

Análise do comportamento de ferramenta cerâmica de Si₃N₄ no fresamento de desbaste HSC de ferro fundido GG25

Jorge Eduardo Guenza, Eng.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR,
Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM.
Rua Mariano Snak, 175
CEP 81880-020 – Curitiba – PR
Fone: 55 41 3298 3683
guenza@brturbo.com.br

Milton Luiz Polli, Dr. Eng.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR,
Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM
Av. Sete de Setembro, 3165
CEP 80230-901– Curitiba – PR
Fone: 55 41 3310 48 31
polli@utfpr.edu.br

Paulo André de Camargo Beltrão, Ph.D.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR,
Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM.
Av. Sete de Setembro, 3165
CEP 80230-90– Curitiba – PR
Fone: 55 41 3310 4907
beltrao@utfpr.edu.br

***Resumo.** Este trabalho avalia a aplicação de fresamento HSC usando máquinas CNC convencionais. Diferentemente das aplicações usuais como na fabricação de moldes e matrizes ou na indústria aeroespacial, as máquinas utilizadas na indústria em geral normalmente não dispõem de rotações para atingir a alta velocidade de corte com as ferramentas de pequeno diâmetro desenvolvidas para HSC. Porém ao utilizar ferramentas de diâmetro maior a potência do equipamento é uma das principais restrições. Neste aspecto, este artigo traz uma análise do uso de ferramentas e máquinas comuns no fresamento frontal e tangencial, do consumo de potência no processo e apresenta uma maneira de avaliar as condições de processo através da medição indireta da potência de corte.*

Palavras-chave: Usinagem de ferro fundido. High Speed Cutting. Materiais cerâmicos.

1. INTRODUÇÃO

As aplicações de HSC concentram-se principalmente na área de usinagem de matrizes, peças aeronáuticas e autopeças, conforme Faccio⁽¹⁾. Os dois primeiros têm como características a usinagem de componentes monolíticos, onde grande parte da matéria-prima é transformada em cavaco, utilizando ferramentas de pequeno diâmetro, altas rotações de fuso, pequenas profundidades de corte e altos avanços. Já a indústria de autopeças tem como característica a produção seriada de grandes lotes utilizando ferramentas especiais para estas aplicações. Em outros ramos da indústria as aplicações de HSC são ainda muito restritas. O propósito principal deste trabalho é analisar o comportamento do processo frente à variação de alguns parâmetros de corte, através do monitoramento da potência de corte e do desgaste da ferramenta.

O estudo da influência dos parâmetros de usinagem nas variáveis de processo é fundamental no controle do processo, pois a utilização de parâmetros de corte incorretos em HSC leva ao desgaste prematuro da ferramenta. Segundo a teoria clássica de usinagem, com o aumento da velocidade de corte o desgaste da ferramenta aumenta exponencialmente, conforme apresentado por König⁽²⁾, podendo inviabilizar técnica e economicamente o processo. É necessária a aplicação de ferramentas que tenham vida satisfatória com as velocidades, minimizando os tempos de setup e maximizando a economia do processo.

2 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO HSC

Na avaliação de qualquer processo de usinagem é muito importante o controle do desgaste do ferramental. A maioria dos fabricantes de ferramenta alega que os insertos representam menos de três por cento dos custos de usinagem. Entretanto ao lançar mão de ferramentas de tecnologia mais avançada, se não forem tomados os devidos cuidados pode tornar a aplicação economicamente inviável. Desta forma, uma das variáveis obrigatórias a serem controladas é a vida da ferramenta, podendo ser quantificado através do comprimento usinado por aresta (L_{fz}) ou da quantidade de peças produzidas para um nível de desgaste pré-estabelecido. A maneira mais usual de acompanhar o desgaste é através da medição do desgaste de flanco (V_b) segundo os procedimentos descritos na norma ISO 3685⁽³⁾.

Outra variável importante, e nem sempre considerada na avaliação econômica do processo, é a potência consumida durante o corte. Um dimensionamento correto do processo de usinagem pode gerar grande economia em longo prazo, devendo ser considerado não só por motivos financeiros, mas também ambientais.

O porta-ferramenta utilizado em HSC deve ter características construtivas especiais. A primeira a ser considerada é o balanceamento. Ferramentas com balanceamento inadequado levam ao aparecimento de vibração em altas rotações, piorando o acabamento superficial e reduzindo a vida da ferramenta. Atenção especial deve ser dada ao batimento do conjunto, pois influi diretamente no desgaste das arestas de corte. Segundo Cavichioli et al⁽⁴⁾ cada 0,01 mm de batimento reduz cinquenta por cento da vida da aresta de corte, sendo fundamental o “pré-set” adequado dos insertos. Silva⁽⁵⁾ afirma que os porta-ferramentas devem ser fabricados em materiais dúcteis, evitando a fratura frágil, garantindo a segurança do processo. As ferramentas devem possuir, ainda, resistência suficiente para suportar as severas condições cíclicas de cargas mecânicas e térmicas.

A escolha de parâmetros de corte adequados influencia não somente a vida da ferramenta, mas principalmente o rendimento do processo de usinagem. O principal objetivo num processo de desbaste é obter a maior taxa de remoção de material (Q), a fim de minimizar o tempo total de usinagem. O acabamento superficial tem importância secundária, diferentemente das aplicações normais do HSC sugeridas por Silva⁽⁵⁾. Embora normalmente sejam utilizadas menores profundidades de corte radial (a_c), as maiores taxas de remoção de material são obtidas pela associação de maiores velocidades de

corte e de avanço (f). É possível a utilização de avanços por faca (f_z) maiores do que o convencional, com efeito positivo sobre a vida da ferramenta, conforme o observado nos experimentos de Schulz⁽⁶⁾. O uso de menor profundidade de corte radial também contribui para redução no desgaste da ferramenta segundo Doenísio⁽⁷⁾, pois há um aumento do tempo em vazio, ou seja, menor tempo efetivo de corte por causa do menor arco de contato ente ferramenta e peça. Entretanto se o a_e for muito pequeno, ocorre aumento da taxa de desgaste pela queima do gume cortante, devido à concentração localizada de calor em pequena região da ferramenta. Outro aspecto negativo da redução da profundidade é que ocorre aumento da componente de força que empurra a ferramenta para fora da região de corte, efeito mais pronunciado no fresamento tangencial Como consequência a fresa “bate” contra a peça, o que reduz bastante a vida da ferramenta quando comparado ao fresamento frontal. Neste trabalho, foi dado prioridade na investigação desta característica, pois normalmente não temos a aplicação de nitreto de silício em corte tangencial devido à esta instabilidade do processo. Com relação à profundidade de corte axial (a_p), Toh⁽⁸⁾ chegou à conclusão que não influencia direta na vida da ferramenta, pois não afeta diretamente a temperatura na região de corte. Contudo conforme Schulz⁽⁶⁾ o aumento da profundidade a_p , ocasiona o aumento da potência de corte.

O controle das condições de corte é importante para manter os esforços (potência) de corte em níveis aceitáveis para que não ocorram tensões residuais que possam ocasionar o empenamento da peça. Deve-se considerar também a potência consumida na usinagem e a potência disponível no equipamento, em muitos casos este é o principal limitante à aplicação do HSC em máquinas convencionais.

Os trabalhos experimentais desenvolvidos visam analisar estas características do processo em chão de fábrica.

2.1 Comportamento do ferro fundido GG25

O ferro fundido GG25 tem comportamento frágil, formando cavaco curto durante a usinagem. A grande quantidade de grafita na matriz lamelar propicia lubrificação sólida durante o corte, possibilitando o corte sem fluido refrigerante com bons resultados, o que viabiliza a utilização de cerâmica, evitando os choques térmicos pelo contato descontínuo com a refrigeração. As velocidades típicas de corte para esta classe de material na família de peças utilizadas como corpos de prova são de 170 m/min no desbaste para inserto de metal duro revestido com TiC e 150 m/min no acabamento, com fresa revestida de metal duro inteiriço. Para atingir a faixa de alta velocidade, é necessário ultrapassar os 750 m/min, conforme enunciado por Schulz⁽⁶⁾ sendo necessária a utilização de outra classe de ferramentas (ie. cerâmicas ou nitreto cúbico de boro).

2.2. Comportamento do Si_3N_4

Durante a usinagem com nitreto de silício ocorrem microtrincas devido reações químicas entre os cristais mistos de Si_3N_4 , a fase vítrea da cerâmica, o ferro e o oxigênio. Essa difusão de componentes fragiliza o material da ferramenta levando a microlascamentos, difíceis de serem identificados sem o uso de microscopia. Junto à difusão ocorre a presença de solicitações mecânica e térmica cíclicas durante o corte. Embora o material seja bastante tenaz e tenha boa condutividade térmica quando comparado a outras cerâmicas, isso leva a falha catastrófica com destruição da aresta de corte, sem que haja aparecimento de V_b pronunciado. Para identificação de desgaste nas operações de acabamento pode ser utilizada a avaliação do acabamento superficial da peça nas operações de acabamento, uma vez que os microlascamentos causam as chamadas marcas em forma de pente no gume da ferramenta, o que influencia diretamente na rugosidade da peça.

As solicitações do gume de corte podem ser reduzidas com aumento do avanço por face f_z . Ensaios realizados por Sudo⁽⁹⁾ com outras classes de material cerâmico, demonstram que este comportamento se mantém no torneamento HSC, evidenciando a característica do GG25.

3. MATERIAIS E MÉTODOS:

Os recursos utilizados e suas características são resumidos na tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Recursos utilizados e especificações técnicas

Recurso	Especificação
Corpo de prova	Segmento curvo R = 600 mm, C = 900mm, largura 40 - 78 mm Material: ferro fundido GG25 dureza 188 a 212 Hb - forno a indução Centro de usinagem Thyssen NBH 350 Fuso: máx. 10000 Rpm - 46 kW (37 kW-100%ED, 55 kW- 40%ED) - Curso: X = 1800; Y = 1600 e Z = 1400 mm
Máquina	Avanço: máx. 30 m/min - 25 kN - 0,4g Inserto cerâmico Si3N4 - código TNCN 1204 AN 690 - Sandvik
Ferramenta de corte 1	Geometria: raio de quina 2,5 mm, $\gamma = -7^\circ$, $K_r = 45^\circ$ e inclinação 4° Inserto cerâmico Si3N4 – Fabricante Taegutec
Ferramenta de corte 2	Geometria: quadrada de 12 mm, raio de quina 2 mm, 8 faces, $\gamma = -2^\circ$, $K_r = 88^\circ$.
Porta ferramenta 1	L260.3.100M-10, diâmetro 100 mm, z =14 - Sandvik Raio de corte (pré-set) = 53,67 mm
Porta ferramenta 2	Fabricação especial, diâmetro 63 mm, 5 cortes.
Durômetro portátil	Modelo Equotip fabricante Proceq
Pré-set	Modelo REDO VQ 00052 - Zoller
Alicate amperímetro	Modelo Campmeter 36 - Fluke
Rugosímetro	Surftest 211 - Mitutoyo (ganho 0,8 mm)
Termômetro	Infravermelho modelo Raynger ST - Raytec

Foram executados ensaios preliminares com fresamento frontal para verificar se a ferramenta suportaria as condições de corte e se a potência disponível era suficiente. Para monitoramento da potência foi utilizada a medição de corrente elétrica na entrada dos acionamentos em cada condição de ensaio. Medidas foram feitas durante a execução do programa em vazio (I_o) e em corte efetivo para cálculo da corrente líquida consumida pelo corte. Os valores da potência líquida foram calculados a partir dos valores medidos segundo a Eq. (1):

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos(\varphi) \cdot \eta \quad (1)$$

Onde P é a potência mecânica disponível, φ é o fator de potência do motor e η é o rendimento. Para o acionamento em questão (tipo PWM) o fator de potência pode ser desconsiderado. O rendimento mecânico é considerado ao subtrair a potência consumida em vazio da potência em corte, podendo ser eliminado da Eq. (1). Assim temos:

$$P_{liq} = P_o - P \quad (2)$$

ou,

$$P_{liq} = U \cdot (I - I_0) \cdot \sqrt{3} \quad (3)$$

A potência teórica consumida durante o corte está diretamente relacionada com a taxa de remoção de material, ou seja, volume de material removido na unidade de tempo. A Eq. (4) quantifica esta relação:

$$P_t = E_c \cdot Q \quad (4)$$

Onde P_t é a potência teórica consumida durante o corte, E_c é a energia específica de corte (1,61 J/mm³ para o ferro fundido cinzento) e Q é a taxa de remoção de material em mm³ / min, formulação esta proposta por Devries⁽¹⁰⁾. Foram calculados os valores de potência de corte segundo as teorias clássicas de Kronenberg e Kienzle conforme apresentado por Stemmer⁽¹¹⁾, entretanto os valores calculados divergiram muito dos valores medidos, não sendo apropriados para cálculos em operações de fresamento nas faixas de velocidades empregadas.

Para verificar o comportamento de usinagem em relação à velocidade de corte, na primeira fase dos testes a profundidade de corte a_p e o avanço por dente f_z foram mantidos constantes em 3 mm e 0,15 mm respectivamente (tabela 2). Como o corpo de prova apresentava duas regiões com larguras de corte diferentes (40 e 78 mm) foram medidos os valores de corrente máxima (I_{max}) na região de 78 mm e corrente mínima (I_{min}) na região de 40 mm. Obtendo-se das Eq. (2) e (3) os valores de P_{min} (em 40 mm) e P_{max} (em 78 mm). Os valores da potência teórica (P_t) foram obtidos com a Eq. (4), sendo P_{tmin} a potência teórica na largura fresada 40 mm e P_{tmax} a potência em 78 mm. Os resultados dos cálculos são apresentados na Fig. (1).

Na segunda fase, os testes foram realizados com variação de a_p , f_z e V_c para verificar sua influência no processo (tabela 3). Foi medida a temperatura do corpo de prova ao final de cada passe com termômetro infravermelho. O objetivo da medição de temperatura da peça foi verificar sua variação na região de transição HSC e comprovar sua diminuição ao atingir o regime de alta velocidade descrito por Toh⁽¹²⁾. A transferência para ao cavaco de maior parte do calor gerado foi analisada pela observação de mudança no mecanismo de formação e conseqüente mudança de forma e tamanho do cavaco, além de verificação de coloração diferente. A medição de rugosidade foi executada somente a título de comparação, pois em operações de desbaste seria difícil perceber as pequenas variações de rugosidade. O objetivo do monitoramento de acabamento foi verificar a ocorrência de vibração, o que poderia levar à quebra prematura da ferramenta.

Na terceira fase foram executados testes com o fresamento tangencial em um lote de 80 peças, para comparar os resultados obtidos com o fresamento frontal. A execução dos testes num lote maior foi para observar o comportamento de desgaste, já que nos testes anteriores não foi observado desgaste expressivo.

4. RESULTADOS:

4.1. 1ª Etapa – testes preliminares com fresamento frontal

Os valores medidos e calculados através das equações 1 a 4 são apresentados na tabela 2:

Tabela 2: Valores de potência (P_{max} e P_{min}) obtidos através da medição de corrente de alimentação dos acionamentos principais (eixos e fuso). Profundidade de corte $a_p = 3$ mm e avanço por faca $f_z = 0,15$ mm. (P_{tmin} e P_{tmax} são as potências teóricas de corte)

V_c	f	n	I_o	I_{min}	I_{max}	P_{min}	P_{max}	P_{tmin}	P_{tmax}
[m/min]	[mm/min]	[Rpm]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]

250	1670	795	5,5	16	22	6,91	10,86	5,38	10,48
400	2670	1273	5,8	22	35	10,66	19,22	8,61	16,79
600	4007	1909	6	30	48	15,80	27,64	12,91	25,17
800	5342	2547	6	36	56	19,75	32,91	17,22	33,58
1000	6678	3180	5,5	43	70	24,68	42,45	21,50	41,93
1200	8014	3816	6,3	53	87	30,74	53,12	25,80	50,32

Na Fig. (1) são resumidos os resultados da primeira fase de ensaios, onde se observa o comportamento da potência efetiva de corte P com o aumento da velocidade de corte.

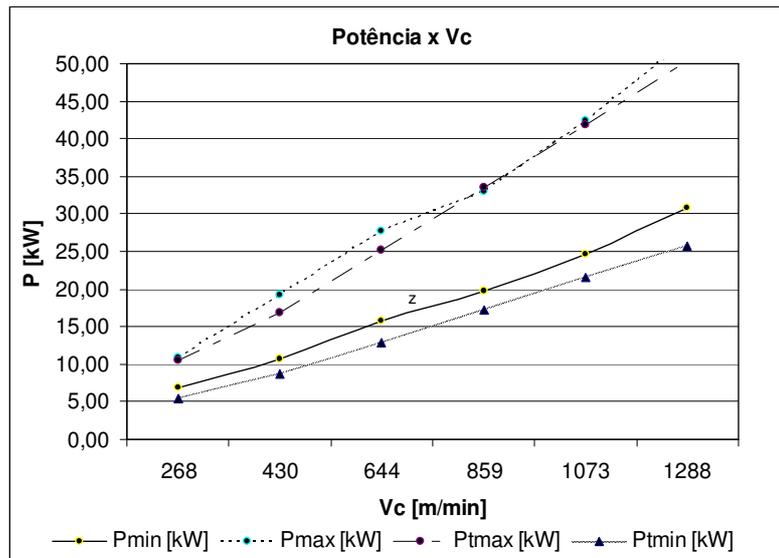


Figura 1: Gráfico de variação da potência em relação à velocidade de corte. Pmax/min indicam os valores para larguras máxima e mínima de corte. O sufixo t remete aos valores teóricos máximos e mínimos.

A ligeira mudança no comportamento da potência de corte entre as velocidades de 600 e 800 m/min, demonstrada na Fig. (1), coincide com a faixa de transição (750 m/min) indicada por Schulz⁽⁶⁾. Outro resultado obtido nesta fase foi confirmar que o sistema máquina / ferramenta suportou bem as condições de corte, possibilitando a execução dos ensaios da segunda fase, onde a velocidade de corte e a taxa de remoção de material. O Si_3N_4 se mostrou bastante tenaz, suportando as condições de corte interrompido e velocidades empregadas sem demonstrar marcas de desgaste.

4.2. 2ª Etapa – variação de parâmetros no faceamento

Na segunda etapa foram executados novos testes, a fim de avaliar as influências dos outros parâmetros de corte. Foram utilizadas combinações de V_c , a_p , e f_z e medidos os valores de corrente elétrica máxima, segundo o procedimento descrito no item 3. A tabela 3 resume os parâmetros empregados na 1ª e 2ª etapas e a Fig. (2) apresenta o resultado dos cálculos para as duas etapas:

Tabela 3: Parâmetros de corte empregados durante os ensaios e valores de rugosidade e temperatura obtidos na fase 2

V_c [m/min]	Etapa	f_z [mm/dente]	a_p [mm]	R_a [μm]	T [$^{\circ}\text{C}$]
268	1	0,15	3	-	-

Vc [m/min]	Etapa	fz [mm/dente]	ap [mm]	Ra [μ m]	T [$^{\circ}$ C]
430	1	0,15	3	-	-
644	1	0,15	3	-	-
	2	0,3	2	2,9	29
859	1	0,15	3	-	-
	2	0,3	2	1,8	28
1073	1	0,15	3	-	-
	2	0,3	2	2,4	29
1288	1	0,15	3	-	-
	2	0,3	2	2,3	29
	2	0,15	4	1,45	29
1931	2	0,3	2	2,7	29

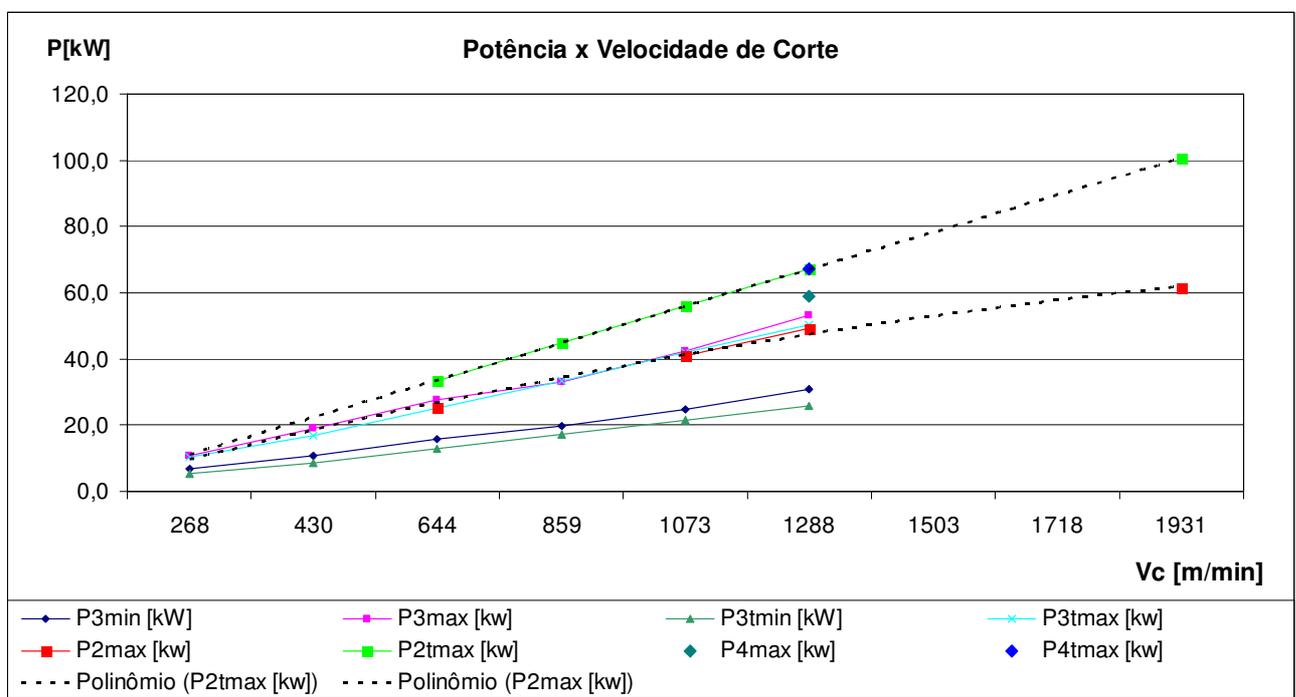


Figura 2: Gráfico de variação da potência em relação à velocidade de corte. P(x)max/min indicam os valores para profundidade de corte x máximo e mínimo respectivamente. O sufixo t remete aos valores teóricos máximos e mínimos.

Na Fig. 2 pode-se observar o comportamento aparentemente regular, acompanhando a inclinação da curva teórica obtida pelo equacionamento proposto por Devries⁽⁹⁾. Foi inserida no gráfico a linha de tendência exponencial pontilhada para ilustrar a extrapolação do comportamento da curva de potência, uma vez que não foram realizados ensaios na região entre 1288 e 1931 m/min. Nela evidencia-se que diferença entre a potência teórica e a efetiva aumenta com o aumento da velocidade, indicando economia de energia e redução proporcional das forças de corte em altas velocidades. Isto explica a possibilidade da execução de ensaios a 1931 m/min sem sobrecarga do acionamento do fuso da máquina.

A temperatura da peça e a rugosidade superficial foram medidas ao final de cada passe. A rugosidade Ra com ganho de 0,8 mm é a média entre três leituras executadas em diferentes regiões da

peça. A tabela 3 mostra que não foi percebida influência, dos parâmetros empregados, na temperatura de corte e que nos resultados da medição de rugosidade não se percebe influência direta da velocidade. Não se pôde evidenciar dos ensaios a presença dos benefícios do HSC principalmente em relação à temperatura e à melhoria no acabamento descritos por Silva⁽⁶⁾. A dissipação rápida do calor impossibilitou a medição de variações com a metodologia empregada e, como já comentado anteriormente o acabamento tem importância secundária em processos de desbaste.

O cavaco curto não possibilita distinguir macroscopicamente alteração nos mecanismos de formação do cavaco e em sua geometria. Percebeu-se somente centelhamento intenso durante a usinagem a partir de 1073 m/min, confirmando visualmente o aumento da temperatura do cavaco sem correspondente alteração da temperatura da peça.

4.3.3 Etapa – testes com fresamento tangencial

Foram realizados ensaios a fim de avaliar o comportamento do fresamento tangencial para verificar a aplicabilidade dos insertos de nitreto de silício neste tipo de operação. Nos testes foi mantido a profundidade axial constante de 11 mm. A profundidade de corte a_e variou entre 1 mm e 3,5 mm e foram usados avanços por dente de 0,25 e 0,3 mm.

Os resultados dos ensaios finais são demonstrados na figura 3.

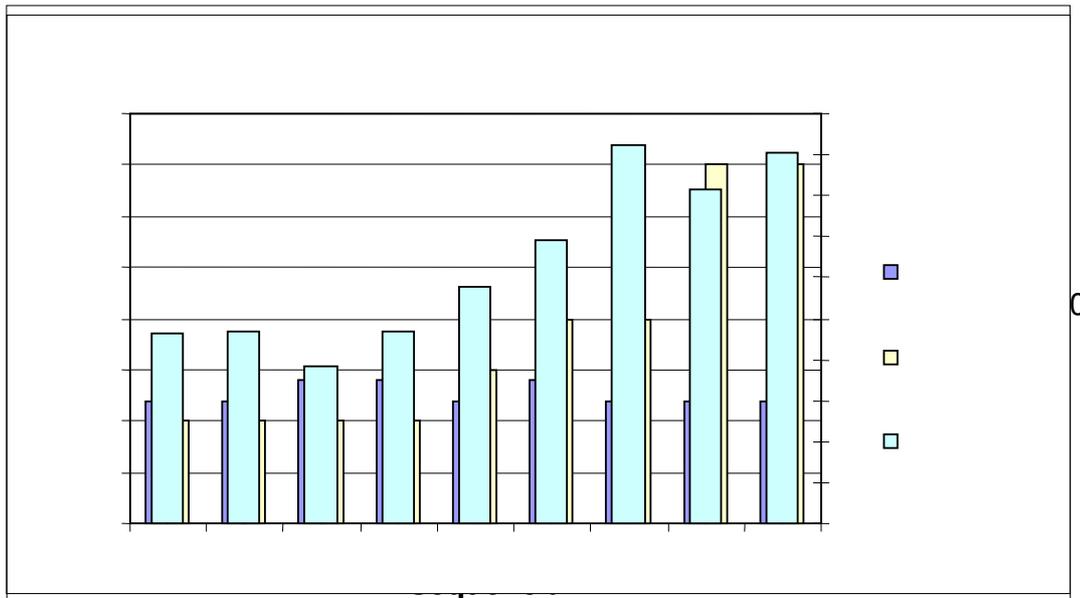


Figura 3: resultados obtidos no fresamento tangencial de ferro fundido GG25 com velocidades de 1200 e 1400 m/min, com diferentes profundidades de corte axiais.

Foi observado que o desgaste da ferramenta foi profundamente influenciado pelo f_z , pois nos na primeira seqüência de ensaios, utilizando um f_z de 0,08 mm a vida da ferramenta não foi satisfatória, e as arestas de corte não suportaram usinar mais que 2 peças, com um L_{fz} de 15300 mm, mesmo com velocidade de corte de apenas 800 m/min. Com o aumento do f_z para 0,12 mm foi possível utilizar velocidade de corte de 1000 m/min e fabricar 4 peças com a aresta de corte. Aumentando o f_z ainda mais, os resultados foram ainda melhores, sendo possível usinar com velocidades de 1400 m/min e obter 8 peças completas. Confirmando o predito por Schulz⁽⁵⁾.

5. CONCLUSÕES:

A aplicação das técnicas HSC no equipamento e condições de ensaio foi satisfatória. Melhores resultados foram obtidos na faixa entre 1100 e 1900 m/min, pois a potência consumida no corte em velocidades mais elevadas foi menor que o valor teórico no fresamento frontal. A ferramenta de Si₃N₄ apresentou boa estabilidade em corte interrompido e em larguras de corte variáveis do faceamento e nas diversas profundidades de corte utilizadas no fresamento tangencial. Não foi verificado desgaste prematuro nos insertos, o que valida a aplicabilidade deste material nas condições de ensaio. O desgaste apresentado no fresamento tangencial foi bem maior do que no faceamento, mas quando comparado ao processo convencional, obteve-se economia significativa tanto no ferramental, quanto no tempo de usinagem, reduzindo o tempo de 10,3 minutos da operação convencional para 3,5 minutos (cerca de 66%) mesmo com quatro passes a mais por peça.

6. AGRADECIMENTOS:

Ao sr. Cláudio Przybycien, programador de CNC da empresa Trützschler, pelo apoio prestado na execução dos ensaios. À empresa Trützschler Ind. e Com. de Máquinas Ltda., por ceder os recursos necessários.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. FACCIO, Ian. **Investigações sobre o acabamento superficial de usinagens com altíssima velocidade de corte**, 2002, 126 f. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
2. KÖNIG, Wilfried; KLOCKE, Fritz. **Fertigungsverfahren Band 1 – Drehen, Fräsen, Bohren (VDI Buch)**.7ª Ed. Berlin: Springer Verlag, 2002.
3. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, France. **ISO 3685-1998 - Tool life testing with single point turning tools**. France, 1998.
4. CAVICHIOLLI et. al, Francisco de Assis: **Usinagem em altíssimas velocidades: como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal-mecânica**; São Paulo; Érica, 2003.
5. SILVA, Fábio Ricardo da: **O processo de fresamento na zona de transição entre as velocidades convencionais e a alta velocidade**. 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.
6. SCHULZ, Herbert: **Hochgeschwindigkeitsfräsen metalischer und nichtmetalischer Werkstoff** – München, Wien: Hanser, 1989.
7. DEONÍSIO, C. C. C. et al.: Produzindo ferramentas de conformação em HSC. **Mundo da Usinagem**, ed. especial, p. 10-15, 2001.
8. TOH, C.K: Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel. **Journal of Sound and Vibration**, v. 278, p. 101-115, Elsevier 2004.
9. SUDO, Tadeu Tomio; BRAGHINI Jr., Aldo; COELHO, Reginaldo Teixeira: O desgaste de ferramentas na usinagem de FoFo cinzento a alta velocidade. **O Mundo da Usinagem**, ed Jan., pág. 27 – 31, 2001.
10. DEVRIES, Warren R.: **Analysis of material removal processes**. New York, Springer Verlag, 1992.
11. STEMMER, Caspar Erich: **Ferramentas de corte I**. 3ª ed., Florianópolis: Editora da UFSC, 1993.
12. TOH, C.K: Comparison of chip surface temperature between up and down milling orientations in high speed rough milling of hardened steel. **Journal of Materials Processing Technology**, Dublin, v. 167, p. 110-118, Elsevier, 2005;

ANALISYS OF CAST IRON GG25 ROUGH MILLING WITH Si_3N_4 WORKING TOOL.

Abstract. *This work evaluates the HSC milling application with CNC conventional machines. Differently from others usual applications like mold and die fabrication or aerospace industry, the machines used on the general industry normally don't have rpm to attain the high speed cut with the small diameter tools to HSC. However, when using bigger diameter tools the machine power is one of the main restrictions. On this aspect, this paper analyses the use of ordinary tools and machines in frontal and tangential milling operations, the power supplied to the cut and presents one manner of evaluation of process conditions through the indirect measure of the cutting power.*

Keywords. *Gray cast iron milling. High speed cutting. High speed milling. Ceramics materials.*