

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto e Fabricação

Estudo Sobre a Usinabilidade do Ferro Fundido Nodular GGG40

Aluno: José Marcelo Teles - 7274

Orientador: Profº João Roberto Ferreira

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

Objetivo

- Usinar ferro fundido nodular ferritizado com insertos de metal duro analisando a melhor cobertura e tipos de quebra cavaco.
- Verificar a influência do uso de óleo refrigerante na vida da ferramenta.
- Analisar a influência do ângulo de saída nos esforços de corte.
- Analisar a influência do Nióbio na usinabilidade do ferro fundido nodular.

Roteiro da dissertação

- Lista de figuras
- Lista de tabelas
- Lista de símbolos
- Resumo
- Abstract
- Introdução
- Objetivo
- **Capítulo 1 – Revisão bibliográfica**
- **Capítulo 2 – Procedimento experimental**
- **Capítulo 3 – Resultados e discussões**
- **Conclusões**
- Sugestões para trabalhos futuros
- Revisão bibliográfica

Capítulo 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 1.1 – Tipos de ferro fundido
- 1.2 – Usinabilidade dos ferros fundidos nodulares
- 1.3 – Materiais para ferramentas de corte
- 1.4 – Mecanismos de formação do cavaco
- 1.5 – Desgaste das ferramentas de corte
- 1.6 – Acabamento superficial
- 1.7 – Refrigeração

Capítulo 2 – Procedimento Experimental

2.1 – Materiais e ferramentas de corte

2.2 – Equipamento utilizados

2.3 – Metodologia

Capítulo 3 – Resultados e discussões

3.1 – Vida útil das ferramentas

3.2 – Desgaste das ferramentas

3.3 – Forças e potências de corte

3.4 – Interferência do fluido na vida da ferramenta

3.5 – Formas do cavaco



Capítulo 1

Revisão Bibliográfica

Definição: Ferro fundido

Definição: (Ferraresi-1990)

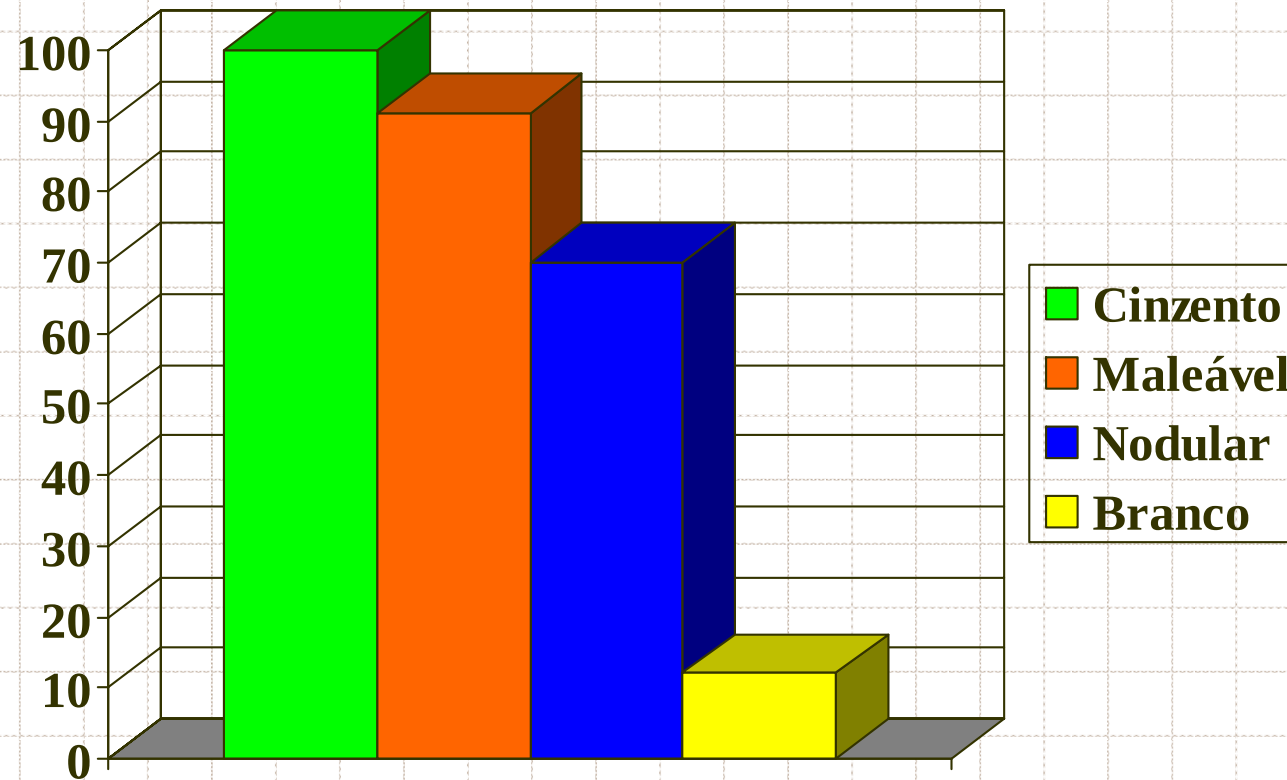
É uma liga ferro-carbono-silício, de teores de carbono geralmente acima de 2%, em quantidade superior à que pode ser retida em solução sólida na austenita, de modo a resultar carbono parcialmente livre, na forma de veios/lamelas ou glóbulos de grafita.

Usinabilidade dos ferros fundidos

É o grau de dificuldade de usinar um determinado material.

Os ferros fundidos apresentam boa usinabilidade, principalmente os cinzento e nodulares devido a forma e distribuição de seus constituintes (grafita na forma livre)

Usinabilidade dos diversos tipos de ferro fundido



Fonte: Iscar Ltd

Influência dos elementos de liga na Usinabilidade

- Carbono – determina a quantidade de grafita.
- Silício – Elemento grafitizante – melhora a usinabilidade.
- Manganês e Enxofre: Efeito lubrificante adicional proporcionado pelos sulfeto de manganês.
- Fósforo: Atua na estrutura do material formando com o ferro e o carbono, carboneto de ferro e fosfeto de ferro (steadita). A steadita é dura e quebradiça, influenciando de maneira prejudicial a usinabilidade.
- Outros elementos poder ser encontrados tais como: Alumínio, Antimônio, Boro, Cromo, Molibdênio, Níquel, Telúrio, Estanho, Titânio e Vanádio.
- **Nióbio**: Segundo Chiaverini (1990), este elemento reduz a profundidade da camada coquilhada.
A adição de nióbio até ou acima de 0,3% eleva as propriedades mecânicas.

Influência da microestrutura na usinabilidade dos ferros fundidos

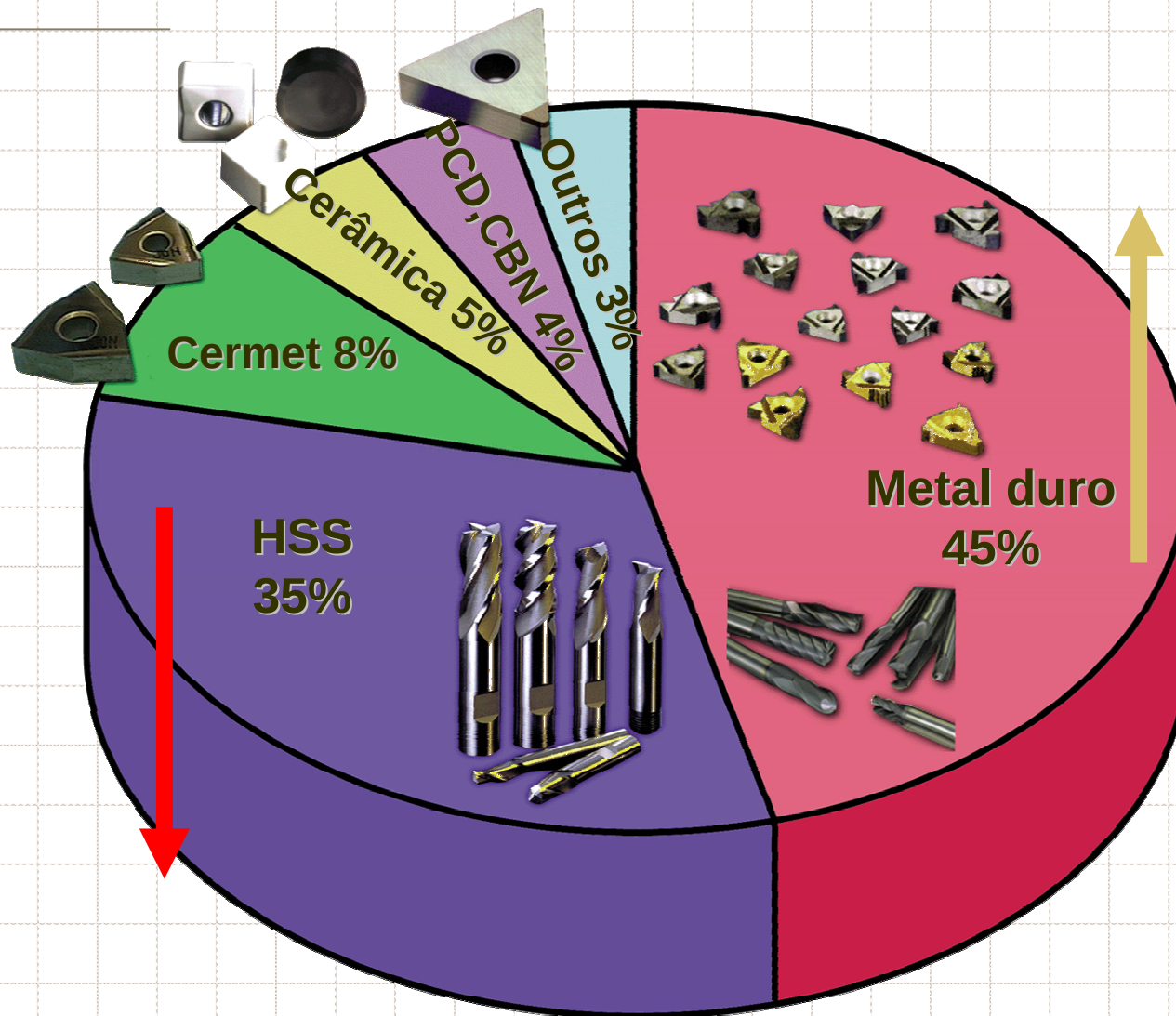
A usinabilidade dos ferros fundidos é diretamente afetada pela distribuição e proporção de seus diversos constituintes (grafita, ferrita, perlita, cementita, steadita e austenita)

Usinabilidade do ferro fundido nodular

Ferro fundido nodular apresenta uma boa usinabilidade. As principais variáveis que contribuem são:

- Microconstituintes – ferrita, perlita, **grafita** ...
- Elementos de liga – Melhoram a usinabilidade (Si, Ni, S, **Al**, **Cu**) – grafitizantes. Pioram a usinabilidade (Mn, Nb, **Cr**, **Co**, **Mo**, **W**) – formadores de carbonetos.
- Tratamento térmico.

Materiais para ferramentas de corte



Pastilha de Metal Duro

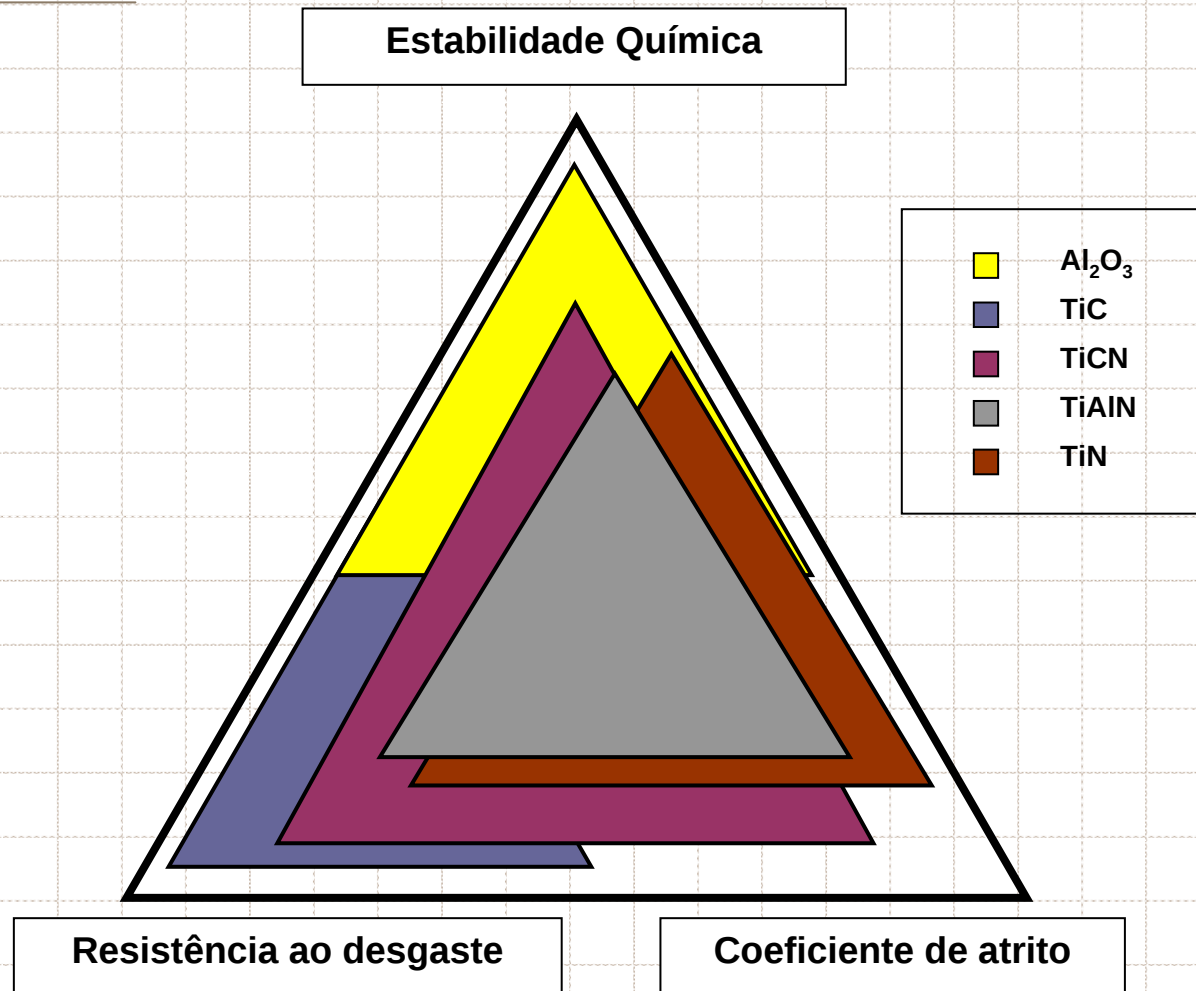
É um composto de pós metálicos que são prensados e sinterizados:

- Carboneto de Tungstênio
- Carboneto de Nióbio
- Carboneto de Titânio
- Carboneto de Tântalo
- Cobalto (elemento de liga – controla tenacidade)

Coberturas

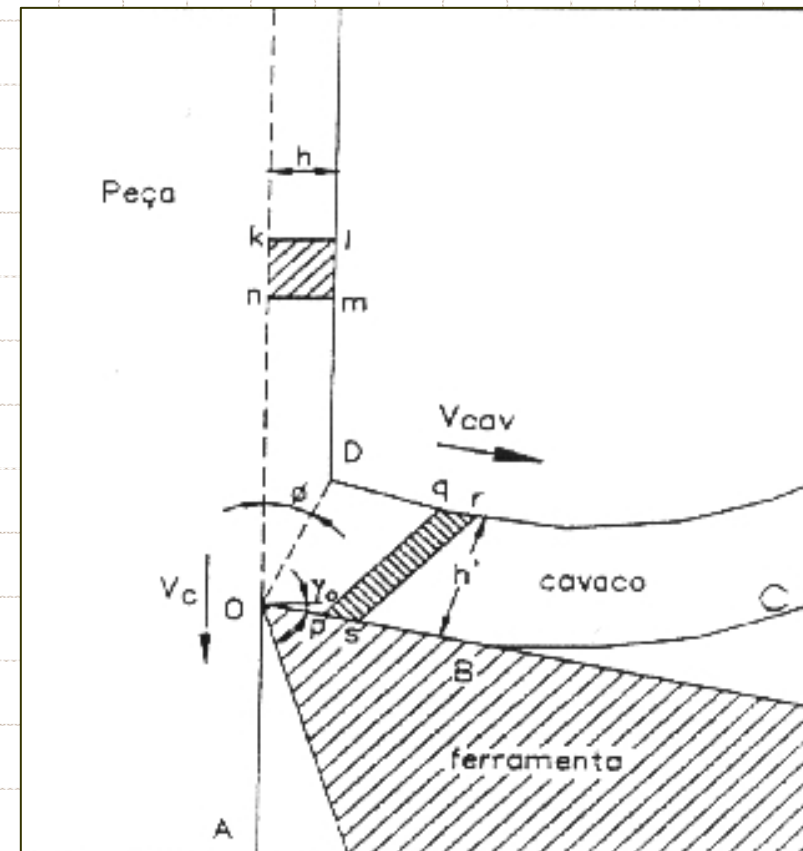
- Resistência ao desgaste
- Lubricidade
- Isolamento térmico
- Resistência ao ataque químico

Tipos de Cobertura



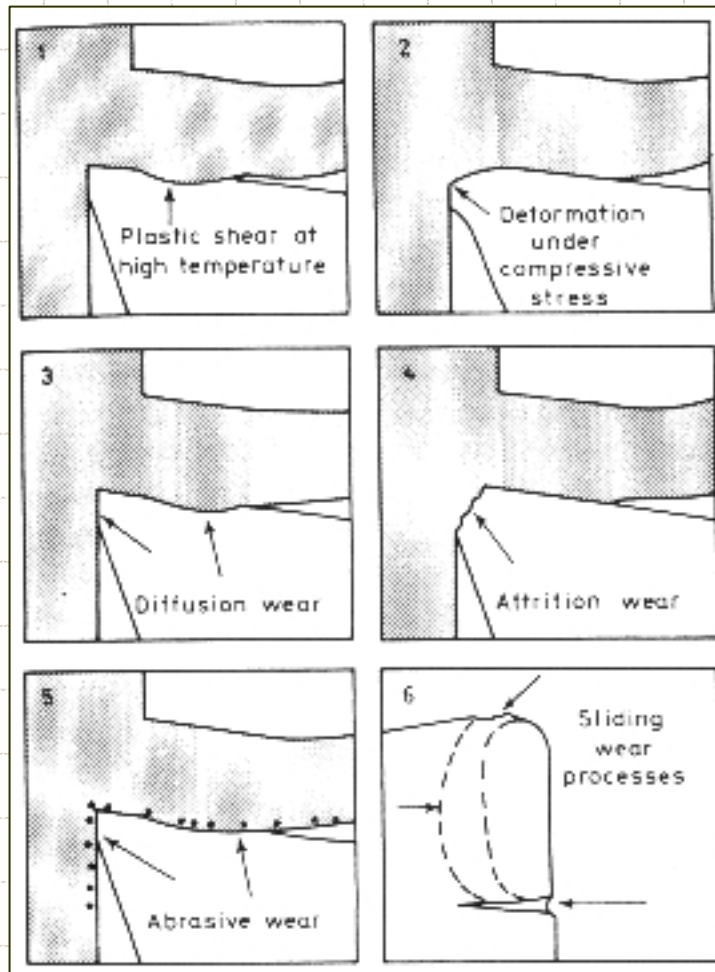
Mecanismo de formação do cavaco

Segundo Trent (1984) o mecanismo de formação do cavaco compreende quatro etapas: Recalque ou deformação elástica, deformação plástica, ruptura e movimento de saída do cavaco.



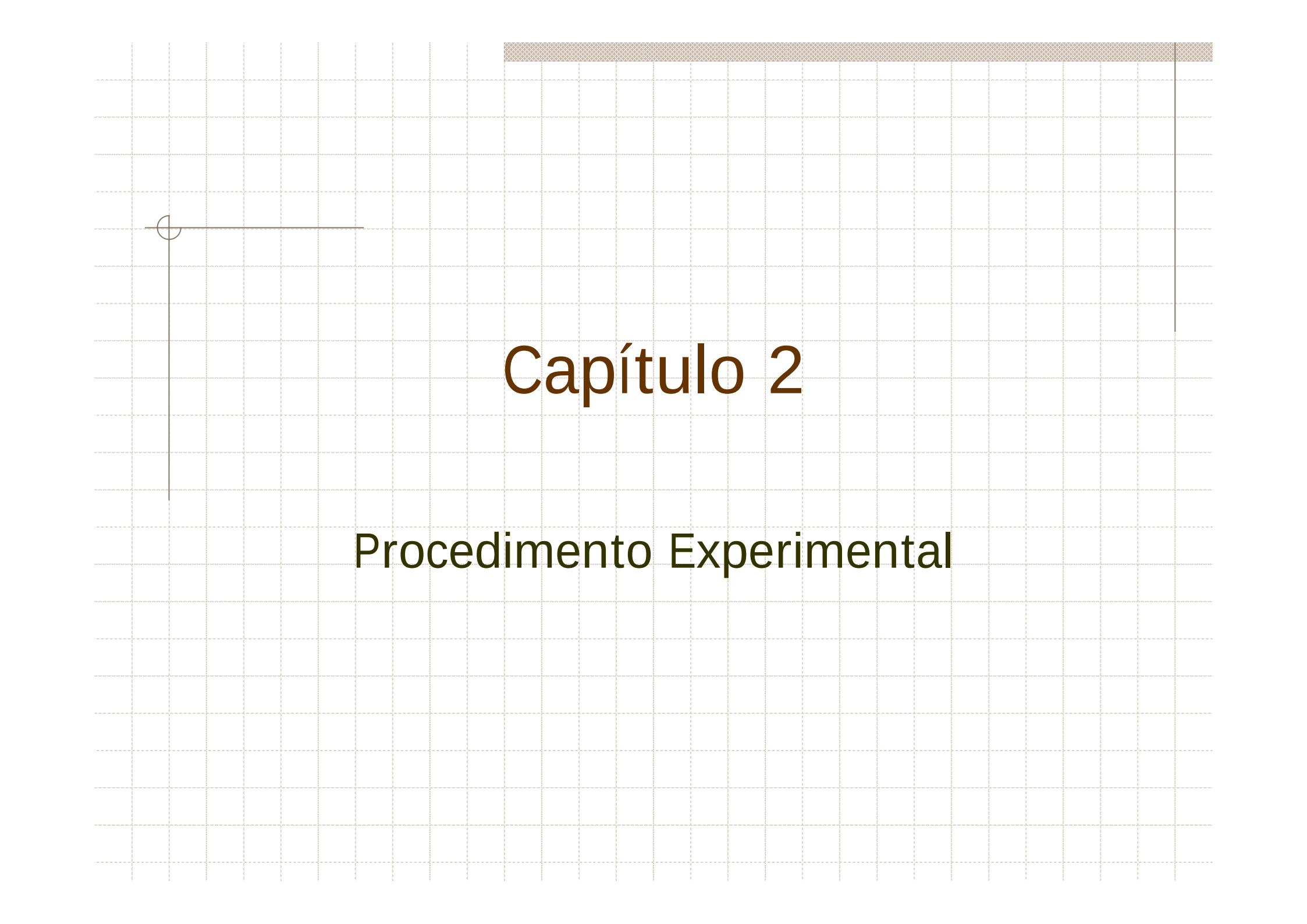
Mecanismo de formação do cavaco (Trent, 1984)

Desgaste das ferramentas de corte



- 1 - Cisalhamento plástico a altas temperaturas (craterização)
- 2 - Deformação sob tensão de compressão (deformação plástica)
- 3 - Difusão (transferência de átomos)
- 4 - Aderência e arrastamento (APC)
- 5 - Abrasão (perda de material por microsulcamento e microlascamento)
- 6 - Desgaste de entalhe (combinação de abrasão + difusão + aderência)
- 7 - Desgaste por oxidação

Fonte: Trent (1984)



Capítulo 2

Procedimiento Experimental

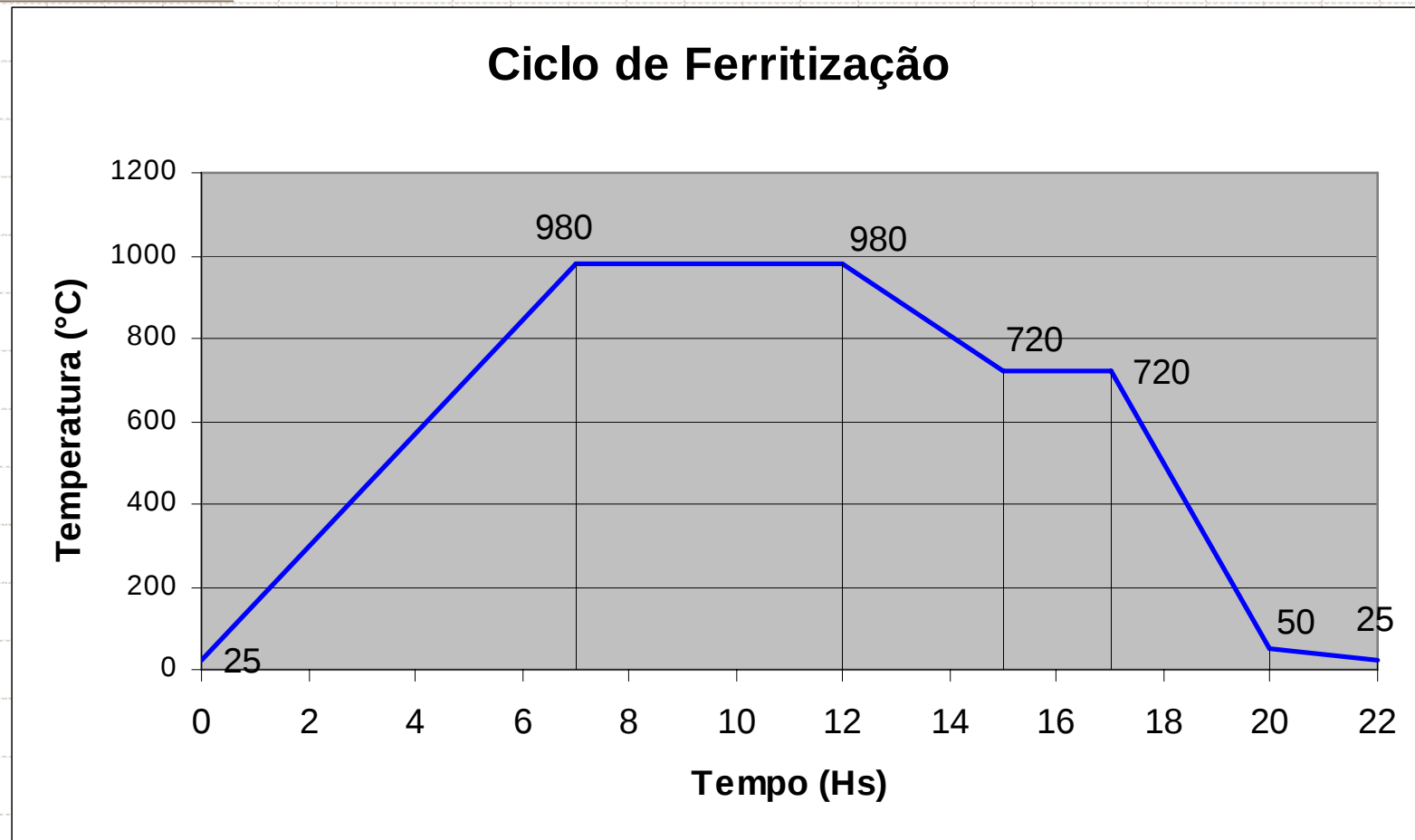
Composição química

C	Si	Mn	P	S	Ni	Mb	Mg	Nb
3,50– 4,10	2,40- 2,90	0,20- 0,80	0,15 max	0,03 max	0,70 max	0,30 max	0,02– 0,07	0,40- 0,60

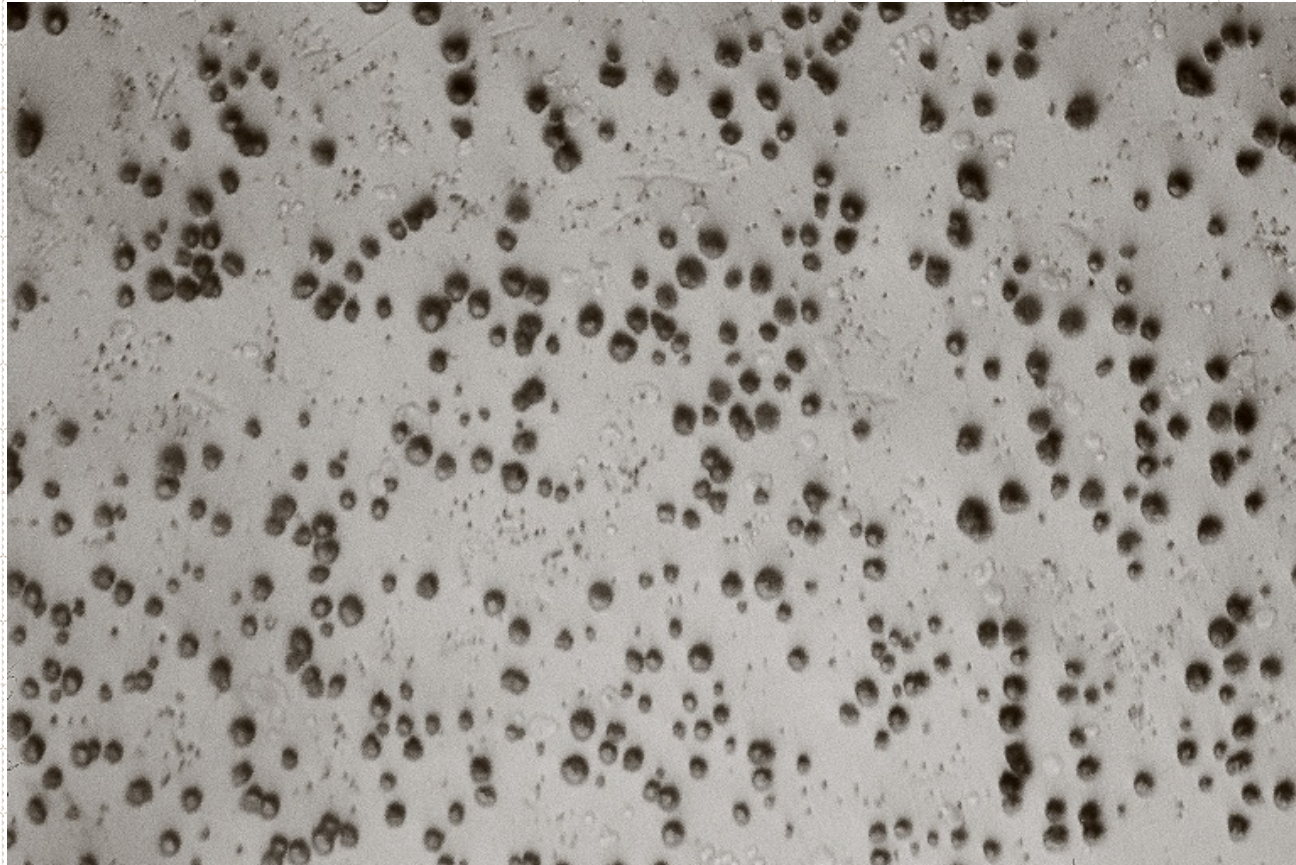
Ferro fundido nodular GGG40 obtido por fundição centrífuga.

Utiliza-se coquilha pré aquecida a 300 °C recoberta por sílica (SiO₂) a fim de evitar aderência do tubo centrifugado à coquilha.

Gráfico de ferritização do material



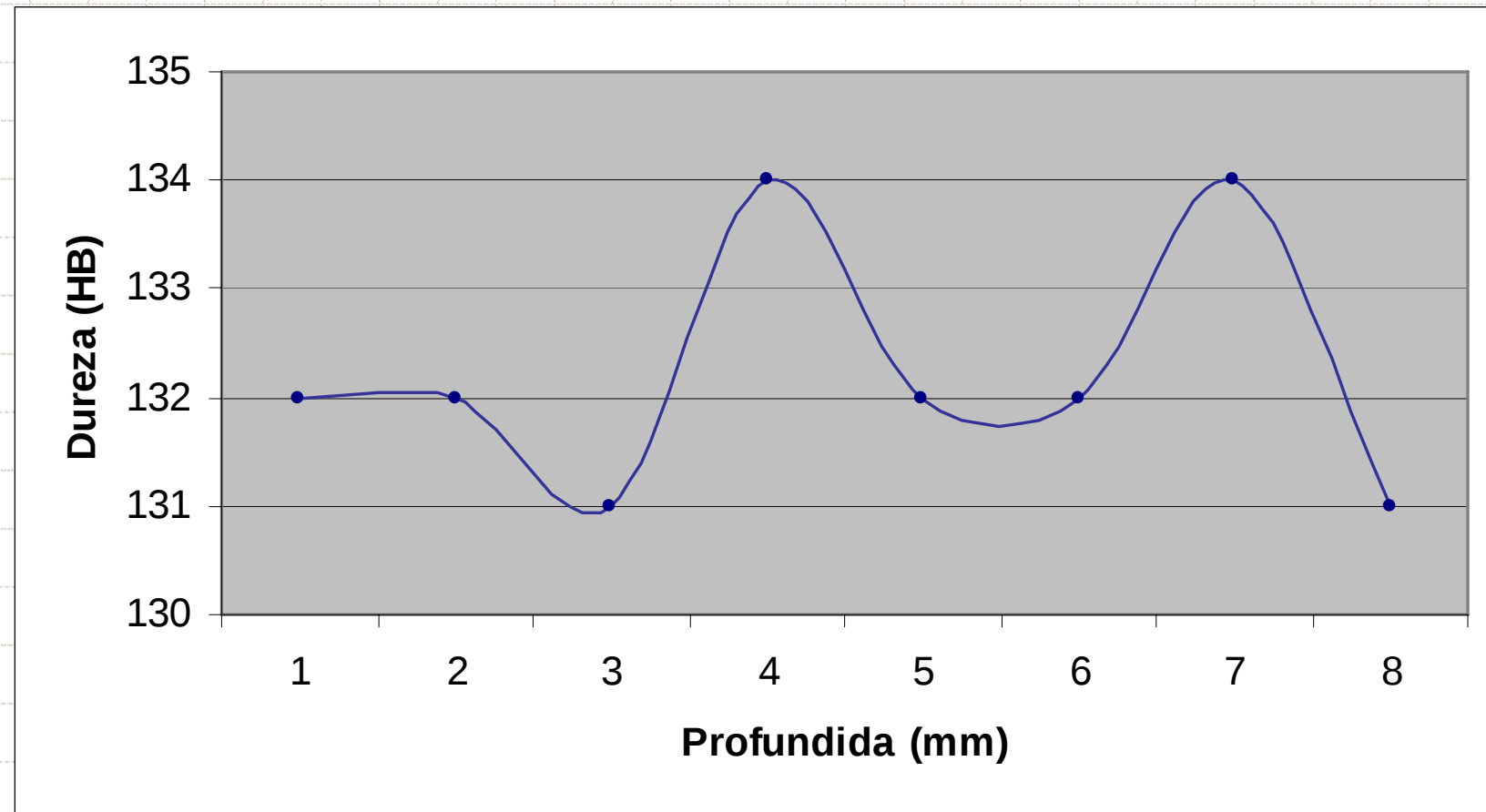
Microestrutura



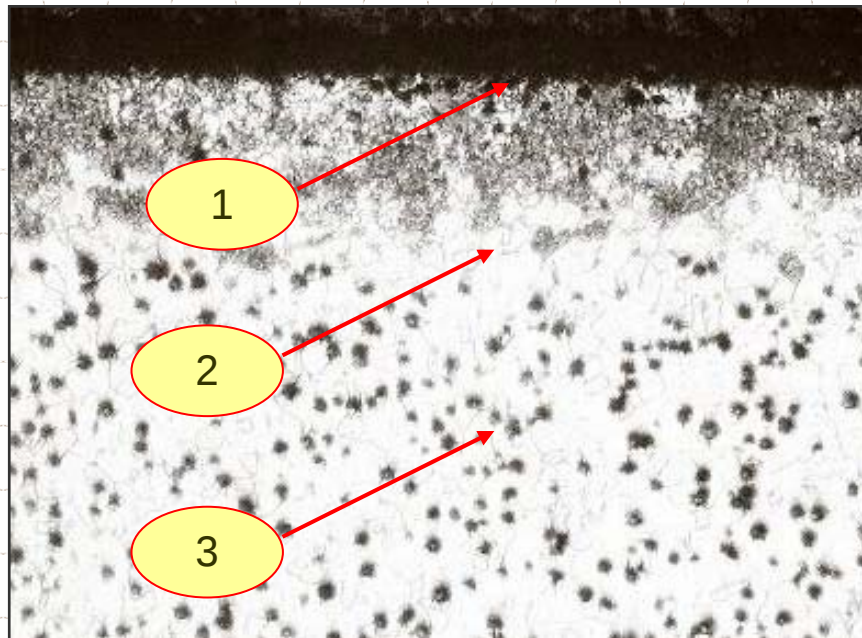
100 x – Sem ataque

Aspecto micrográfico do material. Ferrita e nódulos de grafita.

Dureza do material - Macro dureza



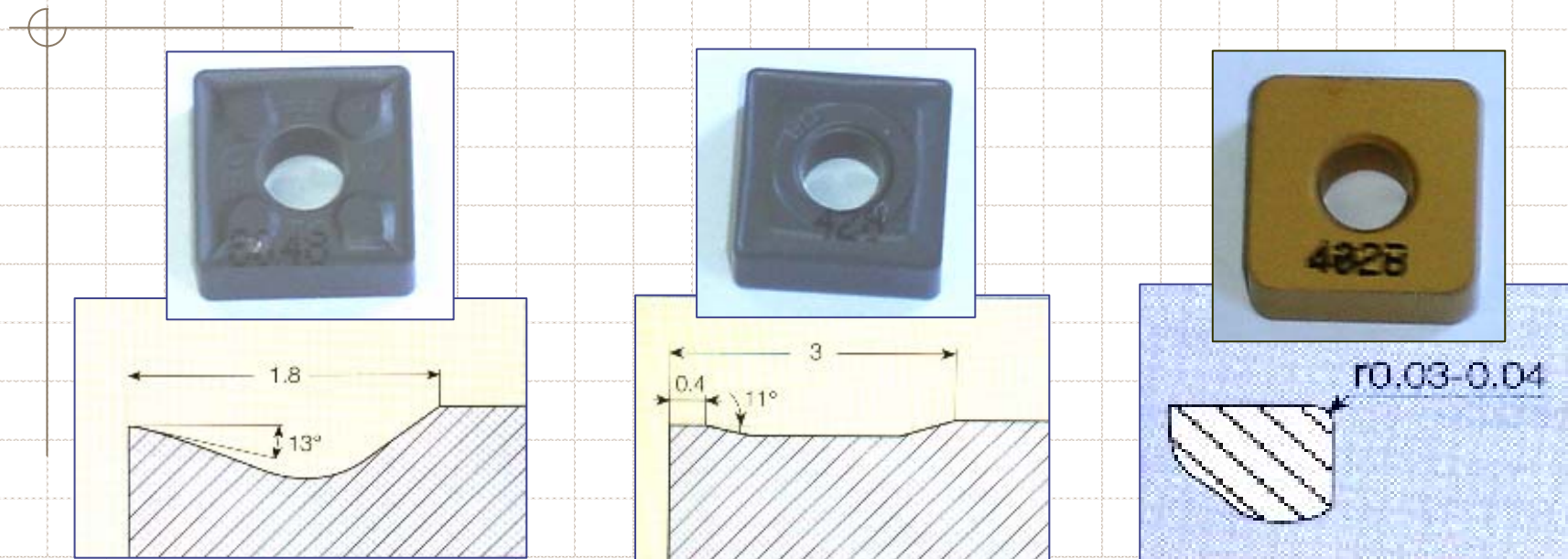
Microdureza



Aumento – 50 x

Interface (camada coquilhada) [1]	146 HV ₅
Região sem nódulos de grafita [2]	145 HV ₅
Ferrita (núcleo) [3]	145 HV ₅

Ferramentas de corte - Insertos



SNMG 120808-TF IC8048 TESTE 01	SNMG 120408 IC428 TESTE 02	SNMA 120416K IC4028 TESTE 03
K10	K05	K10
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃) Nitreto de Titânio (TiN) Carboneto de Titânio (TiC)	Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃) Carboneto de Titânio (TiC)	Nitreto de Titânio (TiN) Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃) Carbonitreto de Titânio (TiCN)

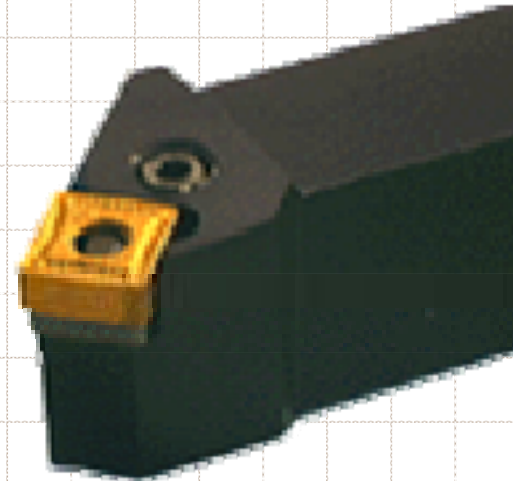
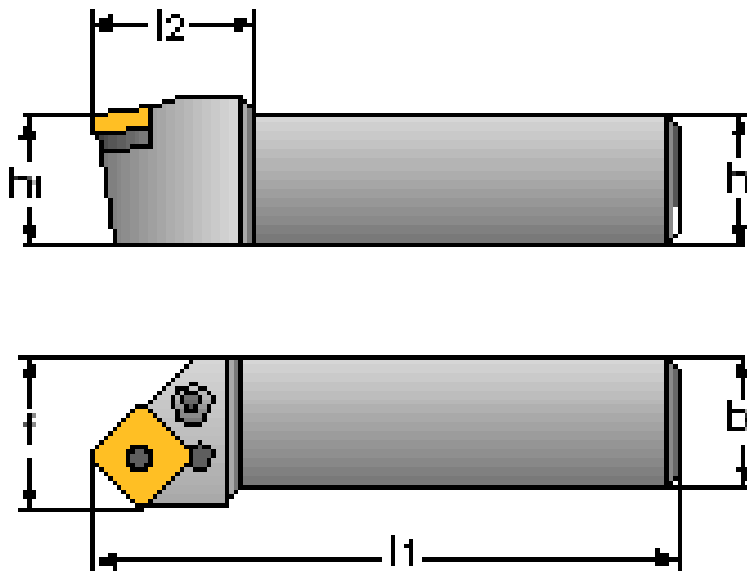
Dados de corte - Recomendados

	SNMG 120408-TF IC8048	SNMG 120408 IC428	SNMG 120416K IC4028
Vc (m/min)	120 – 160	140 – 300	140 – 250
f (mm/volta)	0,20 – 0,50	Max 0,50	Max 0,50
ap (mm)	1,0 – 4,0	1,0 – 5,0	1,0 – 5,0

Fonte: Iscar Ltd (2004)

Porta ferramenta

Suporte: PSSNR 2020 K12



h	h_1	b	l_1	l_2	f	Ga°	Gr°	R/L
20.0	20.0	20.0	125.00	29.0	25.0	-5.5	-5.5	R

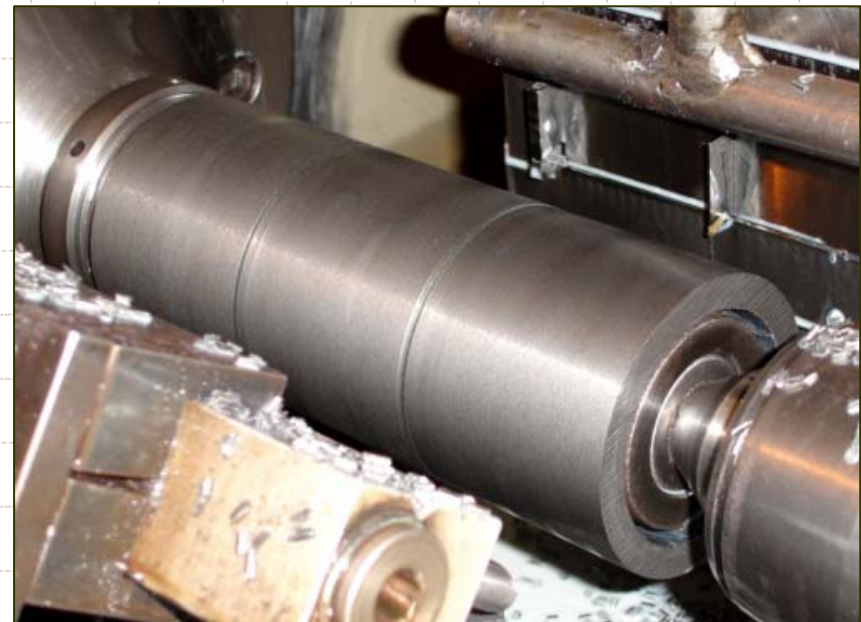
Camisa bruta e usinada



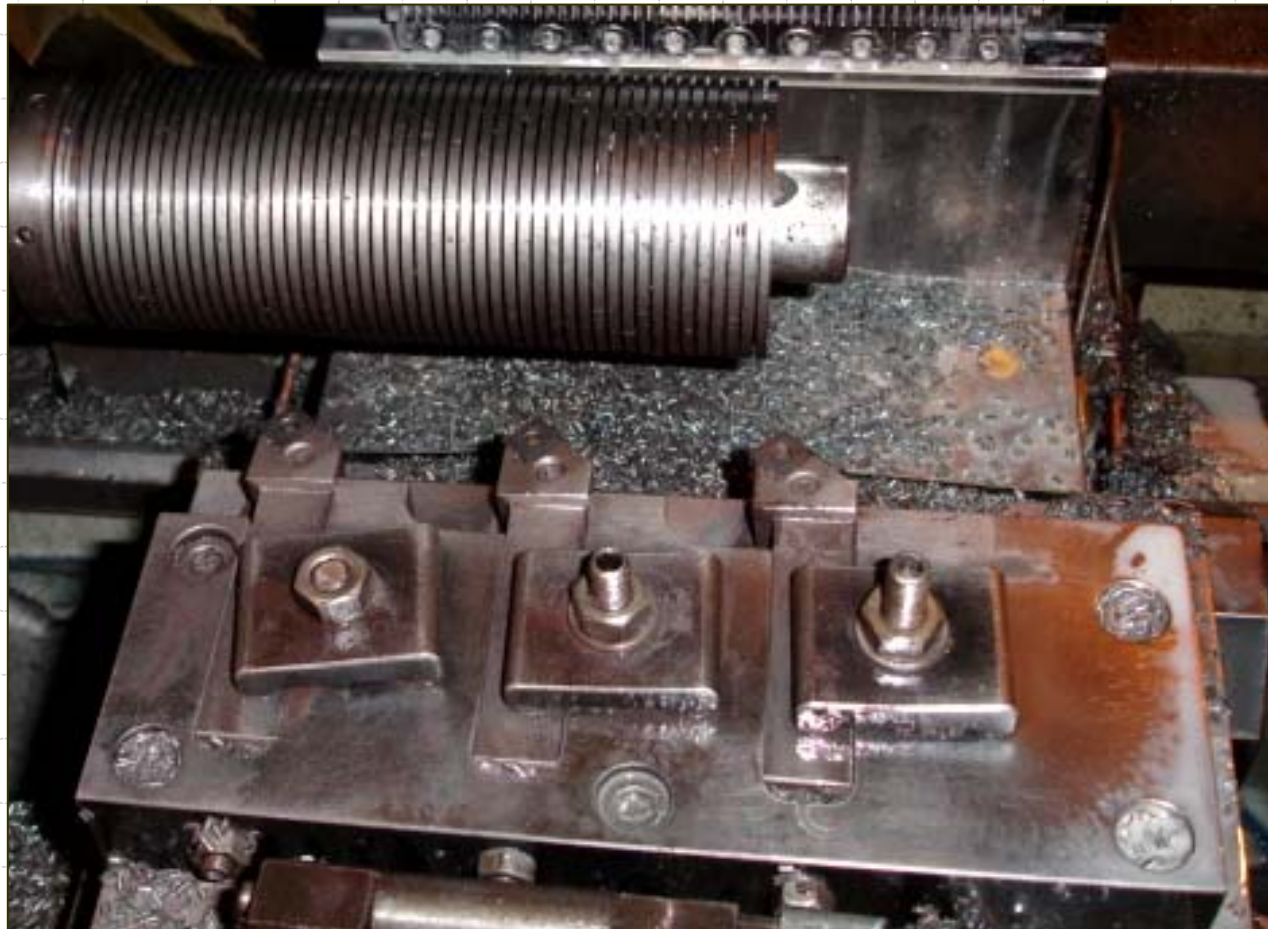
Diâmetro Externo – 86,5 mm

Diâmetro interno – 81,2 mm

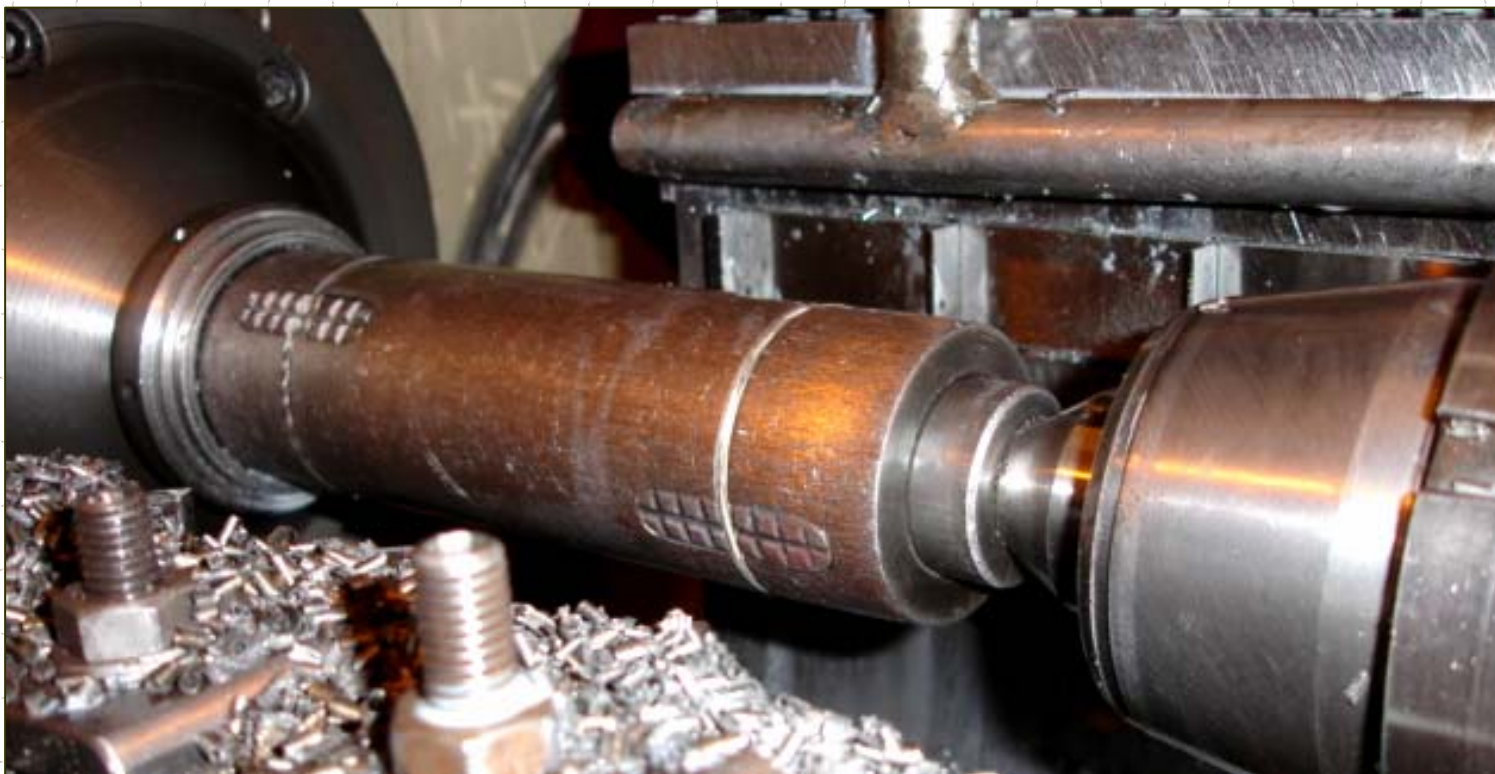
Comprimento – 200 mm



Fixação do porta ferramenta



Fixação das camisas



Máquina



Torno mecânico
Romi adaptado
para usinagem de
anéis.

Potência – 30 CV

Microscópio – Análise de desgaste



Microscópio ótico
tridimensional de
medidas.

Critério de fim de vida da ferramenta

Estabeleceu-se como critério de fim de vida da aresta de corte 1,0 mm de desgaste de entalhe.

Forças e Potência de corte

Iscar's Machining Power - V3.3

File Units Help

Milling Drilling **Turning**

Application : Turning

Member IMC Group

Data for Turning

Workpiece diameter (D) : 110 mm

Feed per revolution (f) : 0,4 mm

Depth of cut (a_p) : 4 mm

☐ Spindle speed (n) 434,1 rpm

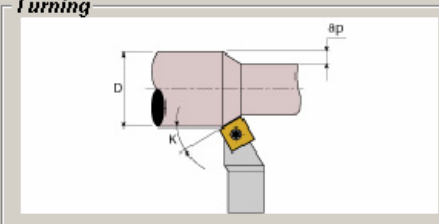
☒ Cutting velocity (V_c) 150 m/min

Workpiece material : GGG 40

Effective rake angle (γ) : 6 deg.

Lead angle (k) : 45 deg.

Turning



Results

Kc : 1529 N/mm²
218 KPsi

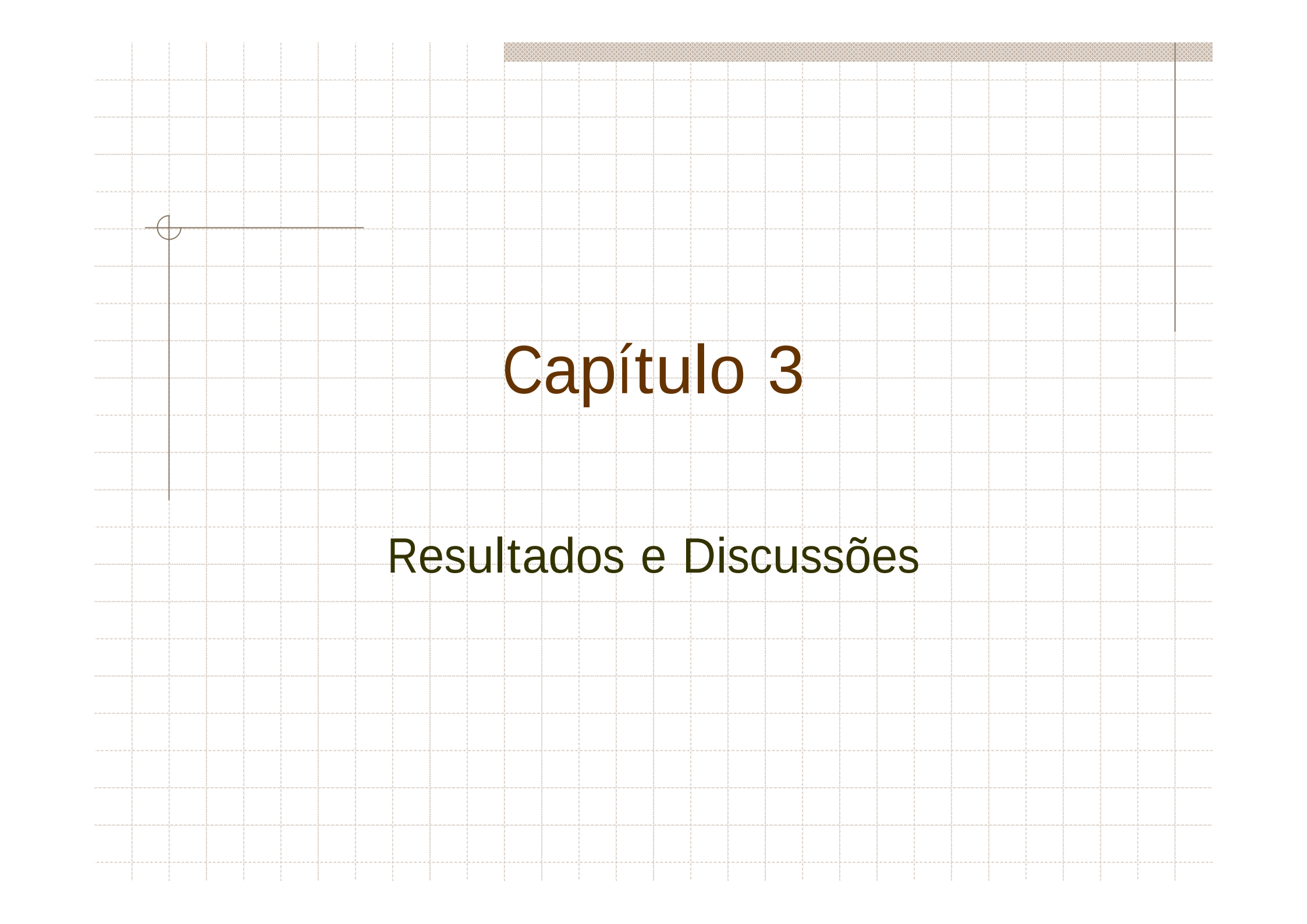
Net Power Demand : 5,89 KW
8,01 HP

Material removal rate : 3,85 (cm³/sec)
14,11 (in³/min)

Tangential Force : 2446 N

Calculate Close

Fonte: Iscar Ltd



Capítulo 3

Resultados e Discussões

Dados de corte - Teste

	SNMG 120408-TF IC8048	SNMG 120408 IC428	SNMG 120416K IC4028
Vc (m/min)	100	150	150
f (mm/volta)	0,40	0,40	0,40
ap (mm)	3	3	3

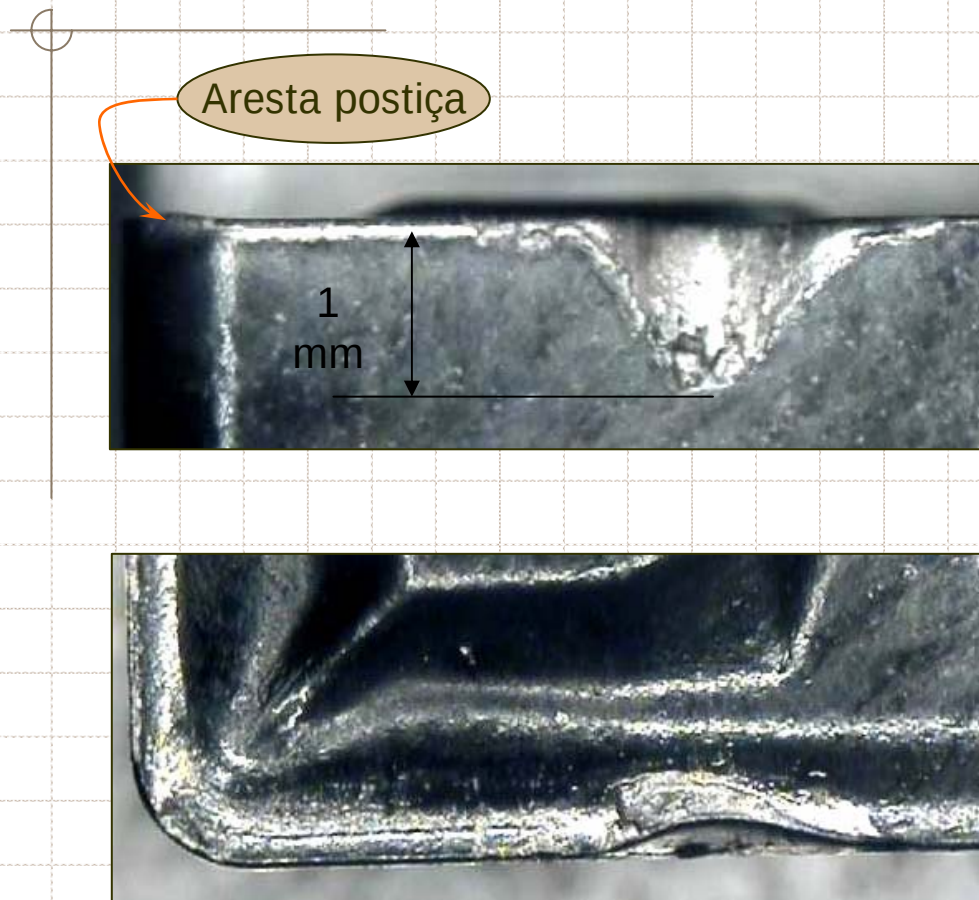
Vida útil:

	IC8048	IC428	IC4028
QUANT. PÇS USINADAS	130	140	195

Forças e Potências de corte

	IC8048	IC428	IC4028
Força de corte (N)	7155	7400	8730
Tx. Mat. Removido (cm ³ /seg)	7,7	11,5	11,5
Potência (HP)	15	24	28,5

Inserto IC8048



➤ Aresta postiça – baixa velocidade de corte

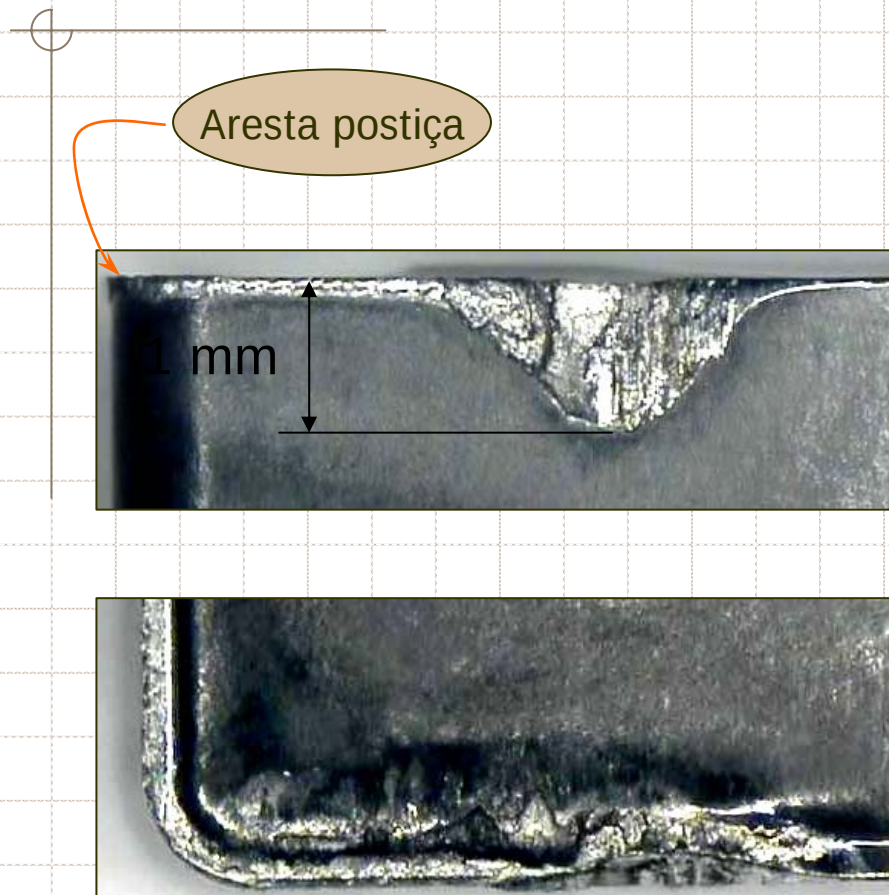
➤ Desgaste de entalhe – devido a oxidação e abrasão provocado pela sílica (SiO_2)

➤ Nenhum desgaste de cratera

$V_c=100$ m/min; $f=0,4$ mm/volta; $a_p=4$ mm

Ampliação: 38x

Inserto IC428

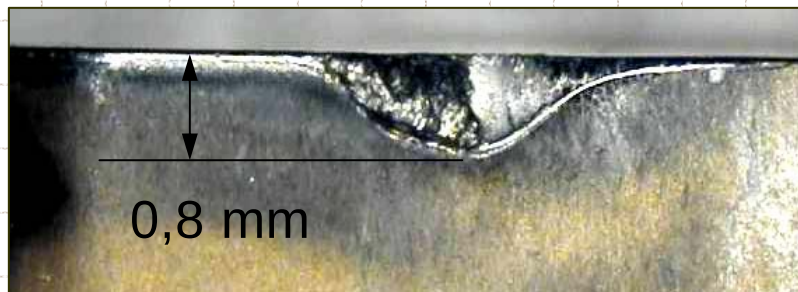


$V_c=150$ m/min; $f=0,4$ mm/volta; $a_p=4$ mm

Ampliação: 38x

- Aresta postíça
- Desgaste de entalhe – devido a oxidação e abrasão provocado pela sílica (SO_2)
- Não houve craterização
- Microlascas

Inserto IC4028



➤ Não apresentou aresta postiça

➤ Desgaste de entalhe – devido a oxidação e sílica (SiO_2)

➤ Craterização

$V_c=150$ m/min; $f=0,40$ mm/volta; $a_p=4$ mm

Ampliação: 38x

Cavaco



Os três insertos
geraram cavaco
tipo helicoidal
curto.

Pendências

- Reaplicar os testes sem refrigeração.
- Pesquisar a influência do SiO_2 no desgaste da ferramenta.
- Realizar testes com ferro fundido nodular sem nióbio

Conclusões

- a) A competitividade em usinagem só pode ser alcançada com um estudo detalhado das principais variáveis inerentes ao processo.
- b) A vida útil da ferramenta é influenciada de forma significativa pela cobertura e classe do metal duro.
- c) O desgaste da ferramenta aumenta bruscamente após a perda do revestimento.
- d) A melhor cobertura para esta aplicação é TiN.
- e) A sílica (SiO_2) utilizada para evitar a aderência do tubo centrifugado à coquilha contribui significativamente para o excessivo desgaste de entalhe.
- f) Para máquinas de baixa potência o uso de ferramentas com maiores ângulos de saída reduz os esforços de corte