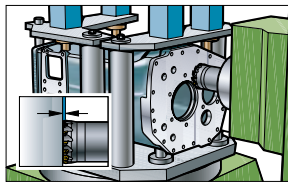
Há três tipos principais de aplicação, todas necessitam de ferramentas, pastilhas e classes diferentes. Também dependem da carga gerada na aresta de corte, do acabamento ao desbaste.

Condição

Condições de corte



Condições de fixação

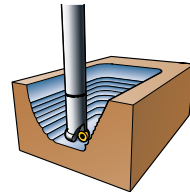


Todas as peças têm aspecto, formato e tamanho diferentes. Algumas precisarão de vários ajustes (set-ups) e exigem atenção especial às condições de fixação da peça e da ferramenta de corte.

Ambiente de corte



Refrigeração

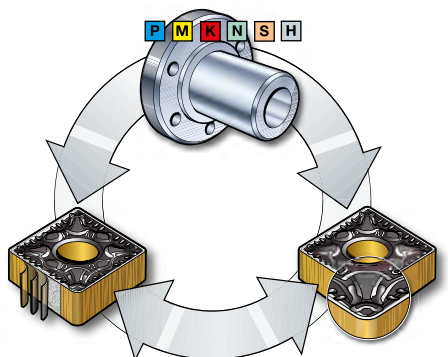


Usinagem sem refrigeração

O metal duro tem melhor desempenho na usinagem em temperaturas elevadas, porém, precisa ser constante. Sendo assim, é necessário considerar condições sem refrigeração como primeira escolha, dependendo dos requisitos da peça e as condições de usinagem. Entretanto, algumas classes são desenvolvidas para condições com refrigeração e sem refrigeração e usadas dependendo dos requisitos de material e qualidade da peça.

A interação entre o material da peça, geometria e classe

Material da peça



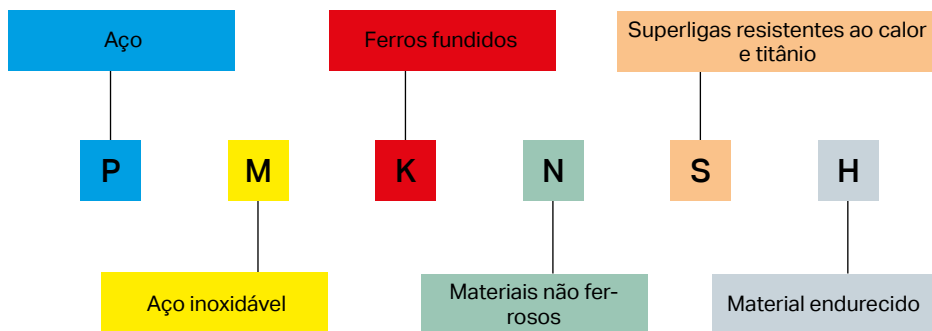
Classe da pastilha

Geometria da pastilha

- A interação entre geometria otimizada e a classe para um material determinado é a chave para um processo de usinagem bem-sucedido.
- Esses três fatores básicos devem ser cuidadosamente considerados e adaptados para cada operação de usinagem.
- O conhecimento e a compreensão de como trabalhar e ajustar esses fatores são de vital importância.

Materiais da peça, grupos principais

Os materiais são classificados usando códigos MC



Dentro de cada grupo de materiais, há subgrupos dependendo da dureza do material, do valor k_{c1} e propriedades metalúrgicas e mecânicas.

* MC = Uma nova classificação de material que substitui os códigos CMC (Classificação de Material Coromant).

Estrutura de código MC

A estrutura é configurada de forma que o código MC possa representar uma variedade de propriedades e características de material da peça usando uma combinação de letras e números.

Exemplo 1:

O código **P1.2.Z.AN** é interpretado desta forma:

P = código ISO para aço

1 = Grupo de material: Aços sem liga

2 = subgrupo de material: teor de carbono? $0,25\% \leq 0,55\%$ C

Z = processo de fabricação: forjado/laminado/trefilado a frio

AN = tratamento térmico: recozido, fornecido com os valores de dureza

Exemplo 2:

O código **N1.3.C.UT** é interpretado desta forma:

N = código ISO para metais não ferrosos

1 = Grupo de material: Ligas de alumínio

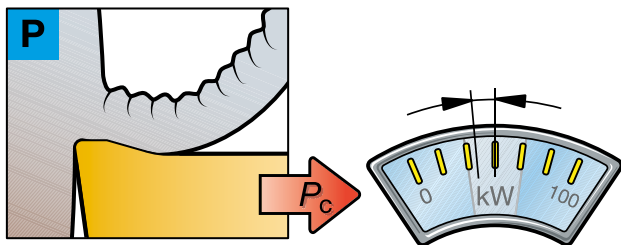
3 = subgrupo de material: Alumínio com teor de Si de 1-13%

C = processo de produção: fundição

UT = sem tratamento

Ao descrever não apenas a composição do material, mas também o processo de fabricação e o tratamento térmico que influencia nas propriedades mecânicas, a disponibilidade dessa descrição mais exata, pode ser usada para gerar recomendações aprimoradas dos dados de corte.

Aços ISO P – características principais



Característica da usinagem:

- Material com cavacos longos.
- Controle de cavacos relativamente fácil.
- O aço com baixo teor de carbono é mais "pastoso" e requer arestas de corte vivas.
- Força de corte específica k_C :
1500–3100 N/mm²
(217,500–449,500 lbs/pol²).
- Força de corte e a potência necessária para usinar materiais ISO P, ficam dentro da faixa limitada.

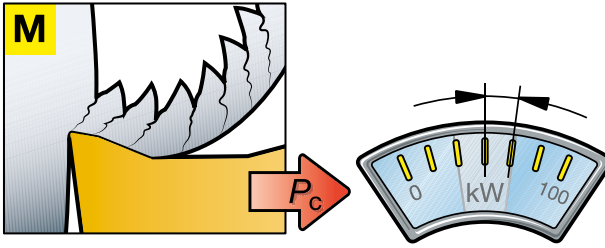
Consulte os catálogos de produtos para detalhes sobre os códigos MC.

O que é aço?

- Aço é o maior grupo na área de usinagem.
- Os aços podem ser não endurecidos ou endurecidos e temperados com dureza de até 400 HB.
- Aço não é uma liga com o elemento ferro (Fe) como componente principal. Ele é produzido por meio de um processo de fusão.
- Aços sem liga têm um teor de carbono inferior a 0,8 % e somente Fe, sem outros elementos da liga.
- Os aços com liga têm um teor de carbono inferior a 1,7 % e elementos da liga como Ni, Cr, Mo, V, W.

ISO	MC	Material
P	P1	Aços sem liga
	P2	Aço baixa-liga (≤5% elementos da liga)
	P3	Aço alta-liga (>5% elementos da liga)
	P4	Aços sinterizados

Aços inoxidáveis ISO M – características principais



Característica da usinagem:

- Material com cavacos longos.
- O controle de cavacos é razoável em ferríticos e difícil em austenístico e duplex.
- Força de corte específica:
1800–2850 N/mm²
(261,000–413,250 lbs/pol²).
- A usinagem cria altas forças de corte, arestas postiças, calor e endurecimento da superfície.

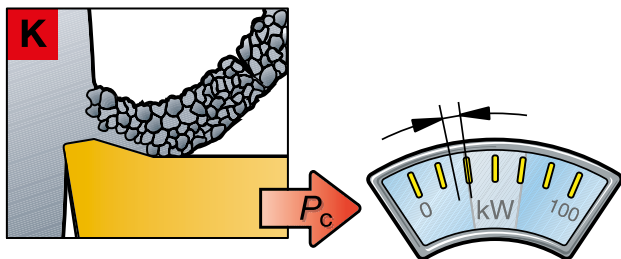
O que é aço inoxidável?

- Aços inoxidáveis são materiais com elemento de liga com teor mínimo de cromo de 11 à 12%.
- O teor de carbono é geralmente baixo (baixo até 0,01%).
- As ligas costumam ser de Ni (níquel), Mo (molibdênio) e Ti (titânio).
- A camada formada Cr₂O₃ formada na superfície do aço, o torna não corrosivo.

Consulte os catálogos de produtos para detalhes sobre os códigos MC.

ISO	MC	Material
M	P5	Aços inoxidáveis ferríticos/martensíticos
	M1	Aços inoxidáveis austenísticos
	M2	Super austenísticos, Ni≥20%
	M3	Duplex (austenísticos/ferríticos)

Ferros fundidos ISO K – principais características



Característica da usinagem:

- Materiais de cavacos curtos.
- Bom controle de cavacos em todas as condições.
- Força de corte específica: 790–1350 N/mm² (114,550–195,750 lbs/pol²).
- Usinagem em velocidades mais altas cria desgaste por abrasão.
- Forças de corte moderadas.

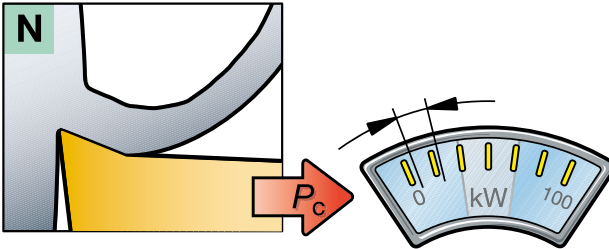
Consulte os catálogos de produtos para detalhes sobre os códigos MC.

O que é ferro fundido?

- Há 3 tipos principais de ferros fundidos: cinza (GCI), nodular (NCI) e vermiculares(-CGI).
- Ferro fundido é uma composição de Fe-C, com teor relativamente alto de Si (1–3%).
- O teor de carbono é acima de 2% a qual é a solubilidade máxima de C na fase austenítica.
- Cr (cromo), Mo (molibdênio) e V (vanádio) formam carbetos que aumentam a resistência e a dureza, porém, reduzem a usinabilidade.

ISO	MC	Material
K	K1	Ferros fundidos maleáveis
	K2	Ferros fundidos cinzentos
	K3	Ferros nodulares SG
	K4	Ferros fundidos vermiculares
	K5	Ferros dúcteis austemperados

Materiais não ferrosos ISO N – principais características



Característica da usinagem:

- Material com cavacos longos.
- Controle de cavacos relativamente fácil, se possuir elementos de liga.
- Não ferroso (Al) é pastoso e precisa de arestas de corte vivas.
- Força de corte específica:
350–700 N/mm²
(50,750–101,500 lbs/pol²).
- Força de corte e a potência necessária para usinar materiais ISO N, ficam dentro de uma faixa limitada.

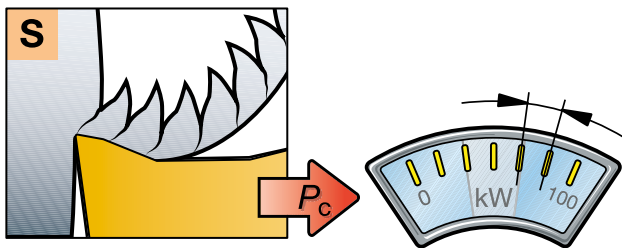
O que é material não ferroso?

- Este grupo contém metais não ferrosos, macios com dureza abaixo de 130 HB.
- Ligas de alumínio (Al) com até 22% de silício (Si) compõem a principal parte.
- Cobre, bronze, latão.
- Plásticos.
- Compósitos (Kevlar).

ISO	MC	Material
N	N1	Ligas de base não ferrosas
	N2	Ligas à base de magnésio
	N3	Ligas à base de cobre
	N4	Ligas à base de zinco

Consulte os catálogos de produtos para detalhes sobre os códigos MC.

Superligas resistentes ao calor e titânio ISO S – principais características



Característica da usinagem:

- Material com cavacos longos.
- Controle de cavacos difícil (cavacos segmentados).
- É necessário um ângulo de saída negativo para a cerâmica e um ângulo de saída positivo para o metal duro.
- Força de corte específica:
Para HRSA:
2400–3100 N/mm²
(348,000–449,500 lbs/pol²).

Para titânio:
1300–1400 N/mm²
(188,500–203,000 lbs/pol²).

- As forças de corte e potência necessária, serão muito altas.

Consulte os catálogos de produtos para detalhes sobre os códigos MC.

O que são superligas resistentes ao calor?

- As superligas resistentes ao calor (HRSA) incluem um variedade de materiais à base de ferro alta-liga, níquel, cobalto ou materiais à base de titânio.

Grupos: À base de ferro, níquel e cobre

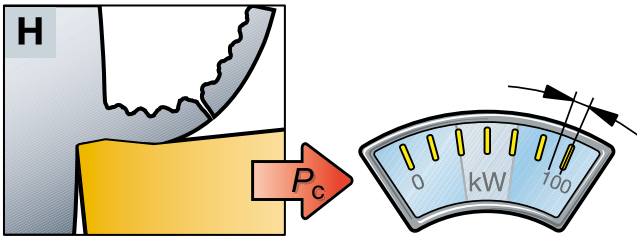
Condição: Recozidos, tratados termicamente por solução, envelhecidos, laminados, forjados, fundidos.

Propriedades:

- O aumento do teor da liga (Mais Co do que Ni), resulta em menor resistência térmica, aumento da resistência à tensão e maior resistência corrosiva.

ISO	MC	Material
S	S1	Ligas à base de ferro
	S2	Ligas à base de níquel
	S3	Ligas à base de cobalto
	S4	Ligas à base de titânio
	S5	Ligas à base de tungstênio
	S6	Ligas à base de molibdênio

Aços endurecidos ISO H – características principais



Característica da usinagem:

- Material com cavacos longos.
- Controle de cavacos razoável.
- É necessário um ângulo de saída negativo.
- Força de corte específica: 2550–4870 N/mm² (369,750–706,150 lbs/pol²).
- As forças de corte e potência necessária, são muito altas.

O que é aço endurecido?

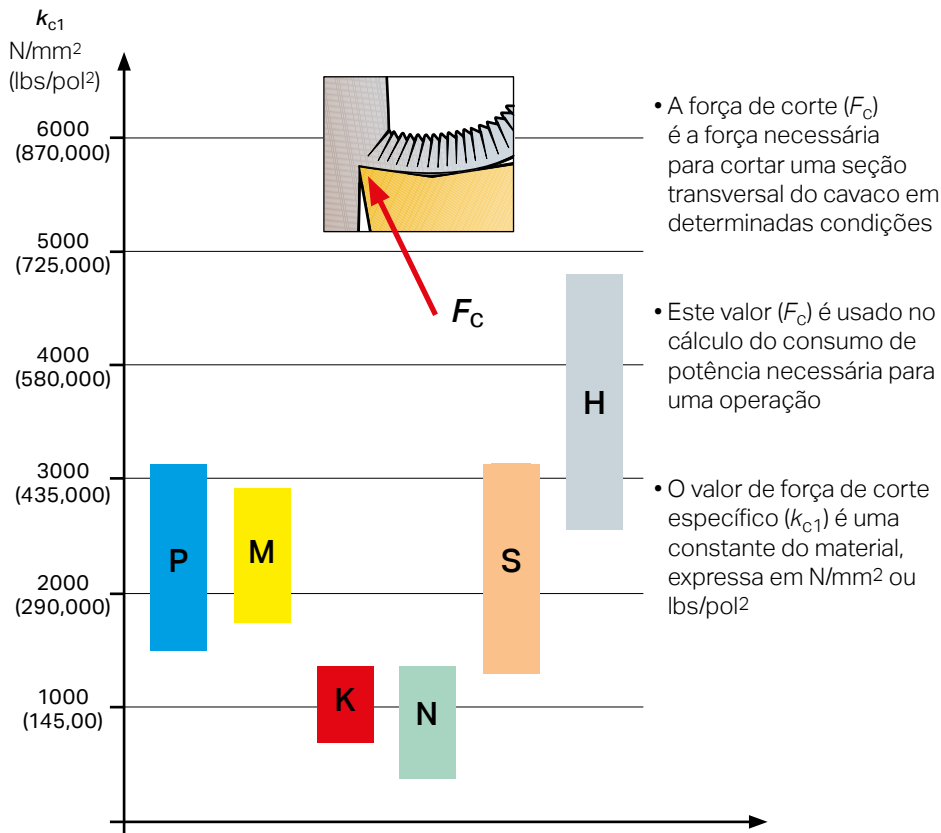
- Aço endurecido está em um grupo menor do ponto de vista da usinagem.
- Este grupo contém aços endurecidos e temperados com dureza >45–65 HRC.
- Entretanto, a usinagem de peças duras, geralmente podem ser encontradas dentro da faixa de 55–68 HRC.

Consulte os catálogos de produtos para detalhes sobre os códigos MC.

ISO	MC	Material
H	H1	Aços (45-65 HRC)
	H2	Ferro fundido coquilhado
	H3	Estelites (Stellite)
	H4	Ferro-TiC

A força de corte específica k_{c1}

k_{c1} – o valor calculado de k_c para espessura de cavaco de 1 mm (0,0394")



Consulte os cálculos específicos na seção de fórmulas.

valores k_{c1} em N/mm² (lbs/pol²)

P 1500 – 3100
(217,500 – 449,500)

N 350 – 1350
(50,750 – 195,750)

M 1800 – 2850
(261,000 – 413,250)

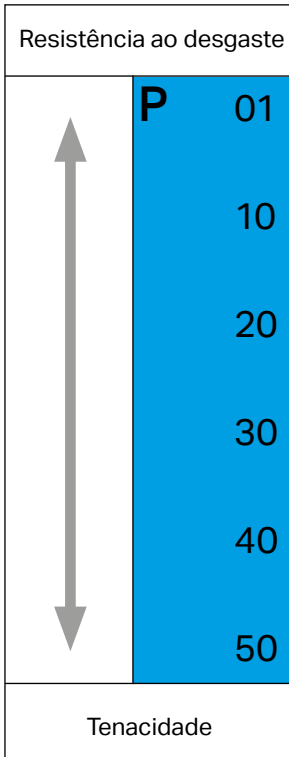
S 1300 – 3100
(188,500 – 449,500)

K 790 – 1350
(114,550 – 195,750)

H 2550 – 4870
(369,750 – 706,150)

A nomenclatura ISO na área ISO-P

Condições de trabalho e operações



P01: Torneamento de acabamento interno e externo ; alta velocidade de corte; pequena área de escoamento de cavacos; bom acabamento superficial;tolerâncias estreitas; sem vibrações.

P10: Torneamento; cópia, rosqueamento, fresamento; alta velocidade de corte; área de escoamento de cavacos de pequena à média.

P20: Torneamento; cópia, velocidade de corte média; Faceamento com pequena área de escoamento de cavacos; condições médias à difíceis.

P30: Torneamento; fresamento, faceamento; velocidade de corte baixa à média; área de escoamento de cavacos de média à grande; inclui operações com condições difíceis.

P40: Torneamento; faceamento; fresamento; corte; canais; velocidade de corte baixa; área de escoamento de cavacos grande; condições muito difíceis.

P50: Quando é necessário maior tenacidade da ferramenta em torneamento, faceamento, canais, corte, velocidade de corte baixa, área de escoamento de cavacos grande, condições extremamente difíceis.

O diagrama acima está relacionado à área ISO P. Estas demandas aplicam-se também a todos os outros tipos de material ISO, ex. M, K, N, S, H.

A

Produção de metal duro

Torneamento

B

Cortes e canais

C

Rosqueamento

D

Fresamento

E

Furação

F

Mandrilamento

G

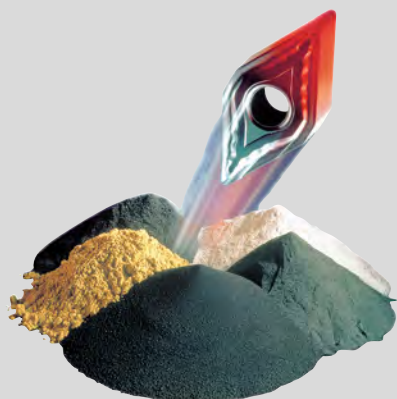
Sistemas de
fixação

H

Usinabilidade
Outras informações

Produção de metal duro

A produção de pastilhas de metal duro é um processo cuidadosamente elaborado, em que a geometria e a classe são balanceadas para proporcionar um produto perfeitamente adequado á aplicação.



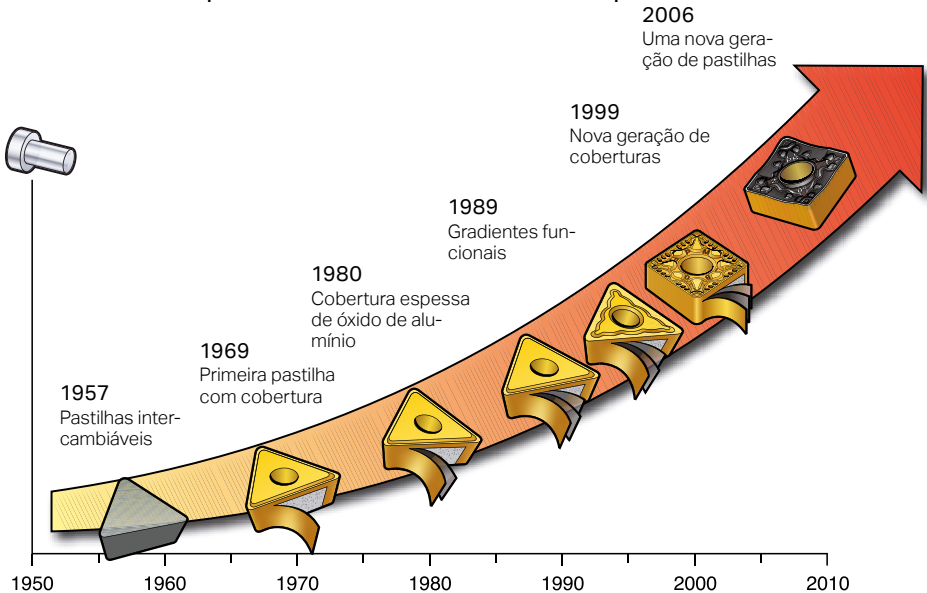
O desenvolvimento de material da ferramenta de corte

Com o desenvolvimento de substratos de metal duro, coberturas e geometrias aprimoradas, a produtividade e a economia de custo para o usuário final, melhoram.

Grandes melhorias na produtividade tornaram-se possíveis nos anos 60 e 70 quando foram desenvolvidas as primeiras coberturas.

Depois disso, estes desenvolvimentos continuaram - com o desenvolvimento de substratos avançados, novas geometrias, desenhos de aresta, novas técnicas avançadas de cobertura e pós-tratamento das arestas com cobertura.

O efeito sobre a produtividade do usuário final, foi positivo



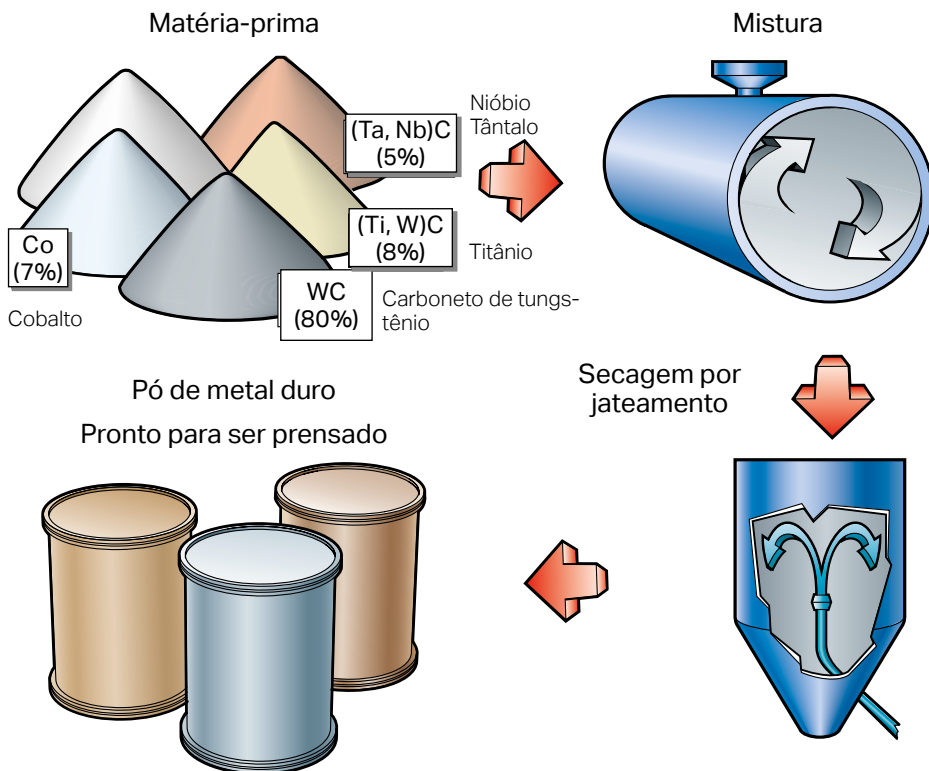
Produção de pó

Há dois elementos principais de uma pastilha de metal duro:

- Carboneto de tungstênio (WC)
- Cobalto (Co)

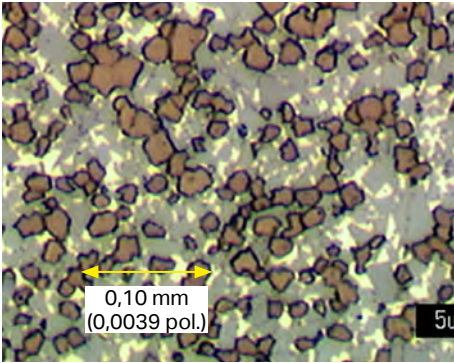
Outros elementos normalmente usados são carbonetos de titânio, tântalo e nióbio. Os diferentes tipos de pós e variações dos percentuais de elementos são fatores que diferenciam as classes.

O pó é triturado, secado por jateamento, peneirado e armazenado em recipientes.



Pós de tungstênio

O tamanho dos grãos do carboneto de tungstênio

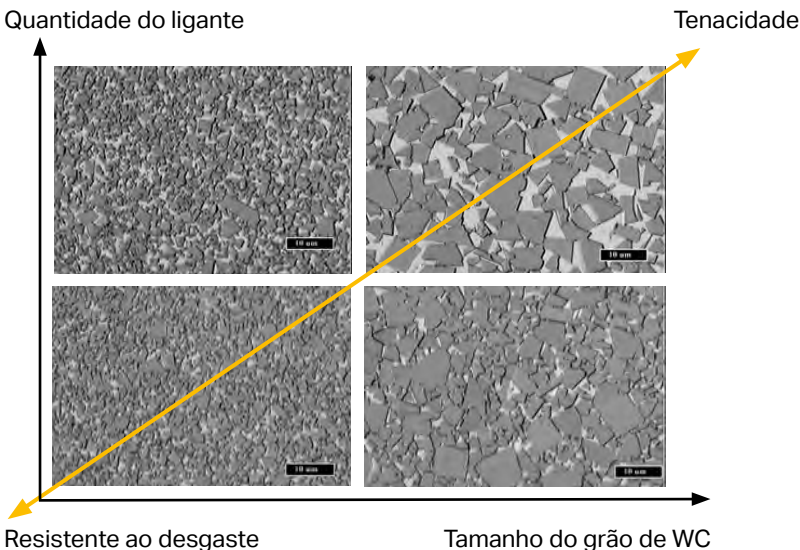


A principal matéria prima para a produção de metal duro está concentrada no minério de tungstênio. O pó de tungstênio é produzido a partir de óxido de tungstênio derivado quimicamente da matéria prima. Ao variar as condições de redução, é possível produzir pó de tungstênio de vários tamanhos de grãos. Os grãos de metal duro após secagem, são muito pequenos e variam de tamanho de acordo com a classe.

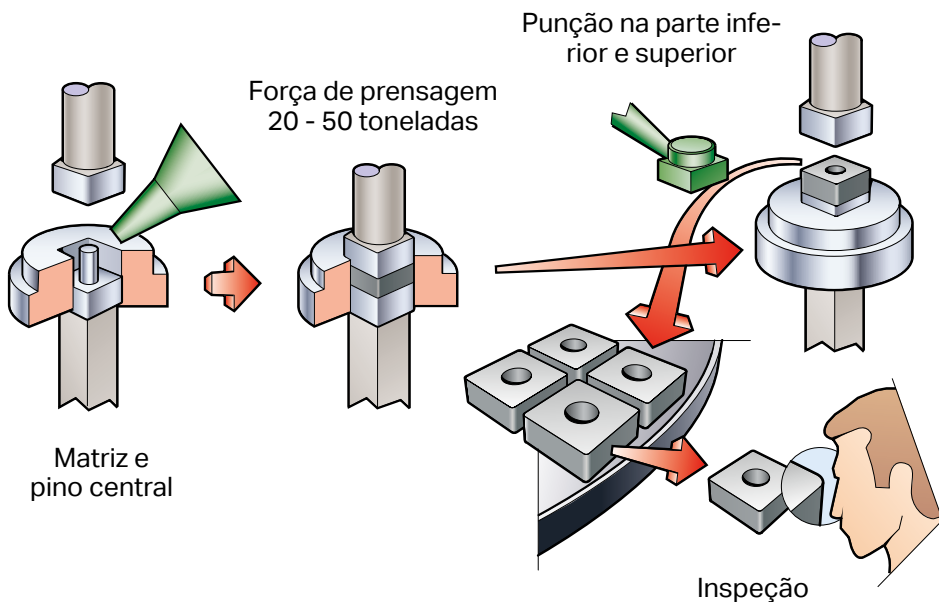
Propriedades básicas de metal duro

Além do tamanho do grão para carboneto de tungstênio (WC), a quantidade da fase ligante é um fator importante que determina as características do metal duro. O aumento do teor de cobalto, juntamente com o aumento do tamanho do grão WC,

contribui com o aumento da tenacidade mas também reduz a dureza que, por sua vez, reduz a resistência ao desgaste do substrato.



Prensagem do pó



A operação de prensagem é formada por várias peças da ferramenta:

- Punções na parte inferior e superior
- Pino central
- Cavidade na matriz.

O procedimento de prensagem:

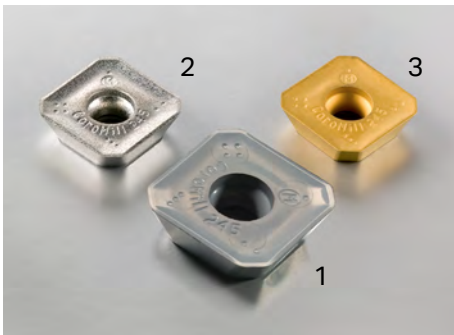
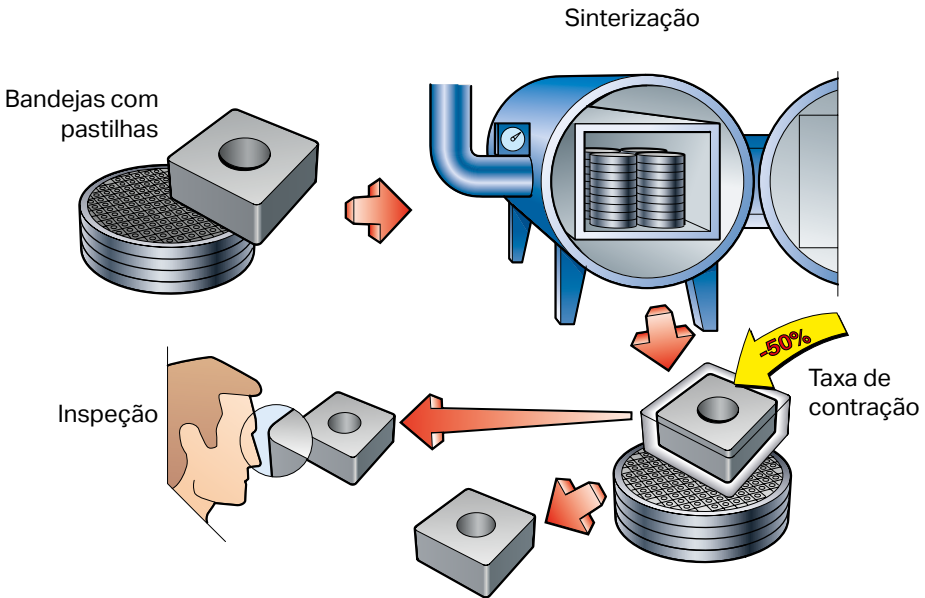
- O pó é colocado na cavidade da matriz
- Os punções na parte inferior e superior, compactam o pó simultaneamente (20-50 t)
- Um robô retira a pastilha e a coloca na bandeja de grafite
- É realizado o controle estatístico do processo (CEP), para verificar o peso.

A pastilha está com 50% de porosidade neste estágio.

Sinterização das pastilhas após a prensagem

A fase de sinterização consiste em:

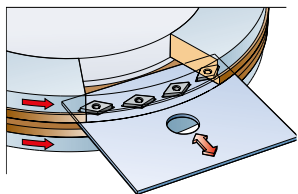
- Carregar as bandejas de pastilhas em um forno de sinterização.
- A temperatura é elevada para $\sim 1400^{\circ}\text{C}$ ($\sim 2550^{\circ}\text{F}$).
- Este processo funde o cobalto e este atua como elemento de liga.
- A pastilha terá uma contração de 18% em todas as direções durante a sinterização e uma perda por volta de 50% do seu volume.



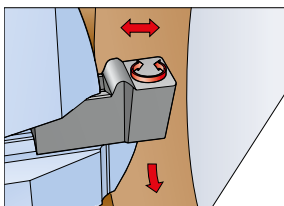
1. Pastilha não sinterizada
2. Pastilha sinterizada
3. Pastilha coberta

Tipos diferentes de operações de retífica

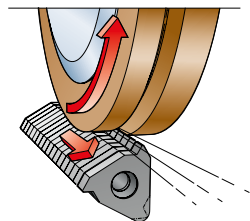
Parte inferior e superior



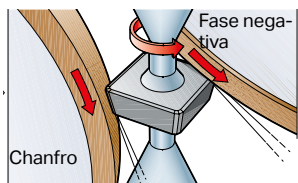
Perfilamento variável



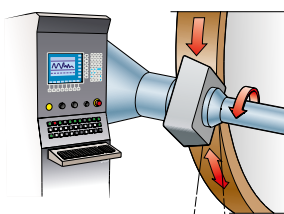
Perfilamento definido



Chanfro - fase negativa

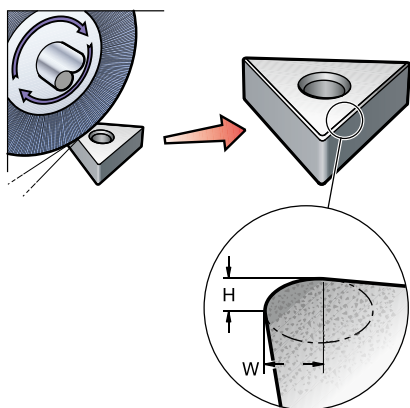


Periferia



O reforço da aresta de corte

O tratamento ER propicia à aresta de corte uma microgeometria final.

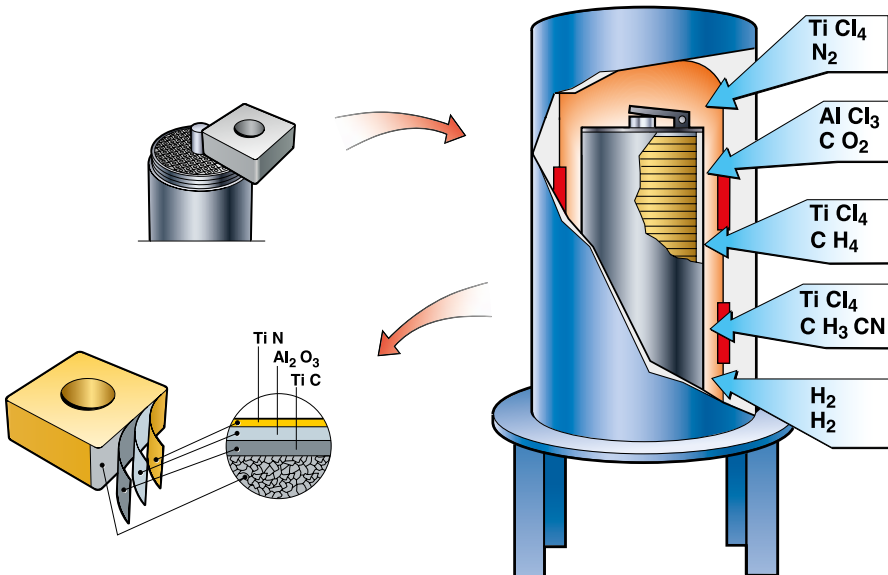


- Tratamento ER (Edge Roundness - arredondamento da aresta) é feito antes da cobertura.
- A relação entre W/H depende da aplicação.

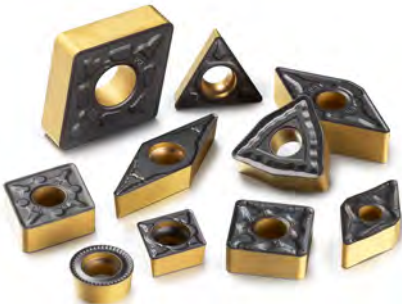
Geralmente, ER corresponde à espessura de fio de cabelo, diâmetro: $\sim 80 \mu\text{m}$ ($\sim 0,0031 \text{ pol.}$).

CVD – Deposição química de vapor

As pastilhas são colocadas em telas, que são empilhadas numa câmara dentro do forno; uma série de gases são introduzidos para formar a camada, após essa primeira etapa, as linhas são esvaziadas por vácuo, e outros gases são introduzidos. Isto se repete até que as camadas de cobertura estejam concluídas. O processo é realizado a aproximadamente 900° C (1650° F) por 30 horas. A espessura da camada varia entre 2-20 microns (0,00008-0,0008 pol.).



Vantagens das coberturas CVD

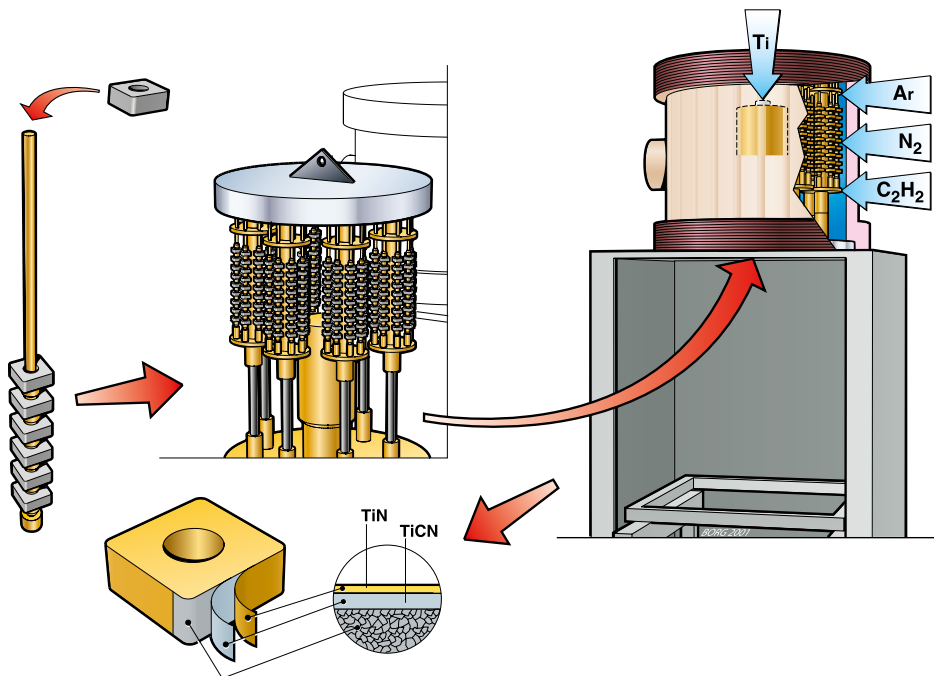


- A capacidade de produzir coberturas espessas.
- A capacidade de produzir uma cobertura uniforme.
- Muito boa aderência ao substrato de metal duro.
- Muito boa resistência ao desgaste.
- Possibilidade de produzir coberturas de óxido.

PVD – Deposição física de vapor

As pastilhas são alojadas em um dispositivo, na câmara de cobertura do forno. Placas do elemento que será depositado, são colocados nas paredes da câmara do reator. O elemento mais comum dessas placas é o titânio (Ti). O aquecimento das placas a uma certa temperatura, faz com que o metal sólido seja ionizado.

A saturação do ambiente com gás possibilita o transporte das partículas do componente das placas, até às pastilhas. À medida que as pastilhas resfriam, os íons são condensados na superfície da pastilha para formar uma cobertura.



A espessura da cobertura está na faixa de 2-6 microns (0,00008-0,0002 pol.) dependendo da área de aplicação para a pastilha.

As camadas de PVD mais comuns atualmente são TiN, Ti(C,N), (Ti,Al)N, (Ti,Al,Cr)N e agora também óxidos de alumínio.

As vantagens das coberturas PVD

- PVD oferece boa tenacidade na aresta viva.
- As coberturas de PVD conseguem manter a aresta de corte "viva".
- PVD pode ser usado em ferramentas com pontas de metal duro soldadas.
- PVD pode ser usado em ferramentas sólidas de metal duro.

Processo de cobertura PVD vs CVD

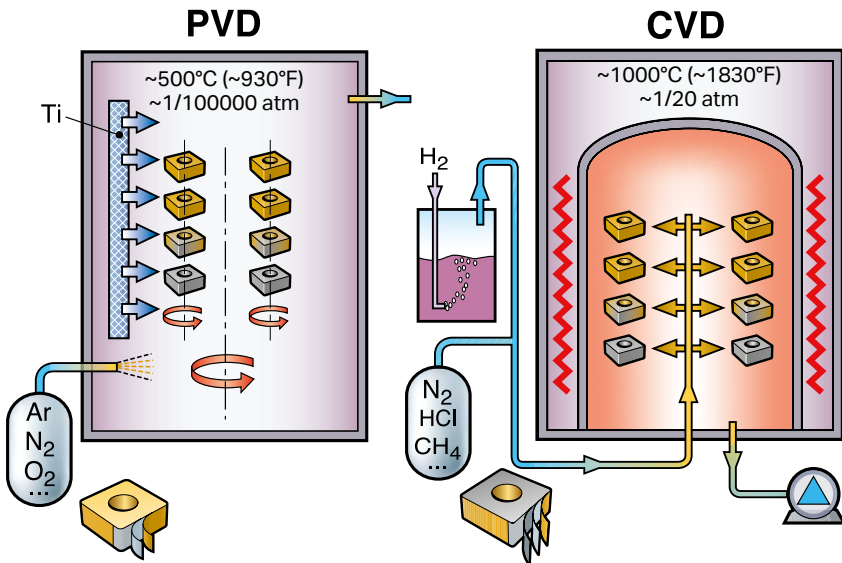
PVD (Deposição física de vapor)

Em um processo de cobertura PVD, a cobertura é formada pela condensação de vapor de metal nas superfícies da pastilha. PVD funciona de forma semelhante ao ar úmido que se condensa nas estradas frias e forma uma camada de gelo sobre o pavimento.

PVD trabalha em uma temperatura muito mais baixa do que CVD. As temperaturas de processo PVD normais ficam em torno de 500° C (930° F). A espessura está na faixa de 2-6 microns (0,00008-0,0002 pol.) dependendo da área de aplicação para a pastilha.

CVD (Deposição química de vapor)

Em um processo de cobertura CVD, a cobertura é formada pela reação química de diferentes gases. Temperatura, tempo, vazão de gás, atmosfera do gás, etc, são cuidadosamente monitorados para promover a deposição das camadas da cobertura. Dependendo do tipo de cobertura, a temperatura no reator varia de 800 a 1100 graus C (1470 a 2000 graus F). Quanto maior a espessura da camada, maior o tempo do processo. A cobertura CVD mais fina disponível atualmente é inferior a 4 microns (0,00016 pol.) e a mais espessa é superior a 20 microns (0,0008 pol.).

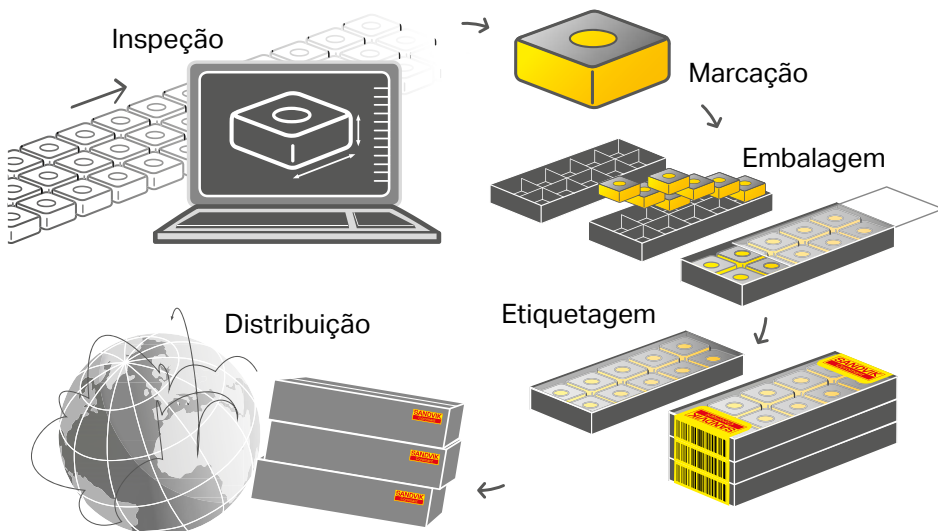


- Cobertura mais fina
- Arestas vivas
- Mais tenaz

- Cobertura mais espessa
- Mais resistente ao desgaste
- Resistência térmica

Controle visual, identificação e embalagem

Antes de serem embaladas, cada pastilha é novamente inspecionada e comparada com os dados técnicos e com informações do lote. Uma máquina marca à laser, o código da classe da pastilha e a colocada em uma caixa cinza com uma etiqueta impressa com os dados técnicos. Agora, ela está pronta para ser distribuída aos clientes.



A aresta de corte

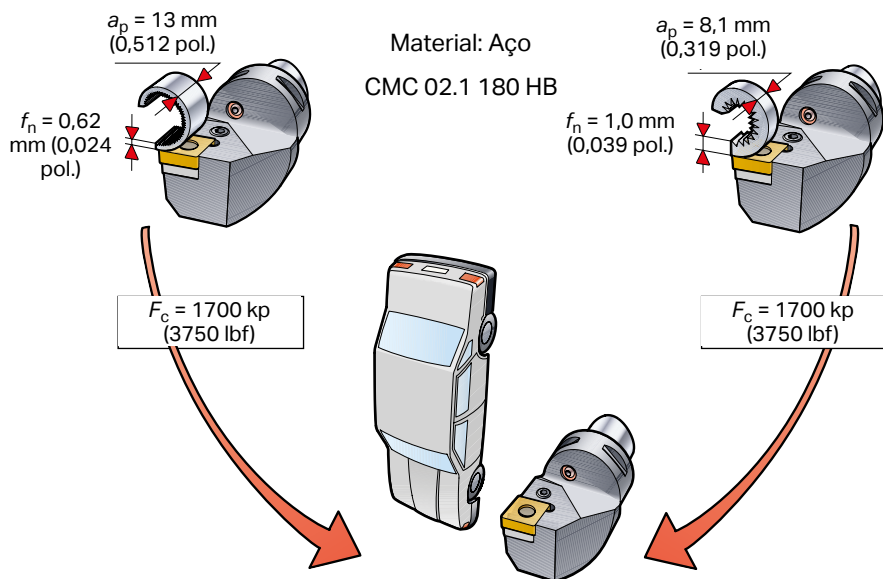
O desenho da aresta de corte e a geometria da pastilha são de fundamental importância para o processo de formação de cavacos, vida útil da ferramenta e da faixa de avanço na usinagem.



Observe o tamanho da força na aresta de corte

O metal duro tem alta resistência à força compressiva e também pode trabalhar em altas temperaturas sem deformação plástica. Ele também resiste à altas forças de corte (F_c) sem quebrar, contanto que a pastilha esteja bem apoiada.

A fim de entender a condição difícil a que a aresta de corte está submetida, verifique as duas condições diferentes de dados de corte para o suporte abaixo. Elas geram a mesma força de corte (F_c) na aresta de corte.



A força de corte tangencial nestes dois casos é equivalente ao peso de um carro de passeio.

Cálculo de F_c Material: MC P2 (aço baixa-liga) 180 HB
Forças de corte específicas $k_{c1} = 2100\text{N/mm}^2$ (304,563 lbs/pol.²)

$$F_c = k_{c1} \times a_p \times f_n$$

$$F_c = 2100\text{N/mm}^2 \times 13 \text{ mm} \times 0,62 \text{ mm} = 16926 \text{ Newton (N)} = 1700 \text{ kp}$$

$$F_c = 304,563 \text{ lbs/in}^2 \times 0,512" \times 0,024" = 3742 \text{ libra-força (lbf)} = 1700 \text{ kp}$$

1lbf = 0,4535 força kilograma (kg),

1N = 0.101 kg

kp = kilolibra ou kilograma força

A usinagem começa na aresta de corte

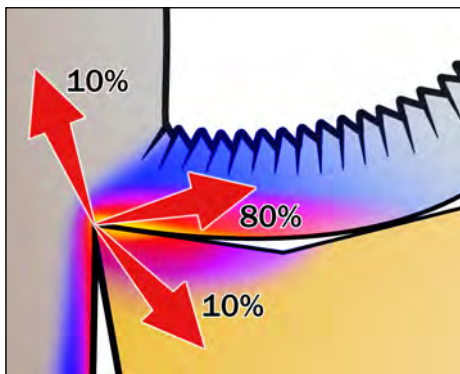


Sequências de quebra-cavacos típicas com imagens em alta velocidade.

Temperaturas da zona de corte

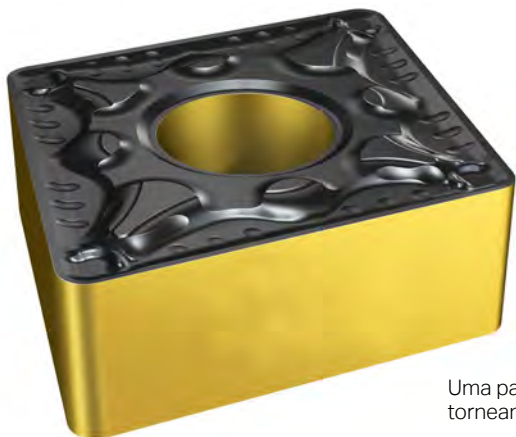
O calor máximo gerado durante o corte está na parte superior da pastilha, 1000° celsius (1832° fahrenheit), no quebra-cavacos e próximo à aresta de corte.

É aí que ocorre a pressão máxima do material e, com o atrito entre cavaco e metal duro, causa essas temperaturas altas.



- O ângulo de saída, a geometria e o avanço, desempenham um papel importante no processo de formação de cavacos.
- A remoção do calor da zona de corte através do cavaco (80%) é um fator essencial.
- O resto do calor é geralmente distribuído de maneira uniforme entre a peça e a ferramenta.

O projeto de uma pastilha moderna



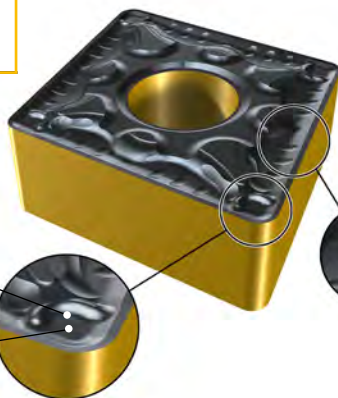
Uma pastilha para torneamento de aços para torneamento médio.

Definições de termos e desenho da geometria

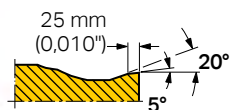
Desenho da aresta de corte na ponta

Macrogeometria com formador de cavacos

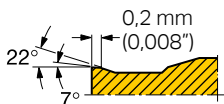
Geometria para profundidades de corte pequenas



Desenho da aresta de corte principal

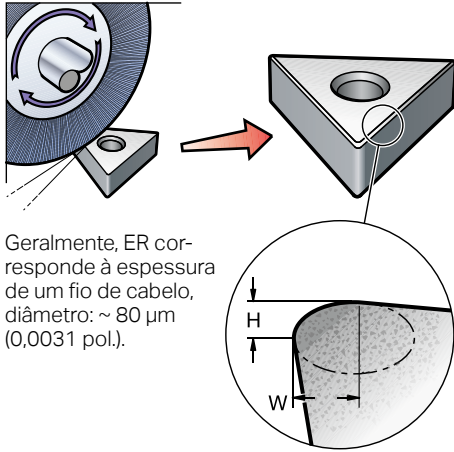


- Reforço da aresta de corte 0,25 mm (0,010")
- Ângulo de saída 20°
- Fase primária 5°



A aresta de corte reforçada

O tratamento ER propicia à aresta de corte a microgeometria final

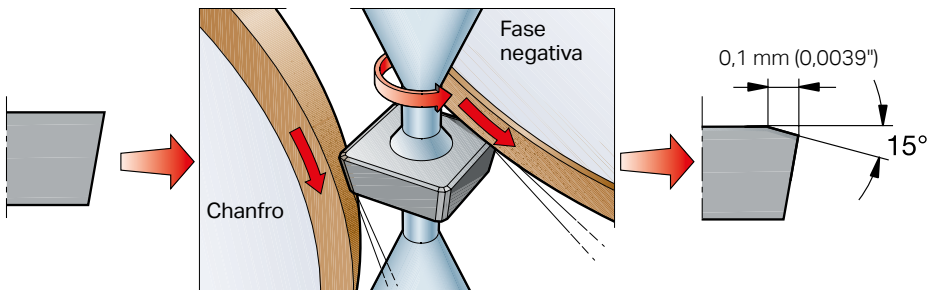


Geralmente, ER corresponde à espessura de um fio de cabelo, diâmetro: $\sim 80 \mu\text{m}$ (0,0031 pol.).

- O tratamento ER (Edge Roundness - arredondamento da aresta) é feito antes da cobertura e proporciona à aresta de corte a microgeometria.
- A relação entre W/H depende da aplicação.

Uma fase negativa aumenta resistência da aresta de corte

Em alguns casos, as pastilhas para fresamento, com frequência, têm uma fase negativa e cantos reforçados que as tornam mais robustas e mais seguras na ação de corte intermitente.

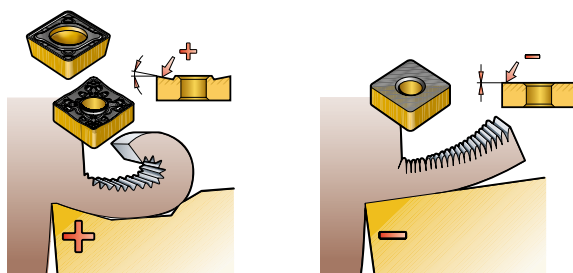


- Uma fase negativa aumenta resistência da aresta de corte, mas também cria forças de corte mais altas.

Ângulo de saída da pastilha

O ângulo de saída pode ser negativo ou positivo.

Baseado nisso, há pastilhas negativas e positivas, onde os ângulos de folga são zero ou vários graus acima. Isto determina como a pastilha pode ser inclinada no porta-ferramentas e resulta em uma ação de corte negativa ou positiva.



- O ângulo de saída da pastilha é o ângulo entre a face superior da pastilha e o eixo horizontal da peça.

Ação de corte positiva e negativa.

O torneamento necessita de uma aresta durável que possa trabalhar por muito tempo, geralmente em cortes contínuos e em alta temperatura. Esta condição exige uma aresta com boa capacidade de quebra de cavacos, boa resistência contra tipos diferentes de desgaste e contra deformação plástica, entre outras coisas.

No fresamento, onde há sempre uma ação de corte intermitente, a aresta precisa ter boa tenacidade para resistir à quebra. Uma grande variação na temperatura da aresta de corte devido a cortes interrompidos e resistência à trincas térmicas, pode ser essencial.

Na furação, a aresta deve ser forte o bastante para durar em velocidades de corte baixas e mesmo em velocidade zero no

centro da broca.

Na maioria das aplicações de furação há também a presença de refrigeração, principalmente para o transporte de cavacos, o que causa estresse adicional na aresta devido à variações de temperatura. Para poder transportar os cavacos pelos canais estreitos e por dentro do furo, é importante também ter uma boa quebra de cavacos, para que sejam curtos.

Desempenho máximo na usinagem

Pastilhas dedicadas para aplicações diferentes

Há diferenças importantes na geometria da pastilha e especificações de classe entre as aplicações em torneamento, fresamento e furação.

P

M

K

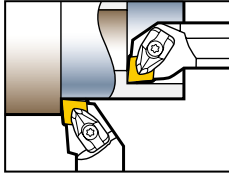
N

S

H



Torneamento

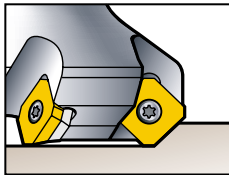


- Necessita de uma aresta durável que possa trabalhar por um longo período, geralmente em cortes contínuos e em alta temperatura.

- Capacidade para boa quebra de cavacos.

- Boa resistência contra tipos diferentes de desgaste e contra deformação plástica.

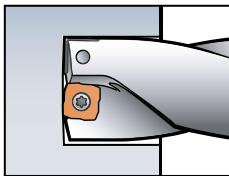
Fresamento



- A ação de corte é sempre intermitente e a aresta precisa ter boa tenacidade para resistir à quebra.

- Variações na temperatura da aresta de corte devido a cortes interrompidos, significa também que a resistência à trincas térmicas é de vital importância.

Furação



- A aresta deve ser forte o bastante para suportar velocidades de corte baixas, na verdade, mesmo em velocidade zero, gerada no centro da broca.

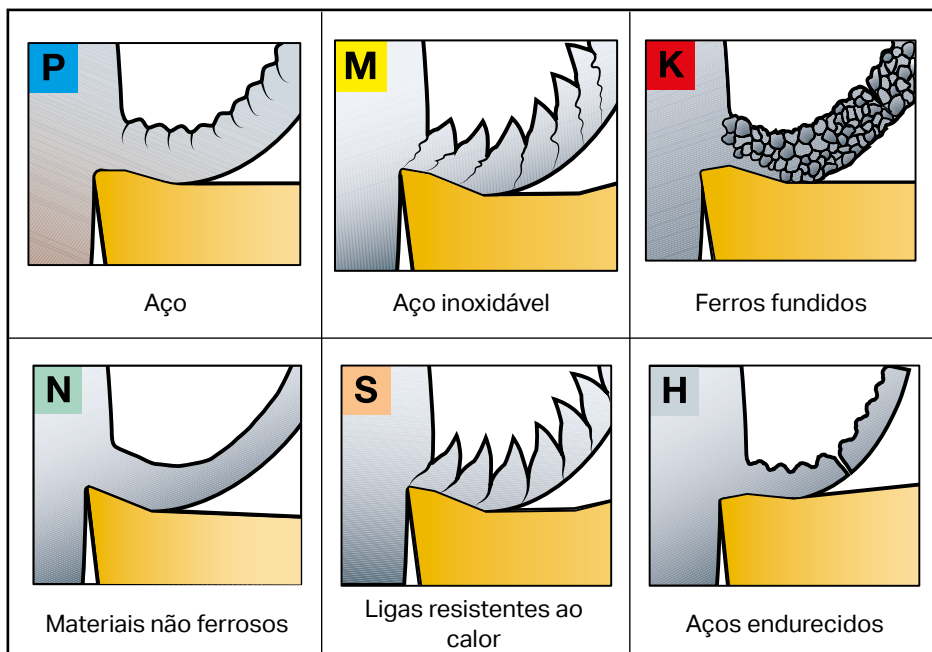
- Presença de refrigeração, principalmente para o transporte de cavacos, o que causa estresse adicional na aresta devido à variações de temperatura.

- Para transportar os cavacos pelos canais estreitos e dentro do furo, será importante ter uma boa quebra de cavacos.

Seis principais grupos de materiais de peças

Características diferentes para remoção de cavacos

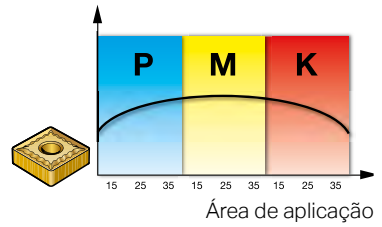
A boa formação de cavacos, geralmente resulta em altas forças de corte e excesso de calor, dependendo do material. Isto pode levar a velocidades de corte baixas, resultando em tensões de aderência. Por outro lado, materiais como aços sem liga, alumínio e ferro fundido de baixa resistência, produzem menos força de corte.



De pastilhas para torneamento universais a otimizadas

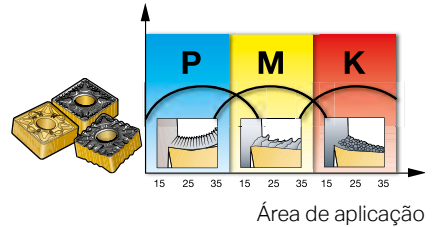
Pastilhas gerais

- Geometria geral
- Otimização com classes
- Desempenho comprometido



Pastilhas específicas

- Geometrias e classes especiais
- Desempenho otimizado de acordo com a usinabilidade da peça

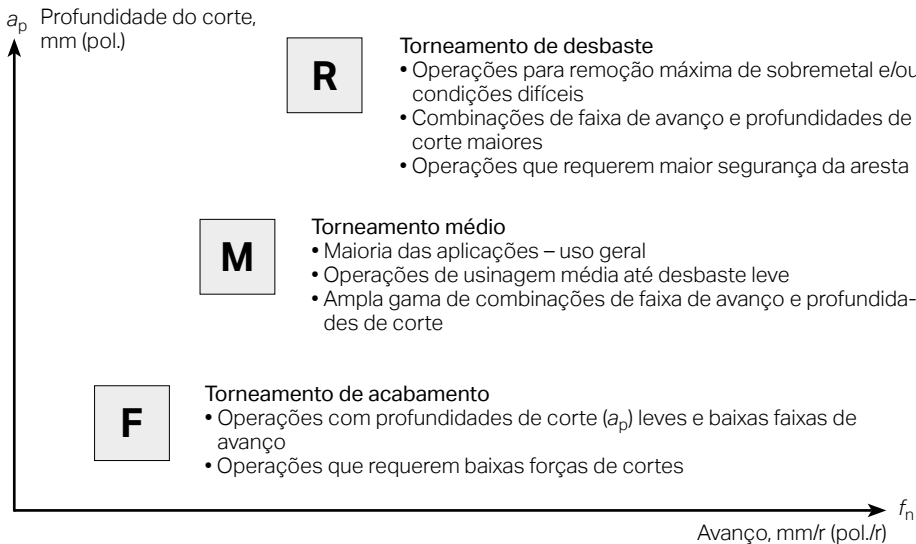


Pastilhas dedicadas para as áreas ISO P, M, K e S

As diferentes micro e macrogeometrias são adaptadas às várias solicitações nas aplicações e materiais.

Material da peça	Acabamento	Médio	Desbaste
P			
M			
K			
S			

Tipo de aplicação - Torneamento



R

Torneamento de desbaste

- Operações para remoção máxima de sobremetal e/ou condições difíceis
- Combinações de faixa de avanço e profundidades de corte maiores
- Operações que requerem maior segurança da aresta

M

Torneamento médio

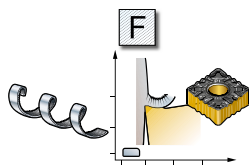
- Maioria das aplicações – uso geral
- Operações de usinagem média até desbaste leve
- Ampla gama de combinações de faixa de avanço e profundidades de corte

F

Torneamento de acabamento

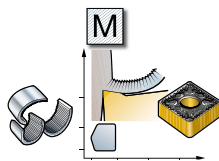
- Operações com profundidades de corte (a_p) leves e baixas faixas de avanço
- Operações que requerem baixas forças de cortes

Selecione a geometria da pastilha no torneamento



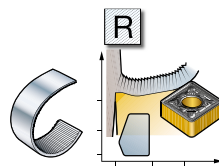
Acabamento (F)

- Extrapositiva
- Usinagem de acabamento
- Forças de corte baixas
- baixa faixa de avanço.



Médio (M)

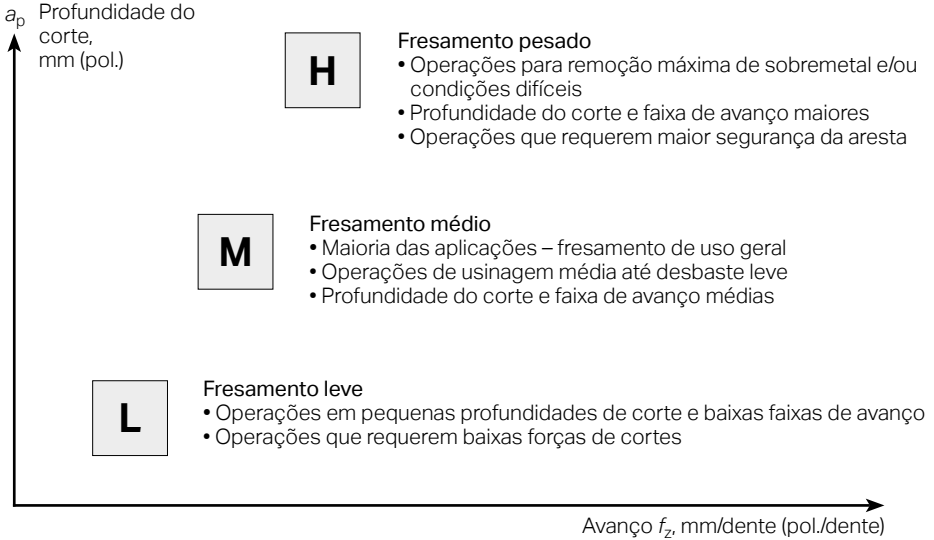
- Geometria de uso geral
- Faixas de avanço médias
- Operações de usinagem média até desbaste leve.



Desbaste (R)

- aresta de corte reforçada
- Usinagem em desbaste
- Alta segurança da aresta
- Altas taxas de avanço.

Tipo de aplicação - Fresamento



Selecione a geometria da pastilha para o fresamento



Leve (-L)

- Extrapositiva
- Usinagem leve
- Forças de corte baixas
- Baixa faixa de avanço.



Médio (-M)

- Geometria de uso geral
- Faixas de avanço médias
- Operações de usinagem média até desbaste leve.



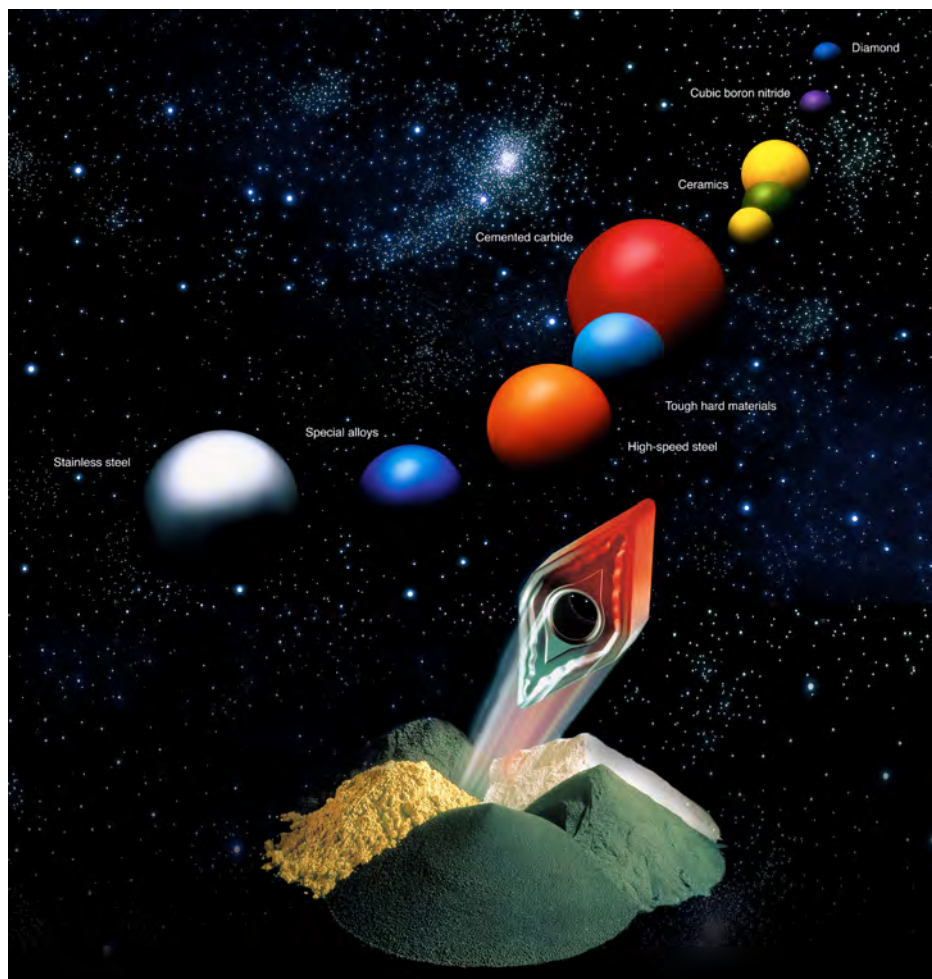
Pesado (-H)

- Aresta de corte reforçada
- Usinagem pesada
- Alta segurança da aresta
- Altas taxas de avanço.

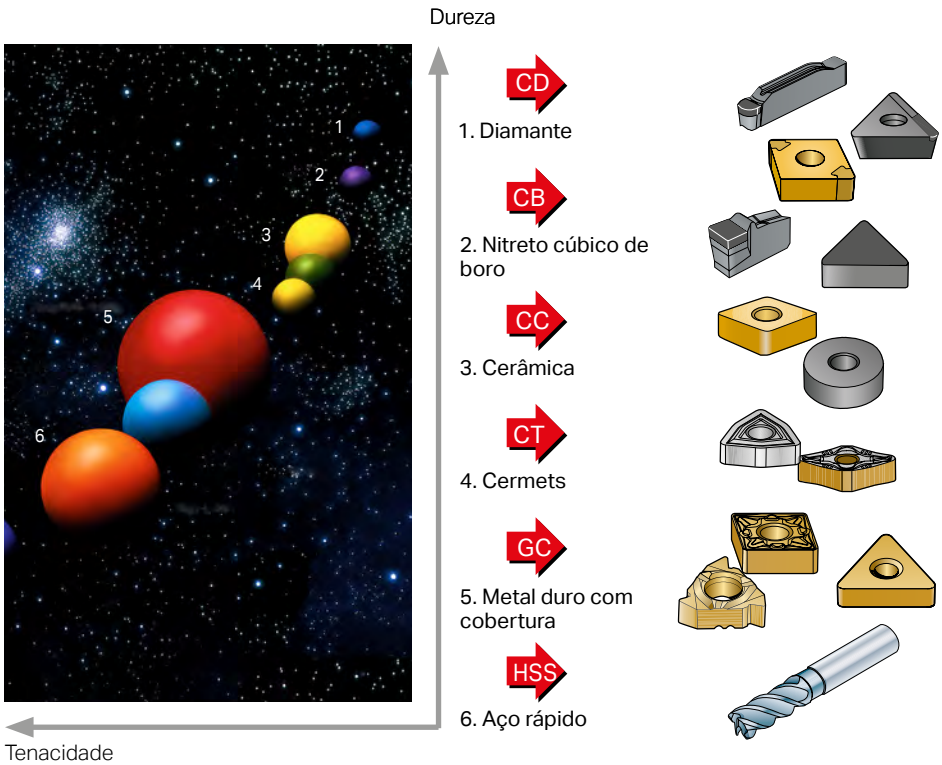
Materiais das ferramentas de corte

A seleção do material e da classe da ferramenta de corte é um fator importante a ser considerado ao planejar uma operação de usinagem bem-sucedida.

Portanto, é importante conhecer cada material da ferramenta de corte e seu desempenho, para poder fazer a seleção correta para cada aplicação. Deve-se considerar o material da peça a ser usinada, o tipo e formato da peça, as condições de usinagem e o nível da acabamento superficial necessário para cada operação.



Diferentes tipos de materiais das ferramentas de corte



O material ideal da ferramenta de corte:

- deve ser duro, para resistir ao desgaste de flanco e deformação
- deve ser tenaz, para resistir à quebra
- não deve interagir quimicamente com o material da peça
- deve ser quimicamente estável para resistir à oxidação e difusão
- deve ter boa resistência à mudanças térmicas bruscas.

A
Torneamento

B
Cortes e canais

C
Rosqueamento

D
Fresamento

E
Furação

F
Mandrillamento

G
Sistemas de fixação

H
Usinabilidade
Outras informações

A gama dos principais materiais da ferramenta de corte



- Metal duro sem cobertura (HW)
- Metal duro sem cobertura (HC)
- Cermet (HT, HC)
- Cerâmica (CA, CN, CC)
- Nitreto cúbico de boro (CBN)
- Diamante policristalino (DP, HC)

- (HW) Metal duro sem cobertura contendo principalmente carbeto de tungstênio (WC).
- (HT) Metal duro sem cobertura, também chamado cermet, contendo principalmente carbonetos de titânio (TIC) ou nitretos de titânio (TIN) ou ambos.
- (HC) Metais duros como acima, porém com cobertura.
- (CA) Cerâmicas à base de óxido contendo principalmente óxido de alumínio (Al_2O_3).

- (CM) Cerâmicas mistas contendo principalmente óxido de alumínio (Al_2O_3) e outros elementos além de óxidos.
- (CN) Cerâmicas à base de nitreto, principalmente nitreto de silício (Si_3N_4).
- (CC) Cerâmicas como acima, porém com cobertura.
- (DP) Diamante policristalino ¹
- (CBN) Nitreto cúbico de boro ¹

¹) Diamante policristalino e nitreto cúbico de boro são também denominados materiais de corte superduros.

Metal duro sem cobertura

Características, características e benefícios



- Usado em aplicações moderadas à difíceis em relação a aço, HRSA, titânio, ferro fundido e não ferrosos em torneamento, fresamento e furação.
- Boa combinação de resistência ao desgaste por abrasão e tenacidade.
- Permite arestas de corte vivas.
- Boa segurança da aresta porém, resistência ao desgaste limitado em velocidades mais altas.
- Representa uma pequena parte do total do programa de classes.



▶ Metal duro com cobertura

Características, recursos e benefícios



- Uso geral em todos os tipos de peças e materiais em aplicações de torneamento, fresamento e furação.
- Excelente combinação de resistência ao desgaste e tenacidade em diversas aplicações.
- Formada por uma grande variedade de classes com substratos duros a tenazes, geralmente a sinterização é com gradiente e várias coberturas do tipo CVD e PVD.
- Apresenta características de desgaste muito boas com vida útil longa da ferramenta.
- Domina o programa de pastilha, com maior compatibilidade.

Torneamento

B

Cortes e canais

C

Rosqueamento

D

Fresamento

E

Furação

F

Mandrillamento

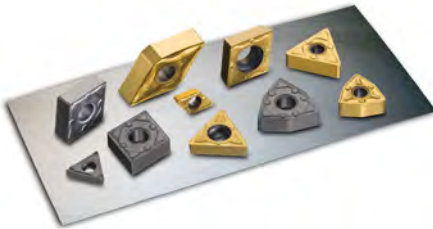
G

Sistemas de fixação

H

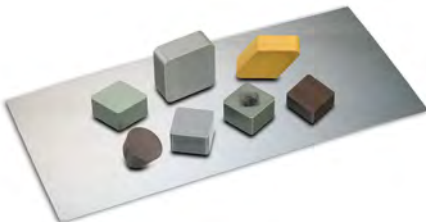
Usinabilidade
Outras informações

Cermet



- Usado em aplicações de acabamento e semiacabamento onde é necessário tolerância estreita e bom acabamento superficial.
- Quimicamente estável com substrato duro e resistente ao desgaste.
- Formado por metal duro à base de titânio (TiC, TiCN) com cobalto como ligante.
- Cobertura PVD aumenta a resistência ao desgaste e a vida útil da ferramenta. Propriedades que permitem "autoafiação". Comportamento de tenacidade limitada.
- Muito baixa aplicabilidade com relação ao programa total de pastilhas.

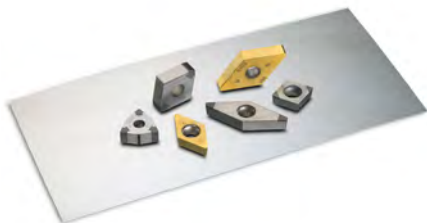
Cerâmica



- Dependendo do tipo de cerâmica, as classes são usadas principalmente em ferro fundido e aço, mas também em materiais endurecidos e HRSA.
- As classes de cerâmica costumam ser resistentes ao desgaste e ter boa dureza à quente. Ampla área de aplicação em diferentes tipos de material e peça.
- As cerâmicas são consideradas quebradiças e precisam de condições de aplicação estáveis. Com adições de microbastonetes (whiskers) e cerâmica é reforçada e tem a tenacidade melhorada.
- Aplicabilidade muito baixa de uso em relação ao total das pastilhas, porém, maior utilização nas áreas aeroespacial, de aço endurecido e ferro fundido.

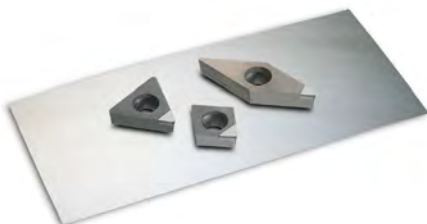
Nitreto cúbico de boro

Características, características e benefícios



- Para torneamento de acabamento de aço endurecido. Desbaste de ferros fundidos cinzentos em altas velocidades de corte. Torneamento em desbaste dos rolos em ferro fundido branco/ferro fundido coquilhado.
- Aplicações que exigem extrema resistência ao desgaste e tenacidade.
- CBN é formado por nitreto de boro com cerâmica ou nitreto de titânio como aglutinante.
- Resiste à altas temperaturas de corte e altas velocidades de corte.
- Áreas especiais de aplicação com pequeno volume de utilização de pastilhas. Há uma tendência de aumento do volume de usinagem de materiais duros.

Diamante policristalino



- Torneamento de alumínio normais em baixa temperatura e alumínios hipereutéticos, muito abrasivos. Usado em materiais não metálicos e não ferrosos.
- Classes extremamente resistentes ao desgaste. Sensível a lascamento.
- Pontas de diamante policristalino(PCD), soldadas na pastilha de metal duro ou com uma camada fina de cobertura de diamante, também em um substrato de metal duro.
- Vida útil longa da ferramenta e uma ótima resistência ao desgaste. Se decompõe em altas temperaturas. Se dissolve facilmente em contato com o ferro.
- Uma parte consideravelmente baixa do programa de pastilha, com aplicações especialmente limitadas.

O desenvolvimento de material da ferramenta de corte

O desenvolvimento do material da ferramenta de corte ao longo dos anos, pode ser visto na redução do tempo necessário para usinar uma peça de 500 mm de comprimento, com diâmetro de 100 mm, (19,685 pol. de comprimento, com 3,937 pol. de diâmetro) de 1900 até hoje.

No início do século passado, o material da ferramenta de corte era apenas um pouco mais duro do que o necessário para o corte. Portanto, a vida útil da ferramenta era insatisfatória e a velocidade de corte e o avanço precisavam ser mantidos muito baixos.

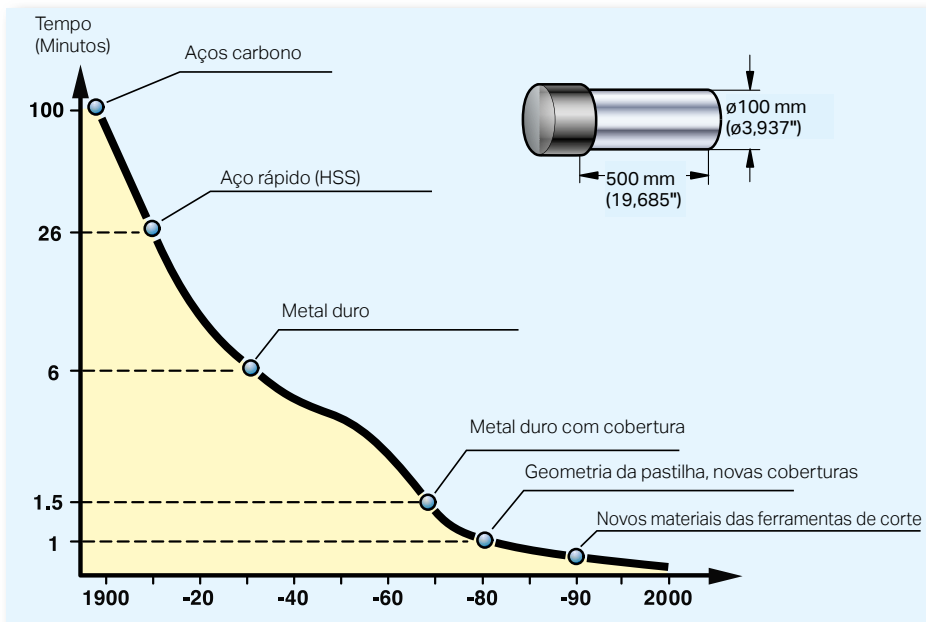
A introdução do HSS trouxe melhorias significativas, o que resultou na redução do tempo de corte.

20 anos depois, o metal duro sem cobertura permitiu reduzir o tempo necessário para o corte para incríveis 6 minutos.

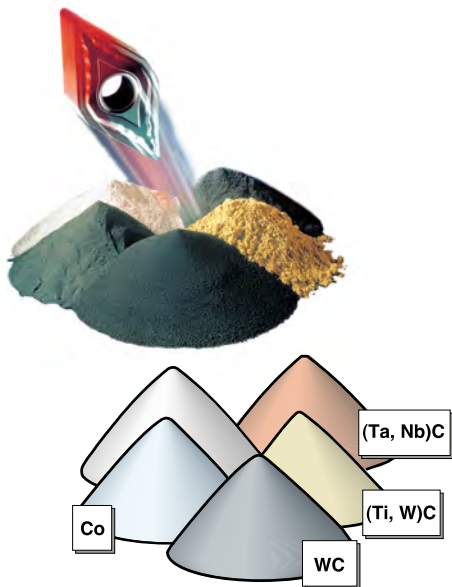
A introdução do metal duro com cobertura, mais uma vez reduziu o tempo de corte para 1,5 minutos.

Atualmente, com o aperfeiçoamento das geometrias e com a nova técnica de cobertura, atingimos um tempo de corte abaixo de 1 minuto para a usinagem de uma barra de aço de 500 mm (19,685 pol.).

Além do metal duro tradicional sem e com cobertura, novos materiais de ferramenta de corte como cermet, cerâmica, nitreto cúbico de boro e diamante, contribuíram para otimizar e aperfeiçoar a produtividade.

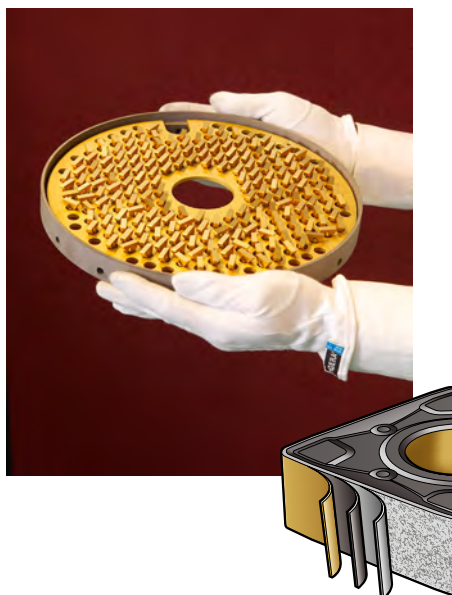


O que é metal duro e classe?



- Metal duro é um material produzido por metalúrgia do pó, que consiste em:
 - partículas duras de carboneto de tungstênio (WC)
 - um metal ligante, cobalto (Co)
 - partículas duras de Ti, Ta, Nb (carbonetos de titânio, tântalo e nióbio).
- Uma classe, representa a dureza ou tenacidade da pastilha e é determinada pela mistura dos ingredientes que compõem o substrato.

Cobertura de metal duro



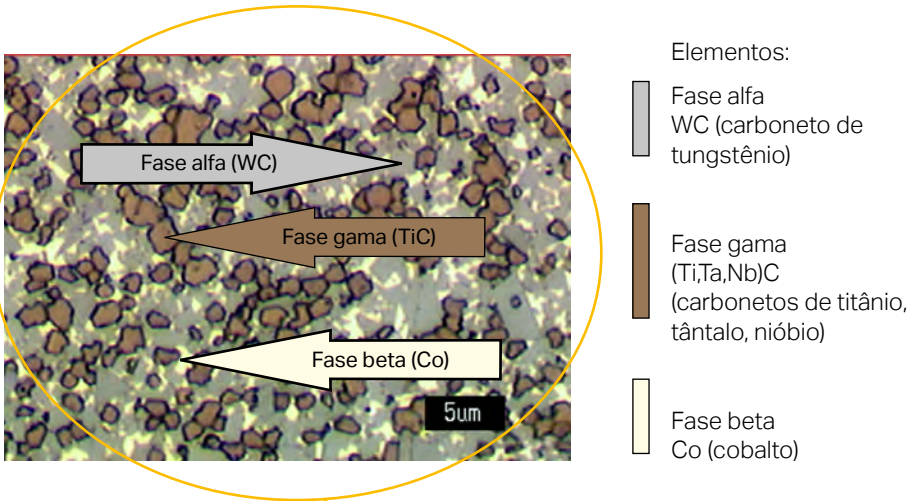
- A cobertura de metal duro foi desenvolvida nos anos 60.
- Uma fina camada de cobertura de nítreto de titânio foi adicionada, somente alguns microns de espessura. Isto aperfeiçoou o desempenho do metal duro da noite para o dia.
- As coberturas oferecem melhora da resistência ao desgaste, permitindo vida útil longa da ferramenta e a possibilidade de usar dados de corte mais altos.
- Atualmente, as classes modernas têm cobertura com diferentes camadas carbeto, nítretos e óxidos.

Microestrutura de metal duro

O metal duro é formado por partículas duras (metal duro) em uma matriz aglutinante.

O aglutinante é, quase sempre cobalto (Co); mas também pode ser níquel (Ni). As partículas duras são formadas principalmente por carboneto de tungstênio (WC) com uma possível adição na fase gama (metais duros Ti-, Ta- Nb e nitretos).

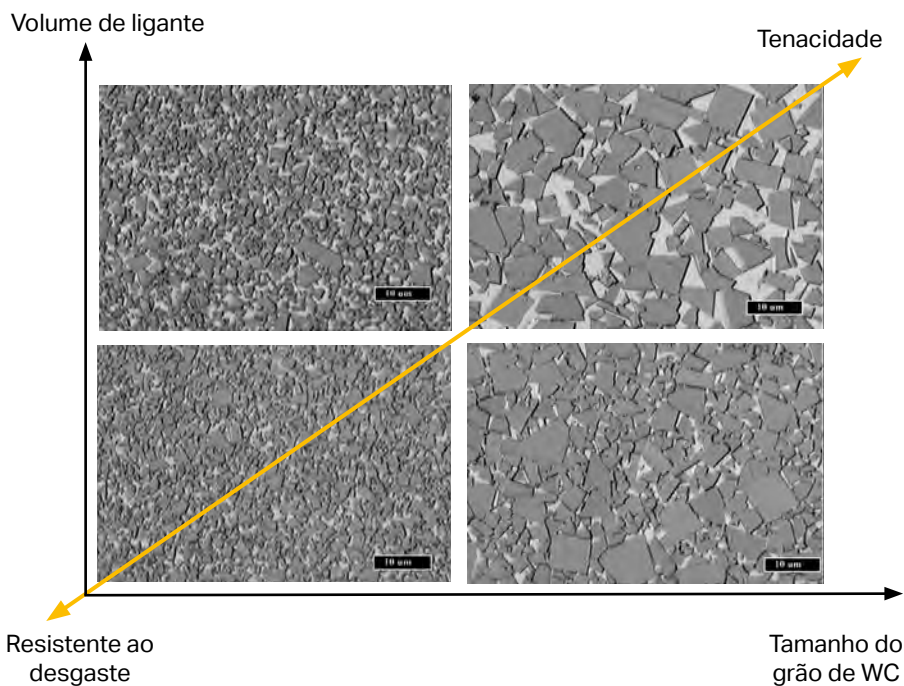
A fase gama tem melhor dureza a quente e é menos reativa a temperaturas elevadas, portanto, é mais comum em classes onde a temperatura de corte pode ser alta. WC tem melhor resistência ao desgaste por abrasão.



Características fundamentais

Além do tamanho do grão para carbeto de tungstênio (WC), a quantidade de cobalto (Co) da fase ligante é um fator importante que determina as características do metal duro. O teor de Co nas classes da Sandvik Coromant é de, geralmente, 4 a 15% do peso total.

Um aumento no teor de Co e no tamanho do grão WC, contribui para o aumento do grau de tenacidade, mas também reduz a dureza. Como resultado, o substrato tem menos resistência à deformação plástica, o que significa menos resistência ao desgaste/menor vida útil da ferramenta.

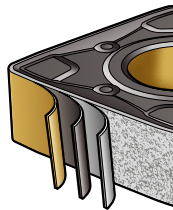


Desenho da cobertura



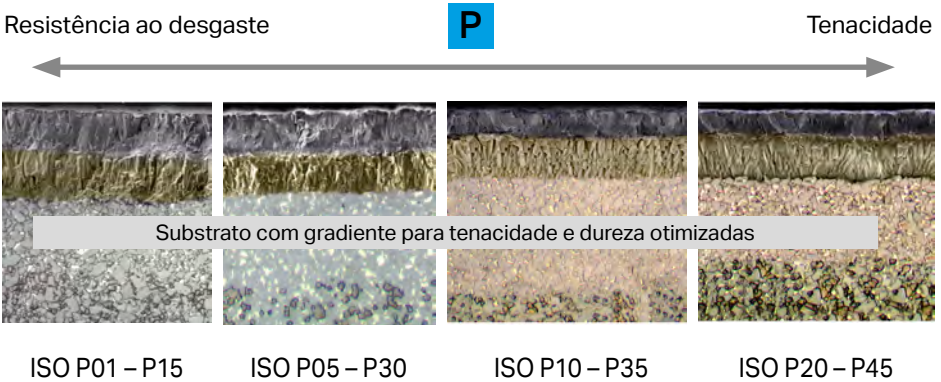
Muitos fatores influenciam o comportamento da pastilha:

- Processo de cobertura
- Material da cobertura
- Espessura da cobertura
- Pós-tratamento
- Morfologia da superfície.



Exemplo de classes modernas para torneamento de aços

Estrutura e composição das camadas da cobertura

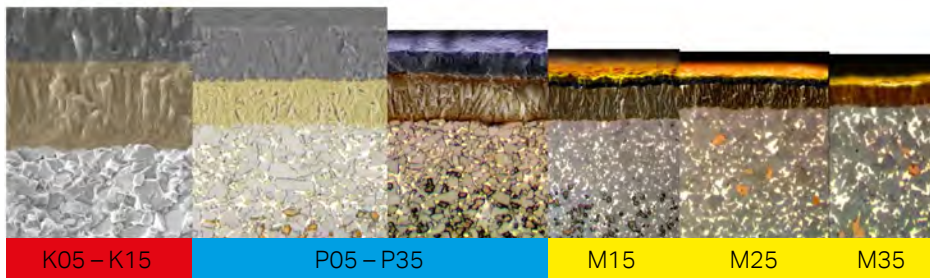


Coberturas mais espessas significam mais resistência ao desgaste.

Substratos mais duros significam mais resistência à deformação.

Desenho da classe

As coberturas e os substratos variam com o tipo de aplicação



K05 – K15

P05 – P35

M15

M25

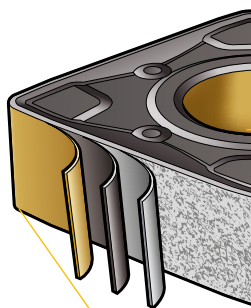
M35

Coberturas mais espessas significam mais resistência ao desgaste.

Substratos mais duros significam mais resistência à deformação.

A cobertura de uma classe de torneamento moderna

A classe exerce uma função muito importante do desempenho


 Al_2O_3

– Cobertura para resistência ao desgaste químico e térmico

TiCN

– Cobertura de MTCVD para resistência ao desgaste mecânico ou avaria

Gradiente funcional

– Para melhor dureza e tenacidade

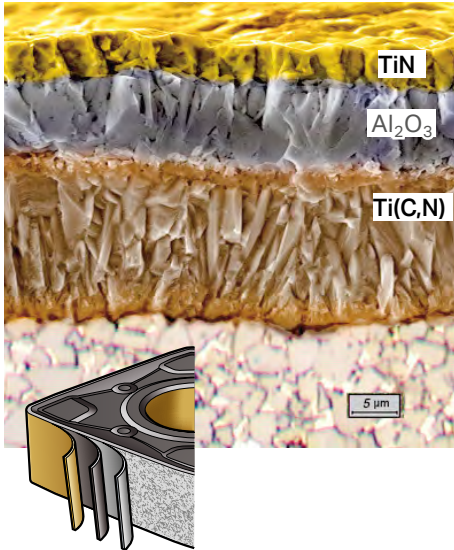
Metal duro

– Resistência à deformação plástica

Propriedades de diferentes materiais de cobertura

Cobertura de CVD de pastilhas

Deposição química de vapor



- As camadas de PVD mais comuns atualmente são: TiN, Ti(C,N) e Al_2O_3 .
- TiCN melhora a resistência ao desgaste de flanco.
- Al_2O_3 oferece proteção contra temperatura (resistência à deformação plástica).
- TiN propicia fácil visualização do desgaste.

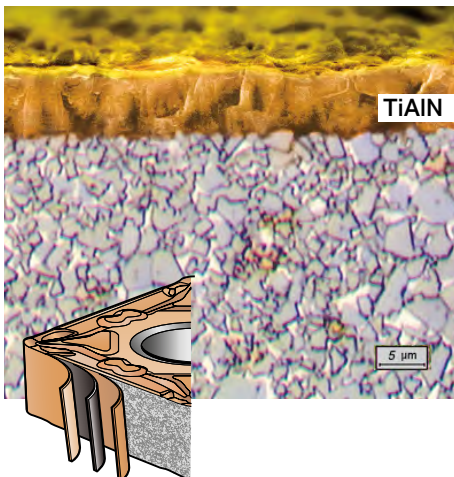
TiN = Nitreto de titânio

Ti(C,N) = Carbono nitreto de titânio

Al_2O_3 = Óxido de alumínio

Cobertura PVD de pastilhas

Deposição física de vapor



- Coberturas PVD geralmente são mais tenazes do que as de CVD.
- As coberturas PVD normalmente são usadas em combinação com substratos de grãos finos para uma camada de cobertura em aresta de corte afiada.
- A espessura total das camadas de PVD costumam ser de 3 a 6 μm (0,0001 – 0,0002 pol.).
- A cobertura é aplicada a aproximadamente 500° C (932° F).

TiAlN = Nitreto de alumínio titânio

A

Desgaste da ferramenta e manutenção

Torneamento

B

Cortes e canais

C

Rosqueamento

D

Fresamento

E

Furação

F

Mandrillamento

G

Sistemas de fixação

H

Usinabilidade
Outras informações

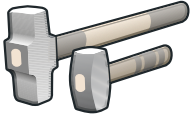

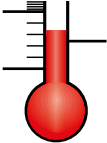
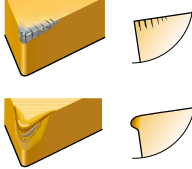


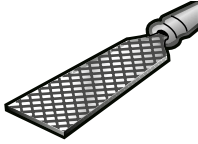


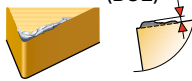
Desgaste da ferramenta e manutenção

- Desgaste da ferramenta H 53
- Manutenção H 61

H 52

O ambiente difícil da usinagem

Diferentes mecanismos de desgastes nas pastilhas

Tipo de carga	Símbolo	Ilustração do desgaste	Causa
Mecânica			Tensão mecânica na aresta da pastilha causa a quebra.
Térmica			As variações de temperatura causam trincas e o calor gera deformação plástica (PD) na aresta da pastilha.
Química			Uma reação química entre o metal duro e o material de trabalho causa desgaste.
Abrasiva			Em ferros fundidos, as inclusões de SiC podem desgastar a aresta da pastilha.
Adesiva		 Arestas postiças (BUE)	Com materiais pastosos, adesões/arestas postiças são formadas.

BUE = Arestas postiças

PD = Deformação plástica

Figuras de desgaste, causa e solução

Alguns dos padrões de desgaste mais comuns

Desgaste do flanco (abrasivo)

O desgaste de flanco é um dos tipos de desgaste mais comuns e ocorre na face do flanco da pastilha (ferramenta). Este é o padrão de desgaste preferencial.



Causa

Durante o corte, o material da ferramenta desprende do flanco, devido ao atrito contra a superfície do material da peça. Geralmente o desgaste começa na aresta de corte e gradualmente se propaga para baixo.

Solução

A redução da velocidade de corte e, simultaneamente, o aumento do avanço resultará no aumento da vida útil da ferramenta mantendo a produtividade.

Craterização (química)



Causa

A craterização ocorre como resultado do contato do cavaco com a face de saída da pastilha (ferramenta).

Solução

Reduzir a velocidade de corte e escolher uma pastilha (ferramenta) com a geometria correta e uma cobertura mais resistente ao desgaste aumentará a vida útil da ferramenta.

Deformação plástica (térmica)

A deformação plástica é uma mudança permanente no formato da aresta de corte, a qual sofreu a deformação para dentro (impressão) ou para baixo (depressão da aresta).



Depressão da aresta

Causa

A aresta de corte está sujeita a altas forças de corte e temperaturas, resultando em um estado de tensão, excedendo sua resistência e a temperatura.

Solução

A deformação plástica pode ser controlada usando classes com maior dureza a quente. As coberturas melhoram a resistência à deformação plástica da pastilha (ferramenta).

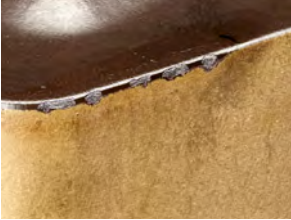


Impressão da aresta



Escamação

A escamação costuma ocorrer ao usinar materiais com propriedades de abrasão.



Causa

Pode ocorrer uma carga adesiva na qual a aresta de corte está sujeita às tensões de tração. Isto pode fazer com que a cobertura se solte, expondo subcamadas ou substrato.

Solução

O aumento da velocidade de corte, bem como a seleção de uma pastilha com uma cobertura mais fina reduzirá a escamação na ferramenta.

Trincas (térmicas)

As trincas são fissuras estreitas nas quais as superfícies que a circundam foram deformadas devido à ruptura. Alguns trincas são limitadas à cobertura, enquanto que outras se estendem até embaixo, no substrato. As trincas em forma de pente são ligeiramente perpendiculares à aresta de corte e mais comuns que as trincas térmicas.



Causa

As trincas em forma de pente ocorrem como resultado de variações bruscas na temperatura.

Solução

Para evitar que elas ocorram, pode-se usar uma classe da pastilha mais tenaz e aplicar refrigeração em quantidade abundante ou trabalhar sem refrigeração.

Lascamento (mecânico)

O lascamento é uma pequena avaria na aresta de corte. A diferença entre lascamento e fratura é que com o lascamento a pastilha ainda pode ser usada.



Causa

Pode haver várias combinações de mecanismos de desgaste que causam lascamentos. Entretanto, as causas mais comuns são termo-mecânico e adesivo.

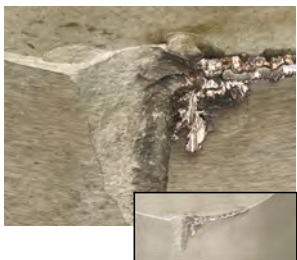
Solução

É possível aplicar medidas preventivas diferentes para minimizar o lascamento, dependendo do mecanismo/mecanismos de desgaste que o causaram.



Desgaste tipo entalhe

O desgaste tipo entalhe é caracterizado por dano excessivo localizado na parte da aresta que é o final da profundidade de corte máxima, mas também pode ocorrer na aresta secundária.



Causa

Dependendo do desgaste, o domínio químico no desgaste tipo entalhe, o qual ocorre mais regularmente como mostra a imagem, pode ser comparado também ao aumento irregular do desgaste adesivo ou térmico. Neste último caso, o endurecimento da peça e a formação de rebarbas são fatores importantes para o desgaste tipo entalhe.

Solução

Para materiais que causam endurecimento na peça, selecione um ângulo de posição menor e/ou varie a profundidade de do corte.

Fratura

A fratura é definida como a quebra de uma grande parte da aresta de corte, na qual a pastilha não pode mais ser aplicada.



Causa

A aresta de corte foi exposta à uma carga maior do que ela pode resistir. Isto pode ocorrer ao permitir que o desgaste evolua demais, causando maiores forças de corte. Também pode ser causado prematuramente devido a dados de corte incorretos ou problemas de estabilidade na preparação (setup).

Solução

Identifique e evite o tipo de desgaste original, selecionando os dados de corte apropriados e verificando a estabilidade da preparação (setup).

Aresta postiça (adesivo)

Aresta postiça (BUE) é o acúmulo de material na face de saída.



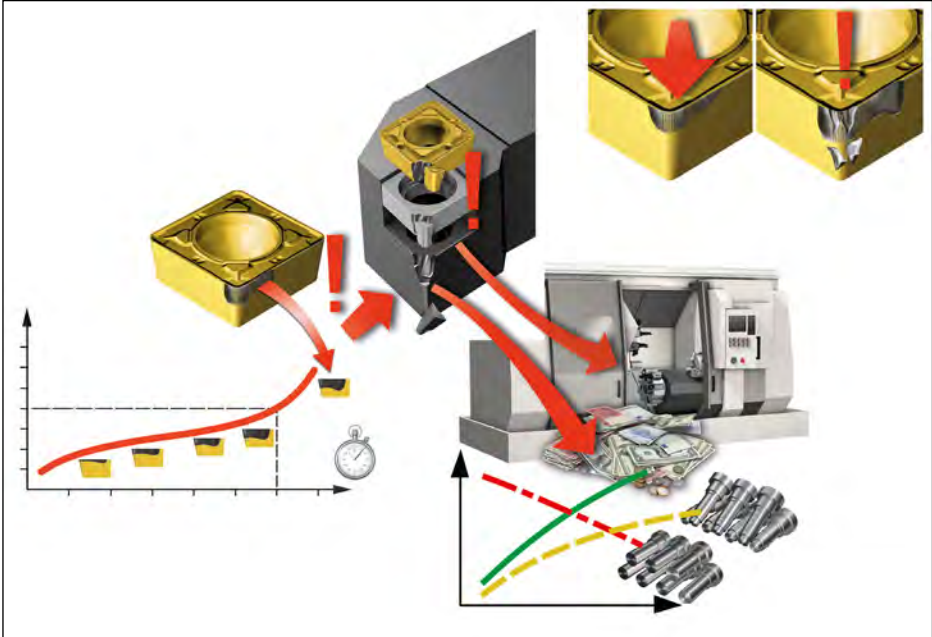
Causa

Pode ocorrer o acúmulo de material na parte superior da aresta de corte, separando-a do material. Isto resulta no aumento das forças de corte, causando falha ou liberação e a remoção de partes da cobertura, até mesmo camadas do substrato,

Solução

O aumento da velocidade de corte pode evitar a formação de BUE. Em materiais mais macios, mais pastosos, uma aresta mais viva ajudará.

Consequência de desgaste excessivo da ferramenta



- Pastilhas danificadas
- Calços danificados
- Porta-ferramentas danificados
 - Peças danificadas
- Máquina danificada

Resultado:

- Produção reduzida
- Custos de produção mais altos

A

Torneamento

B

Cortes e canais

C

Rosqueamento

D

Fresamento

E

Furação

F

Mandrillamento

G

Sistemas de fixação

H

Usinabilidade
Outras informações

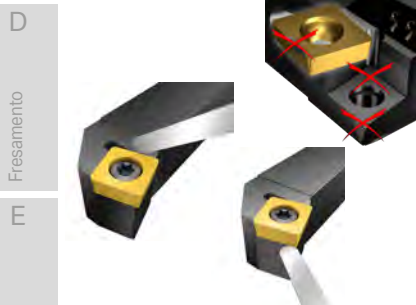
Torneamento
Inspeção da ferramenta



Faça uma inspeção visual dos calços e assentos do calço

- Verifique se há dano no calço.
- Limpe o assento da pastilha e o alojamento do suporte.
- Se necessário, faça a troca do calço.
- Assegure a localização correta da pastilha contra os pontos de apoio.
- É importante assegurar que as arestas da pastilha foram substituídas no momento certo, durante o processo de usinagem ou no manuseio.

C Rosqueamento
 Marcas do quebra de cavaco



Verifique os alojamentos

- Alojamentos danificados ou deformação plástica.
- Alojamentos com folga devido ao desgaste. A pastilha não fica corretamente assentada nas laterais do alojamento. Use um calço de 0,02 mm (0008 pol.) para verificar a folga.
- Pequenos espaços nos cantos, entre o calço e o fundo do alojamento.

F Furação
A importância de usar um torquímetro correto



Por que usar os torquímetros adequados?

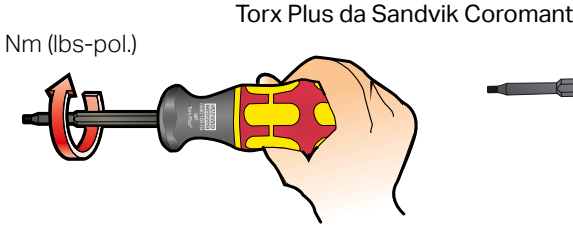
- Estende a vida útil do parafuso e a chave.
- Reduz o risco de descascamento do parafuso.

H Sistemas de fixação
Qual é a maneira adequada de apertar o parafuso da pastilha?

- É importante usar a chave correta.
- Use sempre o torque correto. Os valores são marcados na ferramenta e exibidos no catálogo de produtos.
- Bom senso!



Torquímetros Torx Plus®

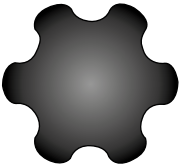


Torx Plus® vs. Torx

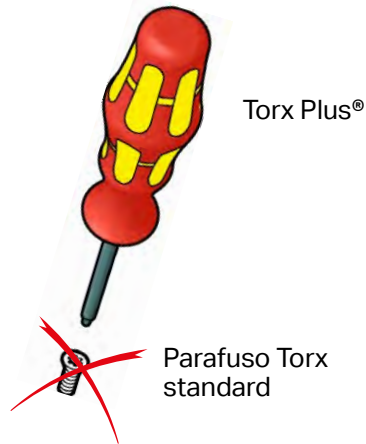
Referência cruzada

Torx Plus®

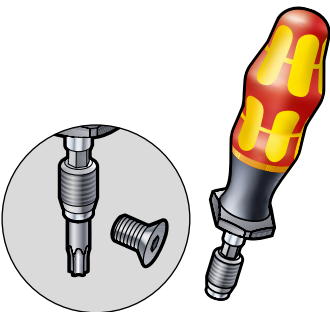
Torx



O Torx Plus é uma marca registrada da Camcar Textron (EUA)

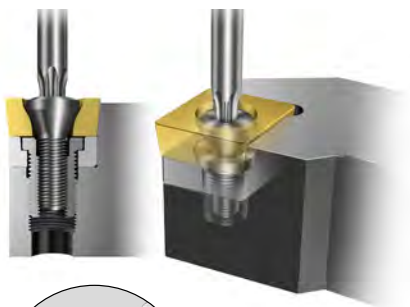


Torquímetros Torx Plus® com torque ajustável



- Em ferramentas de cortes e canais é necessário usar uma chave de torque ajustável, pois o torque não está relacionado ao tamanho do parafuso.
- Certamente deve ser usado em todos os produtos com um parafuso de fixação.

Parafusos de pastilha / parafusos de fixação

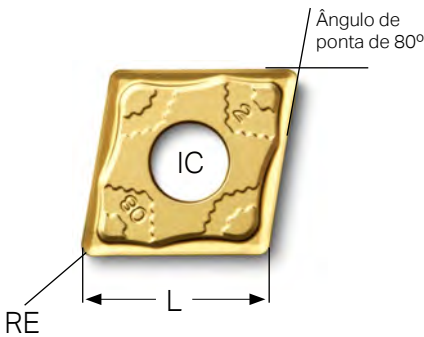


Importante!

Use antiengripante nas cabeças e roscas de parafuso

- Roscas do parafuso, cabeças e soquetes Torx devem estar em boas condições.
- Use as chaves corretas.
- Certifique-se de que o torque de aperto do parafuso está correto.
- Aplique lubrificação suficiente nos parafusos para evitar a quebra. O lubrificante deve ser aplicado na rosca do parafuso, bem como na cabeça do parafuso.
- Substitua os parafusos desgastados ou danificados.

Manutenção da ferramenta



L = comprimento da aresta de corte (tamanho da pastilha)

RE = raio de ponta



Faces de contato

- Verifique sempre as faces de contato dos porta-ferramentas, fresas e brocas, certificando de que não há danos ou sujeira.
- Em operações de mandrilamento, é especialmente importante ter a melhor fixação possível. Se a barra não for apoiada até a extremidade do suporte, o balanço aumentará e criará vibração.

Segurança de produção

- É importante selecionar o tamanho, o formato, a geometria e o raio de ponta corretos da pastilha para obter um bom fluxo de cavacos.
 - Selecione a pastilha com o maior ângulo de ponta possível para resistência e economia.
 - Selecione o maior raio de ponta possível para resistência da pastilha.
 - Selecione o menor raio de ponta se houver tendência a vibrações.

Estabilidade

- Estabilidade é um fator fundamental para o sucesso da usinagem, afetando os custos de usinagem e a produtividade.
- Certifique-se de que qualquer folga, balanço, instabilidades desnecessárias, etc., sejam eliminadas e que os tipos e tamanhos corretos de ferramentas sejam empregados para a operação.

Torneamento
B
Cortes e canais
C
Rosqueamento
D
Fresamento
F
Furação
T
Mandrilamento
G
Sistemas de fixação
H
Usinabilidade
Outras informações

Manuseio de pastilhas



As pastilhas são colocadas em pacotes separados a fim de evitar o contato entre elas, o que poderia danificar o metal duro com microfraturas e/ou lascamento. Isto poderia reduzir o desempenho e a vida útil da pastilha. Recomenda-se que as pastilhas sejam mantidas em suas embalagens originais até que sejam utilizadas no processo de usinagem.

Resumo da lista de verificação de manutenção

- Verifique o desgaste da ferramenta e se os calços apresentam danos.
- Certifique-se de que o assento de pastilhas está limpo.
- Certifique-se de que a pastilha está na posição correta.
- Certifique-se para que sejam usadas as chaves corretas.
- Os parafusos de pastilha devem ser apertados corretamente.
- Lubrifique os parafusos antes da montagem da ferramenta.
- Certifique-se de que as faces de contato das ferramentas estejam limpas e que não sido danificadas e também os fusos da máquina.
- Certifique-se de que as barras de mandrilar estejam bem fixas e que os suportes não apresentem danos na extremidade.
- Um estoque de peças bem organizado, documentado e com boa manutenção, economiza custos de produção.
- A estabilidade sempre é um fator crítico em todos os tipos de operação de corte de metal.



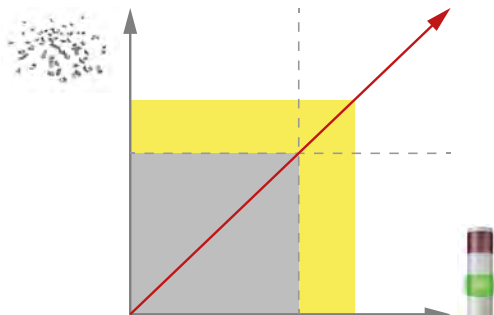
Economia de usinagem

Como melhorar a economia de usinagem

H 64

H 63

Usinando mais no mesmo tempo de produção



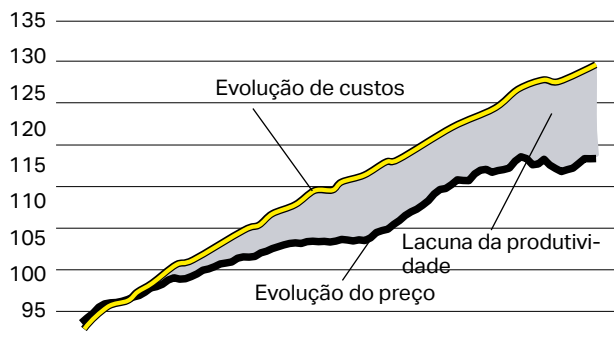
Definição de produtividade

O valor de saída produzido dividido pelo valor de entrada ou recursos.

$$= \text{Saída} / \text{Entrada}$$

Eliminar a lacuna de produtividade

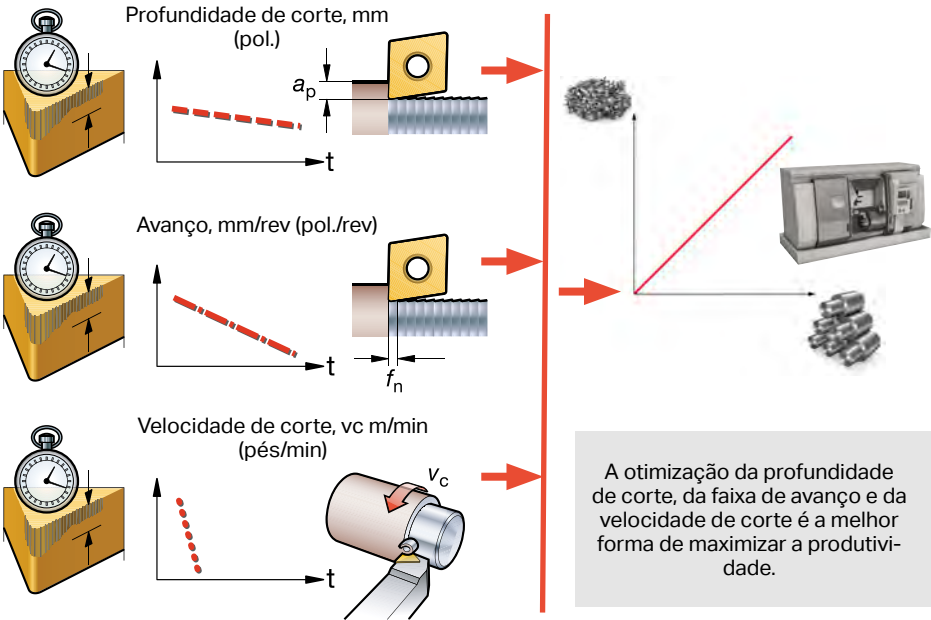
Em todas as operações industriais, o custo de execução da operação - como, por exemplo, a mão de obra, a matéria-prima, equipamentos - vem aumentando mais rapidamente do que o preço dos produtos vendidos. A fim de diminuir essa lacuna, é necessário aumentar continuamente a eficiência, resultando em maior produtividade. A única forma de se manter competitivo e permanecer no mercado é eliminar essa lacuna.



Fonte: Mechanical Industry in OECD.

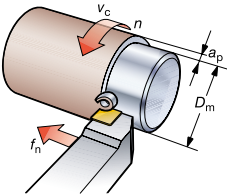
Maximizando a produtividade

Os três dos principais parâmetros de usinagem, velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, têm um efeito na vida útil da ferramenta. A profundidade de corte é o parâmetro que tem o menor efeito seguida pela faixa de avanço. A velocidade de corte tem a maior influência na vida útil da pastilha.



Produtividade "Q" é medida como o volume de material removido em um período de tempo definido, cm^3/min (pol³/min).

Torneamento



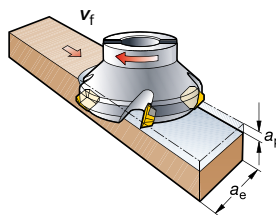
Métrico

$$Q = v_c \times a_p \times f_n$$

Polegadas

$$Q = v_c \times a_p \times f_n \times 12$$

Fresamento



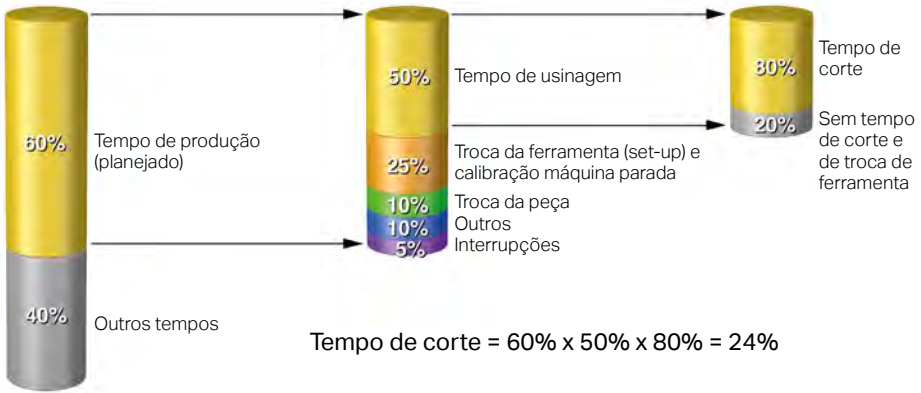
Métrico

$$Q = \frac{a_p \times a_e \times v_f}{1000}$$

Polegadas

$$Q = a_p \times a_e \times v_f$$

Tempo com valor agregado



Economia de usinagem



• Custos variáveis

Custos incorridos apenas durante a produção:

- ferramentas de corte, consumíveis (3%)
- material da peça (17%).

• Custos fixos

Custos existentes mesmo fora de produção:

- máquina e porta-ferramentas (27%)
- mão de obra (31%)
- instalações, administração, etc. (22%).

Utilização da máquina ferramenta

Custo, vida útil ou produtividade

O custo da ferramenta, um valor facilmente medido, é sempre menor que o preço ou a pressão por desconto, mas mesmo quando o preço é reduzido em 30% ele influencia apenas o custo do componente em 1%.

Temos um resultado semelhante de economia de custo de 1% quando a vida útil da ferramenta é aumentada em 50%.

O aumento dos dados de corte em apenas 20% reduzirá dramaticamente os custos de peça e permite um ganho de peça de 15%.

• Custo reduzido:

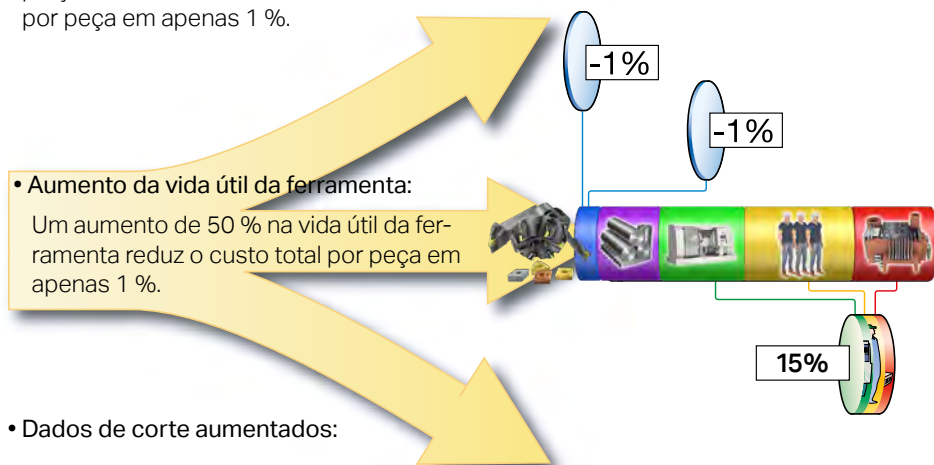
Uma redução de 30 % no preço reduz o custo total por peça em apenas 1 %.

• Aumento da vida útil da ferramenta:

Um aumento de 50 % na vida útil da ferramenta reduz o custo total por peça em apenas 1 %.

• Dados de corte aumentados:

20% de aumento nos dados de corte reduz o custo total por peça em mais de 15%.



Utilização da máquina ferramenta

Custo, vida útil ou produtividade

Exemplo:

A fábrica gasta \$10.000 para fazer 1000 peças.

O custo de usinagem é de \$10,00 por peça.



Variável	Hoje	Preço mais baixo	Vida útil da ferramenta	Aumentar os dados de corte
- Ferramenta	\$.30	\$.21	\$.20	\$.45
- Material	\$ 1.70	\$ 1.70	\$ 1.70	\$ 1.70
Fixo				
- Máquinas	\$ 2.70	\$ 2.70	\$ 2.70	\$ 2.16
- Mão de obra	\$ 3.10	\$ 3.10	\$ 3.10	\$ 2.48
- Instalações	\$ 2.20	\$ 2.20	\$ 2.20	\$ 1.76
Custo por peça	\$ 10.00	\$ 9.91	\$ 9.90	\$ 8.55

Economia

1%

1%

15%

Economia de usinagem

Dados de corte e custo

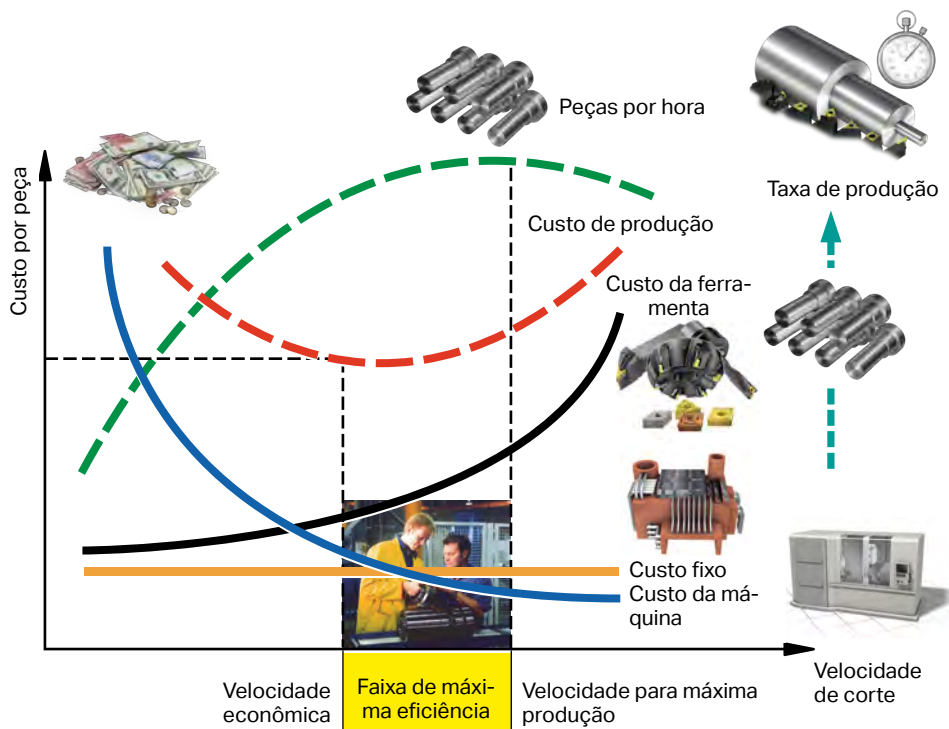
- A velocidade de corte não afeta os custos fixos.
- A medida que a velocidade de corte aumenta, mais peças são produzidas por hora e, desta forma, o custo por peça é reduzido.

- A medida que a velocidade de corte diminui, menos peças são produzidas e, com isto, o custo por peça aumenta. Se somarmos todos os custos, teremos uma curva do **Custo total de produção**.

1. A medida que a velocidade aumenta, as **Peças por hora** aumentam até chegar ao ponto onde gastamos um tempo desproporcional trocando ferramentas e a taxa de produção começará a diminuir.

2. O ponto mais baixo na **Curva de custo de produção** corresponde à velocidade de corte econômica.
3. O ponto mais alto na **Curva de custo de produção** corresponde à velocidade de corte máxima.

A velocidade entre estes dois pontos é a **Faixa de máxima eficiência**, que é a faixa onde devemos operar.



Base para as recomendações de dados de corte

Compensação da velocidade de corte para aumento da vida útil da ferramenta ou maior remoção de metal

Vida útil da ferramenta

- Todos os dados de corte recomendados baseiam-se em 15 minutos da vida útil da ferramenta.
- Observando o quadro abaixo, 15 min de vida útil da ferramenta equivale a um fator de 1,0.
- Multiplique o fator para os minutos desejados pela velocidade de corte recomendada.

Aumento da vida útil da ferramenta (exemplo)

- Nossos dados de corte recomendados são 225 m/min (738 pés/min).
- Para aumentar a vida útil da ferramenta em 30%, observamos o fator para 20 minutos da vida útil da ferramenta = 0,93.
- Multiplique o fator para os minutos desejados pela velocidade de corte recomendada.
- $225 \text{ m/min} \times 0,93 = 209 \text{ m/min}$ (738 pés/min $\times 0,93 = 686$ pés/min).

Vida útil da ferramenta, (min)	10	15	20	25	30	45	60
Fator de correção	1.11	1.0	0.93	0.88	0.84	0.75	0.70

Taxa de remoção de metal mais alta

- Os dados de corte recomendados baseiam-se em 15 minutos da vida útil da ferramenta.
- Para obter taxa de remoção de metal mais altas, faríamos o movimento no sentido contrário no quadro. Diminuição em minutos da vida útil da ferramenta para ganhar em alta remoção de metal.
- Multiplique o fator para os minutos desejados pela velocidade de corte recomendada.

Taxa de remoção de metal mais alta (exemplo)

- Os dados de corte recomendados são 225 m/min (738 pés/min).
- Para aumentar a remoção de metal em 10%, observamos o fator para 10 minutos = 1,11.
- Multiplique o fator para os minutos desejados pela velocidade de corte recomendada.
- $225 \text{ m/min} \times 1,11 = 250 \text{ m/min}$ (738 pés/min $\times 1,11 = 819$ pés/min).

Compensação dos dados de corte pela diferença na dureza do material

Dureza

- As recomendações de velocidade de corte baseiam-se na referência de material e suas respectivas durezas.
- A dureza do material é medida na escala de Dureza Brinell (HB) ou Dureza Rockwell "C" (HRC), por exemplo: ISO/ANSI P = 180 HB, ISO/ANSI H = 60 HRC.
- A coluna dureza (HB) é a base da dureza para cada grupo de material e as velocidades de corte são recomendadas para esta dureza de base (observação: seu material pode ser mais duro/mais macio).
- Cada grupo de material ISO/ANSI é associado a um fator de multiplicação para aumento ou redução da dureza do material (exemplo ISO/ANSI P = 180 HB e tem um fator de 1,0).
- Use o quadro abaixo para os fatores de correção e multiplique a velocidade de corte recomendada para a classe da pastilha escolhida.

ISO/ ANSI	MC(1)	HB(2)	Dureza reduzida			0	Dureza aumentada				
			-60	-40	-20		+20	+40	+60	+80	+100
P	P2	HB 180	1.44	1.25	1.11	1.0	0.91	0.84	0.77	0.72	0.67
M	M1	HB 180	1.42	1.24	1.11	1.0	0.91	0.84	0.78	0.73	0.68
K	K2	HB 220	1.21	1.13	1.06	1.0	0.95	0.90	0.86	0.82	0.79
	K3	HB 250	1.33	1.21	1.09	1.0	0.91	0.84	0.75	0.70	0.65
N	N1	HB 75			1.05	1.0	0.95				
S	S2	HB 350			1.12	1.0	0.89				
H	H1	HRC(3) 60			1.07	1.0	0.97				

1) MC = código de classificação do material

2) HB = Dureza Brinell

3) HRC = Dureza Rockwell

Exemplo de tabela de conversão para a escala de dureza

As especificações de material podem ser dadas em formas diferentes, por exemplo: HB, HRC, resistência à tensão ou forças de corte específicas.

Resistência à tensão		Vickers	Brinell	Rockwell	
N/mm ²	lbs/pol ²	HV	HB	HRC	HRB
255	36,975	80	76.0	–	–
270	39,150	85	80.7	–	41.0
285	41,325	90	85.5	–	48.0
305	44,225	95	90.2	–	52.0
320	46,400	100	95.0	–	56.2
350	50,750	110	105	–	62.3
385	55,825	120	114	–	66.7
415	60,175	130	124	–	71.2
450	65,250	140	133	–	75.0
480	69,600	150	143	–	78.7
510	73,950	160	152	–	81.7
545	79,025	170	162	–	85.0
575	83,375	180	171	–	87.5
610	88,450	190	181	–	89.5
640	92,800	200	190	–	91.5
660	95,700	205	195	–	92.5
675	97,875	210	199	–	93.5
690	100,050	215	204	–	94.0
705	102,225	220	209	–	95.0
720	104,400	225	214	–	96.0
740	107,300	230	219	–	96.7
770	111,650	240	228	20.3	98.1
800	116,000	250	238	22.2	99.5
820	118,900	255	242	23.1	–
835	121,075	260	247	24.0	(101)
850	123,250	265	252	24.8	–
865	125,425	270	257	25.6	(102)
900	130,500	280	266	27.1	–
930	134,850	290	276	28.5	(105)
950	137,750	295	280	29.2	–
965	139,925	300	285	29.8	–
995	144,275	310	295	31.0	–

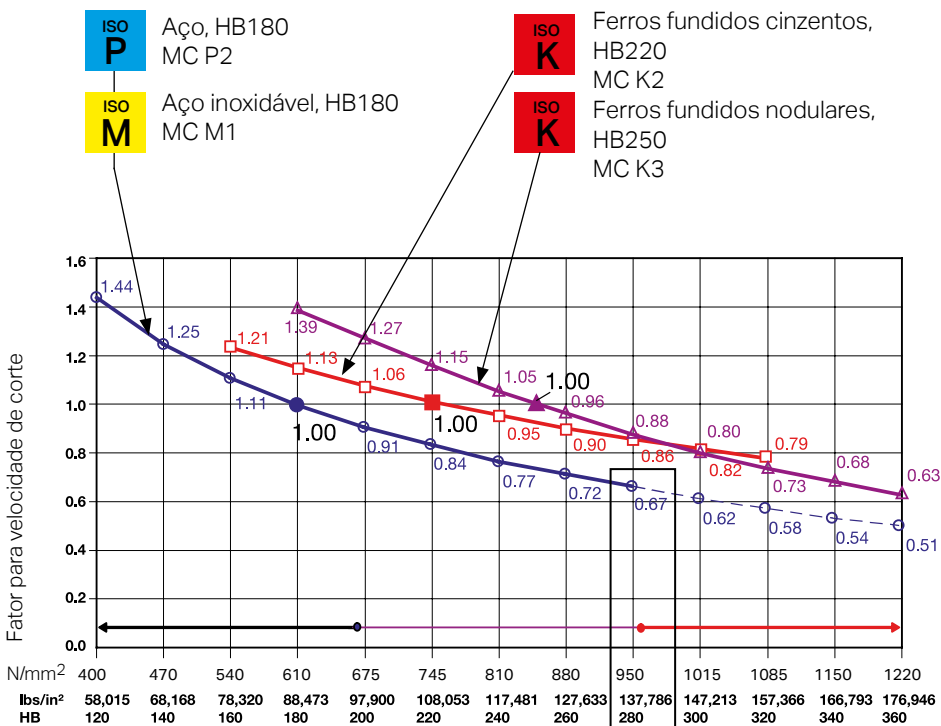
Material da peça do cliente
(corresponda às informações
no quadro)

Resistência à tensão = 950 N/
mm² (137,750 lbs/pol.2)

HB = 280, HRC = 29,2

Exemplo de tabela de conversão para encontrar o fator de dureza

Forma de diagrama para P, M e K



Forças de corte específicas N/mm² (lbs/pol.2)

Dureza Brinell (HB)

Material da peça do cliente

Aço 4140

Resistência à tensão = 950 N/mm² (137,786 lbs/pol.2)

HB = 280, HRC = 29,2

Cálculo do fator de dureza = 0,67

Compensação dos dados de corte pela diferença na dureza do material

Exemplo:

- Os dados de corte recomendados são de 415 m/min (1360 pés/min) para material Aço P 180 HB.
- Material da peça do cliente = 280 HB material aço P.
- Cálculo do fator de dureza, Material do cliente = 280 HB – Referência de material 180 HB = +100 HB de aumento na dureza (fator = 0,67).
- Use o fator para recalcular a velocidade de corte para a dureza de material de 415 m/min x 0,67 = 278 m/min (1360 pés/min x 0,67 = 911 pés/min).

ISO/ ANSI	MC(1)	HB(2)	Dureza reduzida				Dureza aumentada				
			-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+80	+100
P	P2	HB 180	1.44	1.25	1.11	1.0	0.91	0.84	0.77	0.72	0.67
M	M1	HB 180	1.42	1.24	1.11	1.0	0.91	0.84	0.78	0.73	0.68
K	K2	HB 220	1.21	1.13	1.06	1.0	0.95	0.90	0.86	0.82	0.79
	K3	HB 250	1.33	1.21	1.09	1.0	0.91	0.84	0.75	0.70	0.65
N	N1	HB 75			1.05	1.0	0.95				
S	S2	HB 350			1.12	1.0	0.89				
H	H1	HRC(3) 60			1.07	1.0	0.97				

1) MC = código de classificação do material

2) HB = Dureza Brinell

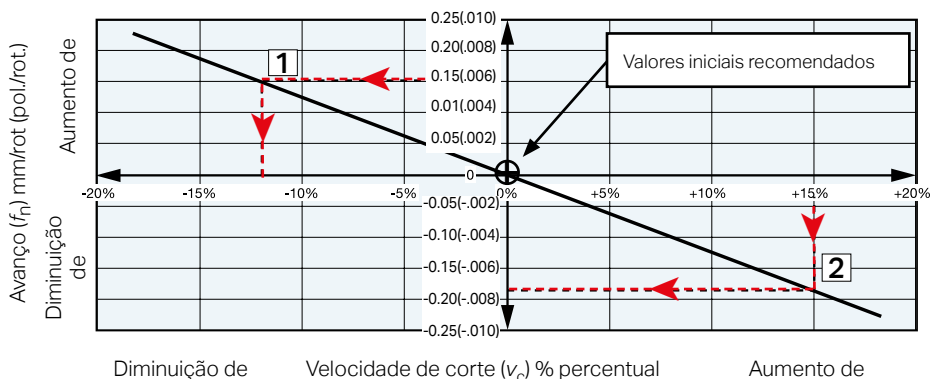
3) HRC = Dureza Rockwell

Compensação da velocidade de corte e dados de avanço para torneamento

Como usar o diagrama

Este diagrama mostra um método simples para ajuste dos valores recomendados de velocidade de corte e de avanço. os valores obtidos neste diagrama.

Os dados de corte recomendados para pastilhas, que baseiam-se em 15 minutos da vida útil da ferramenta (em tempo de corte), bem como a condição para a formação de cavacos, permanecerá com



Exemplo 1: Aumento da produtividade

- Aumente a taxa de avanço em 0,15 (0,006") para obter um novo valor inicial de 0,45 mm/r (0,018 pol/r).
- Calcule a nova velocidade de corte de -12% a partir do diagrama, pela correlação entre avanço com a linha de Valor inicial e o eixo da velocidade de corte.
- Novos dados de corte = 0,45 mm/r (0,018 pol/r) e $415 \times 0,88 = 365$ m/min (1360 x 0,88 = 1197 pés/min) Remoção de metal +30%.

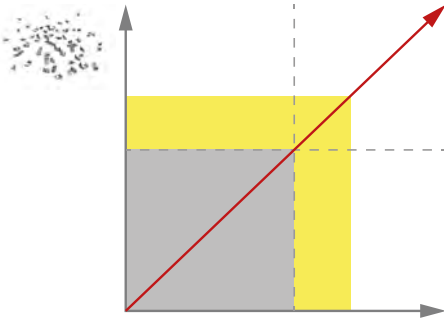
Exemplo 2: Melhor acabamento superficial

- Aumento da velocidade de corte em 15% para obter um novo valor inicial de 477 m/min (1564 pés/min).
- Calcule a nova velocidade de corte de -0,175 (-0,0075") a partir do diagrama, pela correlação entre velocidade, com a linha de Valor inicial e o eixo de avanço.
- Novos dados de corte = 477 m/min (1564 pés/min) e $0,3 - 0,175 = 0,125$ mm/r (0,012" - 0,0075" = 0,0045 pol/r) melhoria do acabamento superficial.

\oplus Valores iniciais recomendados

CNMG 12 04 08-PM
(CNMG 432 - PM)
Classe P15
3 mm (0,118") - Profundidade do corte
0,3 mm/r (0,012 pol/r) - Faixa de avanço
415 m/min (1360 pés/min) - Velocidade de corte

Como você pode melhorar a produtividade?

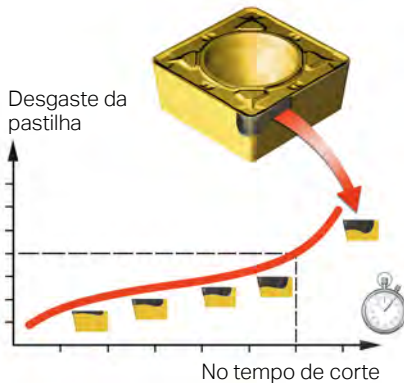


Aspectos a considerar

- Identifique a dureza do material HB, as forças de corte específicas ou a resistência à tensão N/mm² (lbs/pol.2).
- Escolha a geometria correta.
- Escolha a classe correta.
- Use os valores de dados de corte informados, compense o fator de dureza de material.
- Crie um ambiente estável para a peça e as ferramentas.



Dicas de usinagem para a melhoria da vida útil da ferramenta



- Identifique a dureza do material HB, as forças de corte específicas ou a resistência à tensão N/mm² (lbs/pol.2).
- Use os valores de dados de corte informados, compense o fator de dureza de material.
- Crie um ambiente estável para a peça e as ferramentas.
- Escolha a combinação correta do raio de ponta e da geometria.
- Use fresamento concordante ao invés do discordante, sempre que possível.
- Use todas as pontas da pastilha disponíveis
- Considere operações de chanfro com pastilhas gastas.

Boa estabilidade = Corte do material bem-sucedido

A

ISO 13399 - O padrão na indústria

Torneamento

B

Cortes e canais

C

Rosqueamento

D

Fresamento

F

Furação

T

Mandrilamento

G

Sistemas de
fixação

H

Usinabilidade
Outras informações



ISO 13399 O padrão na indústria

ISO 13399

H 79

H 78

ISO 13399 - O padrão na indústria

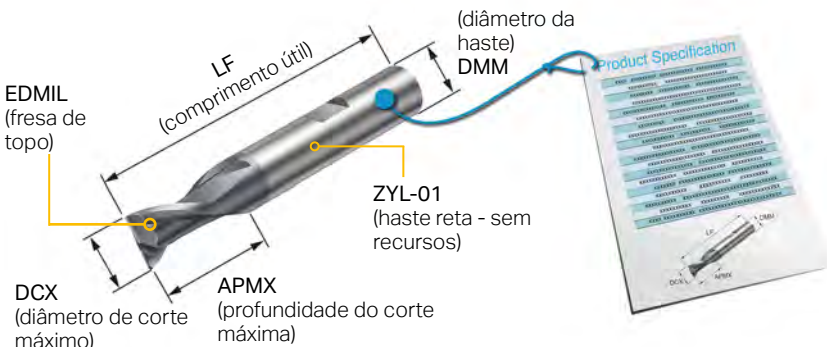
As variações na terminologia entre fornecedores de ferramentas de corte complicam a coleta e a troca de informações. Ao mesmo tempo, cada vez mais, funcionalidades avançadas em sistemas de manufatura modernos, contam com o acesso a informações relevantes e precisam sobre os recursos de produção.



Do ponto de vista dos sistemas, uma linguagem comum é muito importante e facilita a vida dos usuários. ISO 13399 é o padrão internacional que simplifica a troca de dados para as ferramentas de corte e é uma forma globalmente reconhecida para a descrição dos dados da ferramenta de corte.

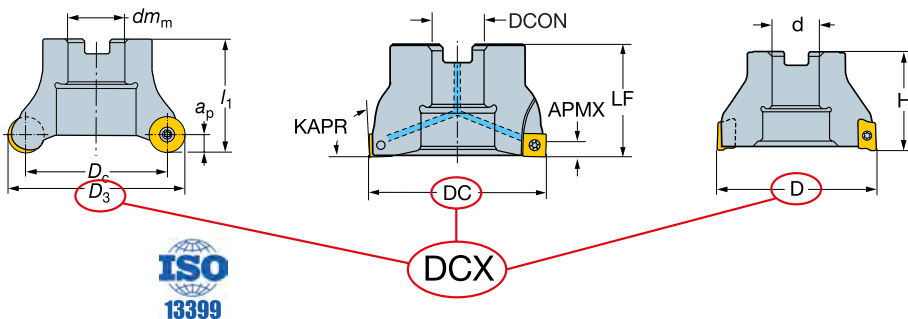
ISO 13399 - O que isso significa para a indústria

O padrão internacional define os atributos da ferramenta, por exemplo, comprimento útil, diâmetro de corte, profundidade do corte máxima de forma padronizada. Cada ferramenta é definida pelos parâmetros padronizados.



ISO 13399 - O que isso significa para a indústria

Quando a indústria compartilha os mesmos parâmetros e definições, a comunicação dos dados das ferramentas entre os sistemas de software torna-se muito mais simples. Na imagem você vê que três fornecedores diferentes pedem um diâmetro D3, DC e D respectivamente. Isto gera muita confusão para os programadores. Na norma ISO 13399, o diâmetro será sempre chamado de DCX.



Há uma lista completa de parâmetros em www.sandvik.coromant.com

Fórmulas e definições

Glossário de termos	H 82
Torneamento	H 84
Fresamento	H 86
Furação	H 88
Mandrillamento	H 90

Aprendizado online

Aprendizado online e informações do aplicativo	H 92
--	------

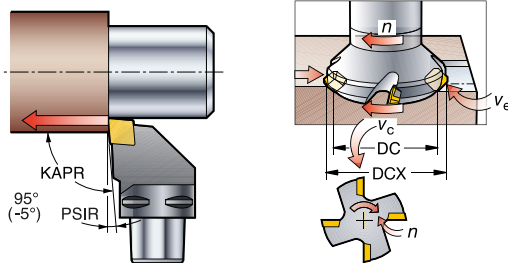
$$v_f = n \times f_z \times z_n$$

$$n = \frac{v_c \times 10^3}{\pi \times D_m}$$

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{10^3}$$

Glossário de termos

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{1000}$$



a_e (largura fresada) largura fresada da ferramenta de corte com a peça, medida na direção paralela até o plano Pfe (Movimento primário/ Direção de corte resultante) e perpendicular à direção do movimento de avanço. Medição em milímetros (mm) ou polegadas.

a_p (Profundidade de corte) largura de corte perpendicular à direção do movimento de avanço. Nota: Durante a furação, a profundidade de corte radial é representada por a_p , o mesmo símbolo usado para profundidade/largura de corte axial durante o fresamento. Medição em milímetros (mm) ou polegadas.

DC (Diâmetro de corte) diâmetro de um círculo criado por um ponto de referência de corte que gira ao redor do eixo de uma ferramenta rotativa. Nota: O diâmetro refere-se à superfície periférica usinada. Medição em milímetros (mm) ou polegadas.

D_{cap} (Diâmetro de corte na profundidade do corte) diâmetro na distância de a_p do plano Pfe pelo ponto PK, medido no plano base 1 (Bp1). Medição em milímetros (mm) ou polegadas.

D_m (diâmetro usinado) diâmetro usinado da peça. Medição em milímetros (mm) ou polegadas.

F_f (Força de avanço) componente da força total obtido pela projeção perpendicular na direção do movimento de avanço (ex. na direção do vetor v_f). A força de avanço para uma determinada largura fresada é medida em newton (N) e libra-força (lbf).

f_n (Avanço por rotação) O transporte da ferramenta na direção do movimento de avanço durante uma rotação da rotação da peça. Independente do número de arestas de corte efetivas na ferramenta. No caso de torneamento, a distância é medida quando a peça faz uma rotação completa. Medido em mm/rotação ou em polegadas/revolução.

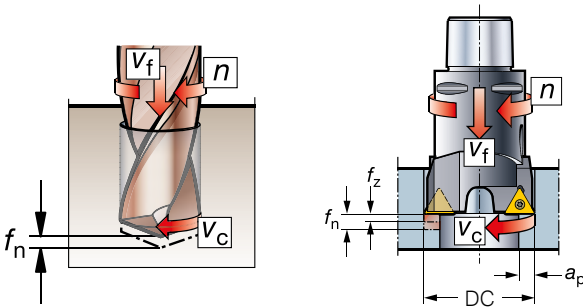
f_z (Avanço por dente) o transporte de uma aresta de corte efetiva (Z_c) na direção do movimento de avanço para o centro de rotação da ferramenta, que move-se através da peça à medida que a ferramenta faz uma rotação completa. No caso de torneamento, a distância é medida quando a peça faça uma rotação completa. Medida em mm/dente ou polegadas/dente.

h_{ex} (Espessura máxima do cavaco) é a espessura máxima do cavaco não deformado nos ângulos retos da aresta de corte e é influenciada pela largura fresada radial, pela preparação da aresta da pastilha e pelo avanço por dente. Entretanto, tenha em mente que as larguras radiais diferentes do corte e os ângulos de posição (ataque) diferentes exigem ajustes de faixa de avanço para manter a espessura de cavaco apropriada. Medição em milímetros (mm) ou polegadas.

h_m (Espessura média de cavacos) É a espessura média dos cavacos não deformados pelos ângulos da aresta de corte e que é influenciado pelo engajamento radial, preparação da aresta da pastilha e pelo avanço por dente. Tenha em mente no entanto, que diferentes ângulos de posição e larguras de corte, requerem ajustes nas taxas de avanços, para manter a espessura do cavaco adequada. Medida em milímetros ou polegadas.

KAPR (Ângulo de posição) O ângulo entre o plano da aresta de corte e o plano de avanço da ferramenta medido em um plano paralelo ao plano xy.

k_c (Força de corte específica) força de corte/ área para uma determinada espessura de cavaco na direção tangencial. (O coeficiente da força de corte específica para a combinação material e ferramenta) e é medida em newton/milímetros quadrados (N/mm²) e libras/polegada das quadradas (lbs/pol²).



$$P_c = \frac{V_c \times DC \times f_n \times k_c}{240 \times 10^3}$$

k_{c1} (Coeficiente de força de corte específica) força de corte/área para uma espessura de cavaco de 1 mm (0,0394") na direção tangencial. (Constante do material: coeficiente da força de corte específica. Tradicionalmente chamado de k_c 1,1) e é medido em newton/milímetros quadrados (N/mm²) e libras/polegadas quadradas (lbs/pol²).

l_m (Comprimento usinado) comprimento de corte da largura fresada em todos os passes. Medição em milímetros (mm) ou polegadas.

M_c (Aumento na força de corte específica) aumento na força específica como uma função da espessura de cavaco reduzida. Pode ser encontrado nas propriedades do material de trabalho a partir das tabelas de dados de corte e é medido como uma relação. Também está associado ao coeficiente da força de corte específica (k_{c1}).

n (Velocidade do fuso) frequência da rotação do fuso. Medido em revoluções/minuto (rpm).

P_c (Potência de corte) potência de corte gerada pela remoção dos cavacos. Medida em quilowatts (kW) e/ou potência (Hp)

PSIR (Ângulo de ataque) O ângulo entre o plano da aresta de corte e o plano perpendicular do plano de avanço da ferramenta, medido em um plano paralelo ao plano xy.

Q (Taxa de remoção de material) definida como o volume do material removido, dividido pelo tempo de usinagem. Outra maneira de definir Q é imaginar uma taxa de remoção de material "instantânea" como a taxa na qual a área da seção transversal do material sendo removido move-se pela peça de trabalho. Ele é medido em centímetros cúbicos/minuto (cm³/min) e polegadas cúbicas/minuto (pol³/min).

T_c (Tempo de corte total) período de tempo para a largura fresada do corte por todos os passes. Medido em minutos.

v_c (velocidade de corte) a velocidade instantânea do movimento de corte de um ponto selecionado na aresta de corte em relação à peça. Medida em metro/minuto ou pés/minuto na superfície.

v_f (Avanço da mesa/Taxa de penetração) a distância em milímetros ou polegadas, que uma ferramenta de corte se move pela peça em um minuto. Medido em mm/minuto ou pol/minuto.

γ_0 (ângulo de saída efetivo) A força específica é reduzida em um por cento para cada grau do ângulo de saída. Medido em graus.

Z_c (contagem da aresta de corte efetiva) número de arestas de corte que são efetivas na operação da ferramenta.

Z_n (contagem da pastilha montada) número de arestas de corte do item da ferramenta.

Fórmulas e definições para torneamento - MÉTRICA

Velocidade de corte, m/min

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{1000}$$

Velocidade do fuso, rpm

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_m}$$

Tempo de usinagem, min

$$T_c = \frac{l_m}{f_n \times n}$$

Taxa de remoção de metal, cm³/min

$$Q = v_c \times a_p \times f_n$$

Força de corte específica

$$k_c = k_{c1} \times \left(\frac{1}{h_m} \right)^{m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100} \right)$$

espessura média dos cavacos

$$h_m = f_n \times \sin \text{KAPR}$$

Potência líquida, kW

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3}$$



Símbolo	Designação/definição	Unidade
D_m	diâmetro usinado	mm
f_n	avanço por rotação	mm/r
a_p	Profundidade de corte	mm
v_c	Velocidade de corte	m/min
n	Velocidade do fuso	rpm
P_c	Potência líquida	kW
Q	Taxa de remoção de metal	cm ³ /min
h_m	espessura média dos cavacos	mm
h_{ex}	espessura máxima dos cavacos	mm
T_c	período de trabalho de corte	min
l_m	Comprimento usinado	mm
k_c	Força de corte específica	N/mm ²
KAPR	Ângulo de posição	grau
γ_0	Ângulo de saída efetivo	grau

Fórmulas e definições para torneamento - POLEGADA

Velocidade de corte, pés/min

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{12}$$

Velocidade do fuso, rpm

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times D_m}$$

Tempo de usinagem, min

$$T_c = \frac{l_m}{f_n \times n}$$

Taxa de remoção de metal, pol.³/min

$$Q = v_c \times a_p \times f_n \times 12$$

Força de corte específica

$$k_c = k_{c1} \times \left(\frac{0.0394}{h_m} \right)^{m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100} \right)$$

espessura média dos cavacos

$$h_m = f_n \times \sin \text{KAPR}$$

Potência líquida, HP

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{33 \times 10^3}$$



Símbolo	Designação/ definição	Unidade
D_m	diâmetro usinado	polegadas
f_n	avanço por rotação	pol./r
a_p	Profundidade de corte	polegadas
v_c	Velocidade de corte	pés/min
n	Velocidade do fuso	rpm
P_c	Potência líquida	HP
Q	Taxa de remoção de metal	pol. ³ /min
h_m	espessura média dos cavacos	polegadas
h_{ex}	espessura máxima dos cavacos	polegadas
T_c	período de trabalho de corte	min
l_m	Comprimento usinado	mm
k_c	Força de corte específica	lbs/pol ²
PSIR	Ângulo de ataque	grau
γ_0	Ângulo de saída efetivo	grau

Fórmulas e definições para fresamento - MÉTRICA

Avanço da mesa, mm/min

$$v_f = f_z \times n \times Z_c$$

Velocidade de corte, m/min

$$v_c = \frac{\pi \times D_{\text{cap}} \times n}{1000}$$

Velocidade do fuso, r/min

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_{\text{cap}}}$$

Avanço por dente, mm

$$f_z = \frac{v_f}{n \times Z_c}$$

Avanço por rotação, mm/rot

$$f_n = \frac{v_f}{n}$$

Taxa de remoção de metal, cm³/min

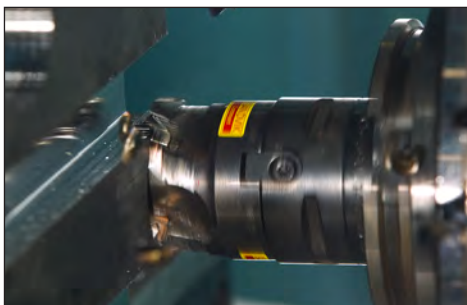
$$Q = \frac{a_p \times a_e \times v_f}{1000}$$

Potência líquida, kW

$$P_c = \frac{a_e \times a_p \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$

Torque Nm

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$$



Símbolo	Designação/ definição	Unidade
a_e	largura fresada	mm
a_p	Profundidade de corte	mm
D_{cap}	Diâmetro de corte na profundidade de corte a_p	mm
DC	Diâmetro da fresa	mm
f_z	Avanço por dente	mm
f_n	avanço por rotação	mm/r
n	Velocidade do fuso	rpm
v_c	Velocidade de corte	m/min
v_f	Avanço da mesa	mm/min
Z_c	Número efetivo de dentes	pçs
h_{ex}	espessura máxima dos cavacos	mm
h_m	espessura média dos cavacos	mm
k_c	Força de corte específica	N/mm ²
P_c	Potência líquida	kW
M_c	Torque	Nm
Q	Taxa de remoção de metal	cm ³ /min
KAPR	Ângulo de posição	grau

Força de corte específica

$$k_c = k_{c1} \times \left(\frac{1}{h_m} \right)^{m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_o}{100} \right)$$

Fórmulas e definições para fresamento - POLEGADA

Avanço da mesa, pol./min

$$v_f = f_z \times n \times z_c$$

Velocidade de corte, pés/min

$$v_c = \frac{\pi \times D_{\text{cap}} \times n}{12}$$

Velocidade do fuso, rpm

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times D_{\text{cap}}}$$

Avanço por dente, polegada

$$f_z = \frac{v_f}{n \times z_c}$$

Avanço por rotação, pol./rot

$$f_n = \frac{v_f}{n}$$

Taxa de remoção de metal, pol.³/min

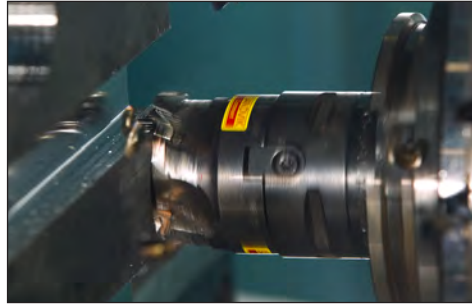
$$Q = a_p \times a_e \times v_f$$

Potência líquida, HP

$$P_c = \frac{a_e \times a_p \times v_f \times k_c}{396 \times 10^3}$$

Torque, lbf-pés

$$M_c = \frac{P_c \times 16501}{\pi \times n}$$



Símbolo	Designação/ definição	Unidade
a_e	largura fresada	polegadas
a_p	Profundidade de corte	polegadas
D_{cap}	Diâmetro de corte na profundidade de corte a_p	polegadas
DC	Diâmetro da fresa	pol.
f_z	Avanço por dente	pol.
f_n	avanço por rotação	polegadas
n	Velocidade do fuso	rpm
v_c	Velocidade de corte	pés/min
v_f	Avanço da mesa	pol./min
z_c	Número efetivo de dentes	pçs
h_{ex}	espessura máxima dos cavacos	polegadas
h_m	espessura média dos cavacos	polegadas
k_c	Força de corte específica	lbs/pol ²
P_c	Potência líquida	HP
M_c	Torque	lbf-pés
Q	Taxa de remoção de metal	pol. ³ /min
PSIR	Ângulo de ataque	grau

Força de corte específica

$$k_c = k_{c1} \times \left(\frac{0,039}{h_m} \right)^{m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_o}{100} \right)$$

Fórmulas e definições para furação - MÉTRICO

Taxa de penetração, mm/min

$$v_f = f_n \times n$$

Velocidade de corte, m/min

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{1000}$$

Velocidade do fuso, r/min

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times DC}$$

Força de avanço, N

$$F_f \approx 0,5 \times k_c \times \frac{DC}{2} \times f_n \times \sin KAPR$$

Taxa de remoção de metal, cm³/min

$$Q = \frac{v_c \times DC \times f_n}{4}$$

Potência líquida, kW

$$P_c = \frac{v_c \times DC \times f_n \times k_c}{240 \times 10^3}$$

Torque Nm

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$$



Símbolo	Designação/ definição	Unidade
DC	Diâmetro da broca	mm
f_n	avanço por rotação	mm/r
n	Velocidade do fuso	rpm
v_c	Velocidade de corte	m/min
v_f	Taxa de penetração	mm/min
F_f	Força de avanço	N
k_c	Força de corte específica	N/mm ²
M_c	Torque	Nm
P_c	Potência líquida	kW
Q	Taxa de remoção de metal	cm ³ /min
KAPR	Ângulo de posição	grau

Fórmulas e definições para furação - POLEGADA

Taxa de penetração, pol./min

$$v_f = f_n \times n$$

Velocidade de corte, pés/min

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{12}$$

Velocidade do fuso, rpm

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times DC}$$

Força de avanço, N

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times \frac{DC}{2} \times f_n \times \sin \text{PSIR}$$

Nota: DC precisa ser convertido em milímetrosTaxa de remoção de metal, pol.³/min

$$Q = v_c \times DC \times f_n \times 3$$

Potência líquida, HP

$$P_c = \frac{v_c \times DC \times f_n \times k_c}{132 \times 10^3}$$

Torque, lbf-pés

$$M_c = \frac{P_c \times 16501}{\pi \times n}$$



Símbolo	Designação/ definição	Unidade
DC	Diâmetro da broca	polegadas
f_n	avanço por rotação	pol./r
n	Velocidade do fuso	rpm
v_c	Velocidade de corte	pés/min
v_f	Taxa de penetração	pol./min
F_f	Força de avanço	N
k_c	Força de corte específica	lbs/pol ²
M_c	Torque	lbf-pés
P_c	Potência líquida	HP
Q	Taxa de remoção de metal	pol. ³ /min
PSIR	Ângulo de ataque	grau

Fórmulas e definições para mandrilamento - MÉTRICA

Taxa de penetração, mm/min

$$v_f = f_n \times n$$

Velocidade de corte, m/min

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{1000}$$

Velocidade do fuso, r/min

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times DC}$$

Avanço por rotação, mm/r

$$f_n = z_c \times f_z$$

Taxa de remoção de metal, cm³/min

$$Q = \frac{v_c \times DC \times f_n}{4}$$

Potência líquida, kW

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3} \left(1 - \frac{a_p}{DC} \right)$$

Torque Nm

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$$

H 90



Símbolo	Designação/ definição	Unidade
DC	Diâmetro da broca	mm
f_n	avanço por rotação	mm/r
n	Velocidade do fuso	rpm
v_c	Velocidade de corte	m/min
v_f	Velocidade da mesa	mm/min
F_f	Força de avanço	N
k_c	Força de corte específica	N/mm ²
M_c	Torque	Nm
P_c	Potência líquida	kW
Q	Taxa de remoção de metal	cm ³ /min
KAPR	Ângulo de posição	grau
z_c	Número efetivo de dentes ($z_c = 1$ para mandrilamento escalonado)	pçs

Força de avanço, N

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times a_p \times f_n \times \sin KAPR$$

Fórmulas e definições para mandrilamento - POLEGADA

Taxa de penetração, pol./min

$$v_f = f_n \times n$$

Velocidade de corte, pés/min

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{12}$$

Velocidade do fuso, rpm

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times DC}$$

Avanço por rotação, pol./rot

$$f_n = z_c \times f_z$$

Taxa de remoção de metal, pol.³/min

$$Q = v_c \times DC \times f_n \times 3$$

Potência líquida, HP

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{132 \times 10^3} \left(1 - \frac{a_p}{DC} \right)$$

Torque, lbf-pés

$$M_c = \frac{P_c \times 16501}{\pi \times n}$$



Símbolo	Designação/ definição	Unidade
DC	Diâmetro da broca	polegadas
f_n	avanço por rotação	pol./r
n	Velocidade do fuso	rpm
v_c	Velocidade de corte	pés/min
v_f	Velocidade da mesa	pol./min
F_f	Força de avanço	N
k_c	Força de corte específica	lbs/pol ²
M_c	Torque	lbf-pés
P_c	Potência líquida	HP
Q	Taxa de remoção de metal	pol. ³ /min
PSIR	Ângulo de ataque	grau
z_c	Número efetivo de dentes ($z_c = 1$ para mandrilamento escalonado)	pés

Força de avanço, N

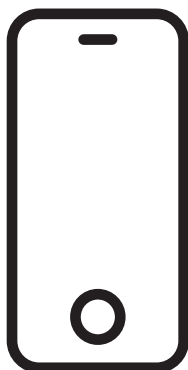
$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times a_p \times f_n \times \sin \text{KAPR}$$

Treinamento online de nível universitário

O aprendizado online sobre Tecnologia de usinagem é o complemento ideal para a educação em sala de aula - ou a solução perfeita para desenvolver novas habilidades onde quer que você esteja. Aprenda os fundamentos da Tecnologia de usinagem através de 75 cursos extensivos, abrangendo a maioria das

áreas de aplicação de usinagem. Registre seu progresso e acompanhe suas conquistas à medida que você evolui.

Inscreva-se para o treinamento gratuito em metalcuttingknowledge.com.



Ajuda na palma de sua mão

O aprendizado da usinagem requer o pensamento de um engenheiro e é um suporte poderoso durante todo o tempo. A Sandvik Coromant fornece gratuitamente, várias calculadoras e aplicativos avançados e úteis para seus dispositivos móveis.

Encontre a ajuda que você precisa em sandvik.coromant.com/apps

Escritório central:
AB Sandvik Coromant
SE-811 81 Sandviken, Suécia
E-mail: info.coromant@sandvik.com
www.sandvik.coromant.com

C-2920:40 pt-BR © AB Sandvik Coromant 2017.11

