

TORNEAMENTO DE AÇO 100Cr6 TEMPERADO COM INSERTOS DE CBN COM E SEM COBERTURA

Gustavo de Siqueira Galoppi

Laboratório de Engenharia de Fabricação - Dept. de Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos– EPUSP-Av. Prof. Mello de Moraes, 2231, 05508-900, S. Paulo, SP- Gustavo.Galopi@poli.usp.br

Marco Stipkovic Filho

Laboratório de Engenharia de Fabricação - Dept. de Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos– EPUSP-Av. Prof. Mello de Moraes, 2231, 05508-900, S. Paulo, SP - kovic@osite.com.br

Gilmar Ferreira Batalha

Laboratório de Engenharia de Fabricação - Dept. de Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos– EPUSP-Av. Prof. Mello de Moraes, 2231, 05508-900, S. Paulo, SP - gfbatalh@usp.br

Resumo: *Recentes melhorias na tecnologia das máquinas ferramentas (especificamente a rigidez e a precisão de posicionamento) e o advento de ferramentas de corte cerâmicas e de CBN tornam possíveis a usinagens em acabamento de aços endurecidos, utilizando-se ferramentas com aresta definida de corte em substituição à retificação. As vantagens apresentadas pelo torneamento duro são bastante atrativas para muitas empresas, porém estas ainda estão um tanto quanto relutantes em substituir um processo bem conhecido e dominado (retificação) por um processo não totalmente dominado. Com o intuito de tornar o conhecimento dos efeitos do processo de torneamentos duros mais explícitos, o presente trabalho apresentará tanto resultados e discussões relativas ao acabamento superficial da peça, bem como do desgaste da ferramenta. Uma série de ensaios com cinco diferentes tipos de insertos de CBN foram realizados, sendo utilizados insertos sem cobertura, com cobertura de TiAlN e TiN e, ainda, insertos com geometria “wiper”. As condições de usinagem foram especificadas de tal forma a cobrir todo o campo recomendado pelos fornecedores das ferramentas. A peça usinada foi um eixo de 100Cr6 temperado por indução a aproximadamente 62HRC. Todos os ensaios foram realizados num torno Mazak Quick-Turn utilizando um suporte de ferramenta DCLNR-164D e insertos de geometria ISO CNGA120408SO1020 com preparação de chanfro-T com 0,102mm x 20°. Procedeu-se, então, uma medição com intervalos definidos do desgaste da ferramenta através de um microscópio óptico Zollern Saturn e de um perfilômetro Hommelwerke T8000. Analisando-se os resultados obtidos, tais como: VB_{MAX} , R_A , taxa de remoção e vida útil, determinou-se por meio da equação empírica de Taylor as condições de corte teoricamente ideais. Análises preliminares dos resultados obtidos convergem com outros resultados de ensaios já realizados por estudiosos do campo da usinagem, o que indica que os resultados são significativos.*

Palavras-chave: usinagem, torneamento duro, aço 100Cr6, CBN, revestimentos duros.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho enfoca a usinagem de aços endurecidos utilizando-se ferramentas de corte de nitreto cúbico de boro (CBN) com e sem cobertura. Materiais típicos para os quais o torneamento duro pode ser empregado incluem os materiais tratados térmicamente (têmpera, cementação, dentre outros). Devido às exigências de acabamento superficial e dimensional, estes materiais são tradicionalmente usinados em acabamento através de processos abrasivos, tal como a retificação.

Porém, recentes melhorias na tecnologia das máquinas ferramentas (especificamente a rigidez e a precisão de posicionamento) e o advento de ferramentas de corte cerâmicas tornaram possíveis usinagens em acabamento de aço endurecidos, utilizando-se ferramentas com aresta definida de corte. Um dos principais motivos pelo qual a retificação vinha sendo utilizada nos processos de acabamento deve-se ao fato de a tecnologia de fabricação de rebolos cerâmicos ser conhecida e dominada desde os anos 70. Ferramentas para usinagem com aresta de corte definida fabricadas à partir de base cerâmica apresentavam, até um passado recente, problemas de vida útil, o que inviabilizava o seu emprego. Para a maioria das aplicações a retificação apresenta uma taxa de remoção de material inferior aos processos de usinagem com aresta definida de corte. Desta forma, sempre que possível é desejável que o processo de retificação seja substituído pelo “hard machining”. As vantagens apresentadas pelo torneamento duro são muito atrativas para muitas empresas, porém estas ainda estão um tanto quanto relutantes em substituir um processo bem conhecido e dominado (retificação), por um processo não totalmente dominado.

Com o intuito de tornar o conhecimento dos efeitos do processo de torneamentos duros mais explícitos, o presente trabalho apresentará tanto resultados e discussões relativas ao acabamento superficial da peça, bem como, do desgaste da ferramenta.

2. FERRAMENTAS PARA O TORNEAMENTO DURO ^(12, 13, 14, 15)

2.1 Desgaste de ferramentas no torneamento duro

As características que possibilitam que uma ferramenta de corte suporte o processo de corte são: dureza, resistência mecânica, resistência ao desgaste e estabilidade química. Geralmente, a crescente dureza leva a uma resistência ao desgaste maior, porém diminui a resistência ao choque. Dependendo da condição de usinagem e propriedades da peça usinada diferentes combinações de dureza e resistência ao choque são requeridas.

Na usinagem em duro, surgem problemas com ferramentas tradicionais como as de aço rápido, que apresentam a menor dureza e a maior resistência ao choque dos aços normalmente utilizados em ferramentas. A principal razão pela qual os HSS não são mais largamente utilizados se deve ao fato de a sua dureza decair significativamente à partir dos 500 °C. Mesmo as tradicionais ferramentas compostas por carbonetos sinterizados (metais duros), desenvolvidas para possibilitar a usinagem com velocidades de corte mais elevadas e viabilizar taxas de produção mais elevadas, podem apresentar problemas. Este tipo de ferramenta é responsável atualmente por 70% do mercado de ferramentas para usinagem. Com o advento da utilização de materiais cada vez mais difíceis de serem usinados surgiram os “cermets”. Este é o nome comercial dado ao material para ferramenta composta por carbo-nitretos com partículas de TiCN que contribui para o aumento da dureza e um ligante à base de Co que torna a estrutura do composto mais maleável. Em condições de usinagens severas, ferramentas à base de óxido de alumínio (Al_2O_3) são as mais indicadas devido a sua alta dureza e resistência ao desgaste, bem como à sua melhor estabilidade química se comparada aos carbonetos. As ferramentas de CBN foram desenvolvidas para usinar materiais endurecidos nos casos em que ferramentas à base de carbonetos não apresentam a dureza necessária em altas velocidades de corte e, conseqüentemente, altas temperaturas, e as ferramentas à base de alumina não oferecem a resistência adequada. A principal vantagem do CBN deve-se a sua dureza estável em altas temperaturas ($\pm 1800HV$ à 1000°) e a baixa solubilidade com os aços. Deve-se mencionar ainda o emprego de ferramentas de diamante sintético (PCD). As ferramentas de PCD apresentam excelentes resultados na usinagem de ligas de alumínio, porém a seu desempenho é baixo quando usinando aço. Isto se deve ao fato de ocorrer difusão do carbono que compõe o diamante, pois ocorrem altas temperaturas na interface ferramenta/peça. Maior detalhe os diversos tipos de ferramentas, podem ser encontradas ⁽¹⁻⁵⁾. O desgaste em ferramentas de corte pode ser descrito por uma pequena quantidade de mecanismos à saber: abrasão, adesão, difusão, deformação plástica e fratura. Esquemáticamente estes mecanismos podem ser representados pelas figuras 1 e 2

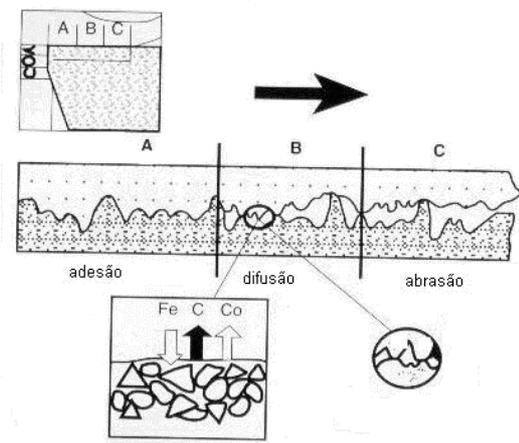


figura 1 – principais mecanismos de desgaste (adesão, abrasão, difusão) adaptado de Tchätsch. H.⁽¹⁾

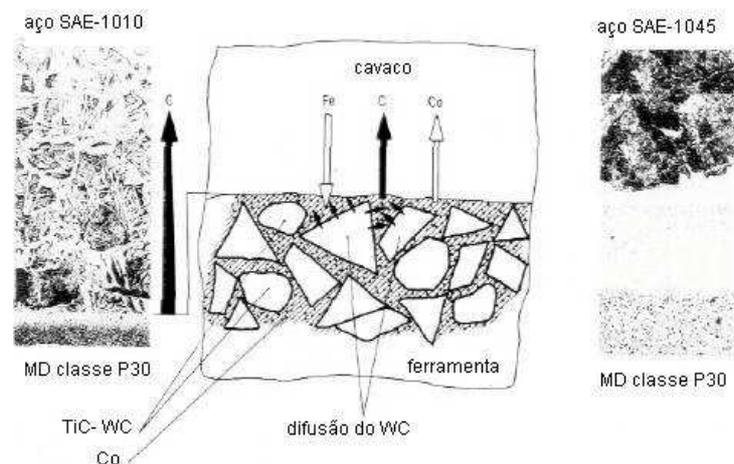


figura 2 – difusão do material da ferramenta na peça (cavaco); adaptado de Tchätsch. H.⁽¹⁾

3. MÁQUINAS FERRAMENTAS E PRECISAO NO TORNEAMENTO DURO ⁽²⁾

Em conjunto com o desenvolvimento de novos materiais de corte, a precisão e rigidez das máquinas ferramentas foram melhoradas para que o torneamento duro pudesse se tornar um processo viável. Devido ao acentuado ângulo de saída negativo (devido normalmente ao chanframento da aresta de corte) em ferramentas utilizadas para usinagem de materiais endurecidos surgem elevados esforços de corte. Estes requerem adequada rigidez da máquina ferramenta, potência no fuso principal, características de amortecimento e precisão na movimentação e posicionamento dos eixos. Máquinas ferramentas mais modernas já estão incorporando as mais novas tecnologias, tais como: base de máquina de compósitos de polímeros, redução do número de pontos de união, guias hidrostáticas, dentre outros desenvolvimentos. Eletronicamente o desenvolvimento de controles numéricos mais capazes também influenciou significativamente a precisão das máquinas ferramentas.

3.1 Precisão Dimensional ⁽⁷⁾

O ideal seria que os processos de torneamento duro e a retificação pudessem ser eliminados, já que do ponto de vista econômico são pouco produtivos e extremamente caros. No entanto, muitas peças necessitam, devido ao seu emprego, serem acabadas após um tratamento térmico (por exemplo: têmpera). Historicamente este acabamento é feito por meio de retificação. Desta forma o torneamento duro tem que ser capaz de gerar precisão geométrica e qualidade superficial compatíveis com a retificação. Diversos estudos já demonstraram que existe capacidade do processo de torneamento duro em produzir acabamento superficial e precisão dimensional capazes de substituir a retificação na maioria das aplicações. Diversos autores ⁽⁵⁻¹⁵⁾ vêm estudando a usinagem de materiais endurecidos. Abrão e Aspinwall ⁽⁵⁾ foram capazes de produzir superfícies com rugosidade $R_a=0,14\mu\text{m}$. Os resultados apresentados a seguir mostram capacidade similar.

4. MATERIAIS E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1 Corpos de prova

Todos os testes foram realizados com peças de produção, ou seja, não houve a possibilidade de testes preliminares para determinar qual o campo ideal de aplicação. Os parâmetros de corte empregados foram tomados da prática e conforme manual dos diversos fornecedores de ferramentas denominados de fornecedores 1 e 2.

Uma série de 19 diferentes testes foi realizada com o intuito de se determinar a vida útil de insertos de CBN sem e com cobertura cerâmica.

O material usinado foi o aço 100Cr6, temperado à dureza de 62HRC. A peça usinada foi um eixo de secção cilíndrica com diâmetro de 25 mm e comprimento de 250 mm. A tabela 1 abaixo nos mostra a composição do aço em questão:

tabela 1 – composição química do aço 100Cr6

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (≤ %)	S (≤ %)	Cr (%)	Ni (≤ %)	Outros (≤ %)
0,90-1,05	0,15-0,35	0,25-0,45	0,030	0,025	1,35-1,65	0,30	0,30

4.2 Torno CNC

Foi utilizado um torno Mazak Quick Turn, este equipamento apresenta a rigidez e precisão necessária para o t.d. As especificações deste torno estão relacionadas abaixo.

- diâmetro máximo de torneamento: 400mm(15.75")
- comprimento máximo de torneamento: 500mm(19.68")
- velocidade máxima do fuso: 5000(rpm)
- motor principal: AC15kW (20HP)
- tipo de torre: indexação múltipla em 12 posições
- capacidade da torra: 12 ferramentas

4.3 Ferramenta de Corte e parâmetros de usinagem

O suporte de ferramenta utilizado em todas as operações foi um DCLNR-164D. Este suporte possui um ângulo lateral de corte, ângulo de corte final, ângulo traseiro negativo e lateral de 5°. Os insertos de CBN com e sem revestimento utilizados nos testes eram de geometria ISO CNGA120408S01020, com preparação de aresta do tipo chanfro T com 0,1mm x 20° .

Foram avaliadas ao todo cinco diferentes tipos de insertos de CBN. Estas ferramentas foram fornecidas por dois fornecedores distintos, nomeados de 1 e 2. Os insertos com cobertura foram utilizados nos testes de 4 a 8 e 12 a 16, sendo, respectivamente, as coberturas utilizadas de TiAlN e TiN. Já os últimos testes foram realizados com insertos sem cobertura e com geometria “wiper” que seria a conhecida aresta alisadora. Todos os insertos utilizados foram de geometria ISO – C com raio de ponta de 0,8 mm e chanfro-T de 0,1mm X 20°. O porta ferramenta utilizado foi um DCLNR-164D conforme descrito no item equipamentos e instrumentação. A tabela 2 abaixo relaciona as constantes da equação de Taylor com as respectivas ferramentas utilizadas.

tabela 2 – constantes da equação de Taylor vs. ferramenta de corte ⁽¹⁾

condição	k	a	b
1-3	$2,020 \cdot 10^6$	-2,79	-0,75
4-8	$1,140 \cdot 10^9$	- 4,12	-1,02
9-11	$2,130 \cdot 10^6$	-2,56	-0,42
12-16	$4,670 \cdot 10^6$	-2,58	-0,04
17-19	$3,560 \cdot 10^6$	-2,45	0,20

4.3 Parâmetros e condições experimentais de usinagem

A velocidade de corte e o avanço empregados, foram escolhidos de forma a cobrir todo o campo de aplicação recomendado pelos fabricantes. Todos os testes foram realizados utilizando-se os valores máximos e mínimos recomendados para a velocidade de corte e o avanço, enquanto a profundidade de corte foi mantida constante. A profundidade de corte neste caso não foi definida como sendo uma variável de processo, visto que esta é definida em função da quantidade de material a ser removido. Desta forma, somente a velocidade de corte e o avanço foi variado durante os 19 ensaios, detalhados na tabela 3.

tabela 3 – resultados experimentais da série de 19 ensaios

condição	velocidade	rotação	avanco	avanco	vida útil	vida útil	profundidade	tempo	vida útil	vida útil	desvio	volume	vol./temp.	ferramenta
	(m/min)	min ⁻¹	(mm/rev)	(mm/min)	(mm)	(pc)	(mm)	(min/pc)	(min)	(min)	(%)	(cm ³)	(cm ³ /min)	(tipo)
1	183	2331	0,15	354,34	1500	6	0,20	0,71	4,23	4,04	4,49	23,90	5,65	2.) sem revestimento
2	183	2331	0,08	177,17	1250	5	0,20	1,41	7,06	6,80	3,62	19,92	2,82	2.) sem revestimento
3	91	1159	0,15	176,20	5000	20	0,20	1,42	28,38	28,40	0,07	79,68	2,81	2.) sem revestimento
4	183	2331	0,15	354,34	1250	5	0,20	0,71	3,53	3,72	5,08	19,92	5,65	2.) com revestimento TiAIN
5	183	2331	0,08	177,17	1250	5	0,20	1,41	7,06	7,54	6,39	19,92	2,82	2.) com revestimento TiAIN
6	91	1159	0,15	176,20	11000	44	0,20	1,42	62,43	66,10	5,55	175,29	2,81	2.) com revestimento TiAIN
7	137	1745	0,11	198,96	3000	12	0,20	1,26	15,08	16,43	8,21	47,81	3,17	2.) com revestimento TiAIN
8	137	1745	0,11	198,96	3750	15	0,20	1,26	18,85	16,43	12,84	59,76	3,17	2.) com revestimento TiAIN
9	183	2331	0,15	354,34	2750	11	0,20	0,71	7,76	7,59	2,23	43,82	5,65	1.) sem revestimento
10	183	2331	0,08	177,17	1750	7	0,20	1,41	9,88	10,15	2,71	27,89	2,82	1.) sem revestimento
11	91	1159	0,15	176,20	8000	32	0,20	1,42	45,40	45,38	0,05	127,48	2,81	1.) sem revestimento
12	183	2331	0,15	354,34	2750	11	0,20	0,71	7,76	7,33	5,59	43,82	5,65	1.) com revestimento TiN
13	183	2331	0,08	177,17	1500	6	0,20	1,41	8,47	7,53	11,03	23,90	2,82	1.) com revestimento TiN
14	91	1159	0,15	176,20	8750	35	0,20	1,42	49,66	44,43	10,52	139,44	2,81	1.) com revestimento TiN
15	137	1745	0,11	198,96	2750	11	0,20	1,26	13,82	15,64	11,64	43,82	3,17	1.) com revestimento TiN
16	137	1745	0,11	198,96	2750	11	0,20	1,26	13,82	15,64	11,64	43,82	3,17	1.) com revestimento TiN
17	183	2331	0,15	354,34	2500	10	0,20	0,71	7,06	7,00	0,85	39,84	5,65	1.) Wiper sem revestimento
18	183	2331	0,08	177,17	1000	4	0,20	1,41	5,64	6,09	7,32	15,94	2,82	1.) Wiper sem revestimento
19	91	1159	0,15	176,20	6750	27	0,20	1,42	38,31	38,74	1,12	107,56	2,81	1.) Wiper sem revestimento

4.4 Perfilômetro Hommelwerke T8000

Traçadores de perfil são equipamentos utilizados para medir a rugosidade de uma superfície (vide figura 3). Seu funcionamento se dá através do deslizamento de uma ponta de diamante sobre a peça, conforme ilustrado pela figura 4 abaixo. A rugosidade medida por tais equipamentos pode ser expressa pelas equações:

$$R_a = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L |y_x - y_{med}| \cdot dx \quad (1)$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \cdot \int_0^L (y_x - y_{med})^2 \cdot dx} \quad (2)$$

$$R_t = y_{max} - y_{min} \quad (3)$$

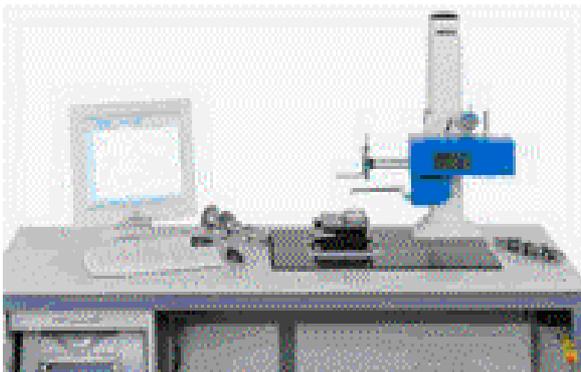


Figura 3 – perfilômetro Hommelwerke T8000

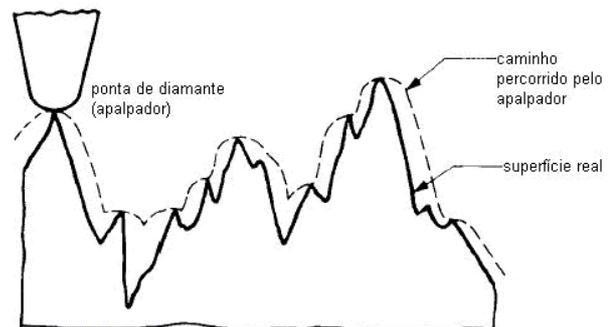


figura 4 – condição de medição (rugosidade)

Nas equações acima, y_{med} corresponde ao valor médio na direção vertical, $y(x)-y_{med}$ é o desvio da linha de centro média em qualquer posição (x) ao longo do curso de medição ($x=0$ a $x=L$). R_a representa a rugosidade média, R_q a rugosidade quadrática média e R_t a maior amplitude da rugosidade (“peak-to-valley”). Para medir a rugosidade das peças torneadas utilizou-se um perfilômetro Hommelwerke T8000 que possui resolução de $\pm 8\mu\text{m} / 1 \text{ nm}$. Devido as suas características o perfilômetro Hommelwerke T8000 também foi utilizado para traçar o perfil das superfícies de diversos insertos.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS DA VIDA E DESGASTE DAS FERRAMENTAS

5.1 Desgaste de Crateramento

A figura 5 abaixo mostra imagens obtidas de um microscópio óptico, para diferentes estágios de desgaste da ferramenta. As figuras abaixo representam na parte superior o inserto ainda pouco desgastado, logo após o início da usinagem. Na figura do meio está sendo mostrado um estágio intermediário de desgaste e na figura abaixo a ferramenta em estágio avançado de desgaste, pouco antes do final de sua vida útil. As ferramentas representadas nas figuras abaixo foram todas sujeitas as mesmas condições de corte, ou seja, velocidade de corte de 91 m/min e avanço de 0,152 mm/volta; que foi a condição que apresentou as melhores vidas úteis. Em função da dificuldade de se obter boas imagens dentro de um mesmo intervalo de tempo, as imagens representadas abaixo são referentes a diferentes intervalos de usinagem.

A primeira figura abaixo nos mostra o progresso do desgaste de crateramento que ocorreu sobre um inserto com baixo teor de CBN. Este tipo de desgaste é típico e mais acentuado em ferramentas sem cobertura. Na parte superior da figura fica nítido que o crateramento começa a se formar na região onde há contato entre peça e ferramenta. Esta região é definida pela profundidade de corte e avanço, sendo que esta se deu na região do chanfro-T. A seqüência de figuras abaixo mostra o desenvolvimento no crescimento do crateramento. Apesar de ser difícil de identificar através das figuras abaixo, a aresta de corte que era altamente negativa e robusta devido ao chanfro torna-se frágil e com ângulo positivo em função do crateramento (como referência vide figura 6).

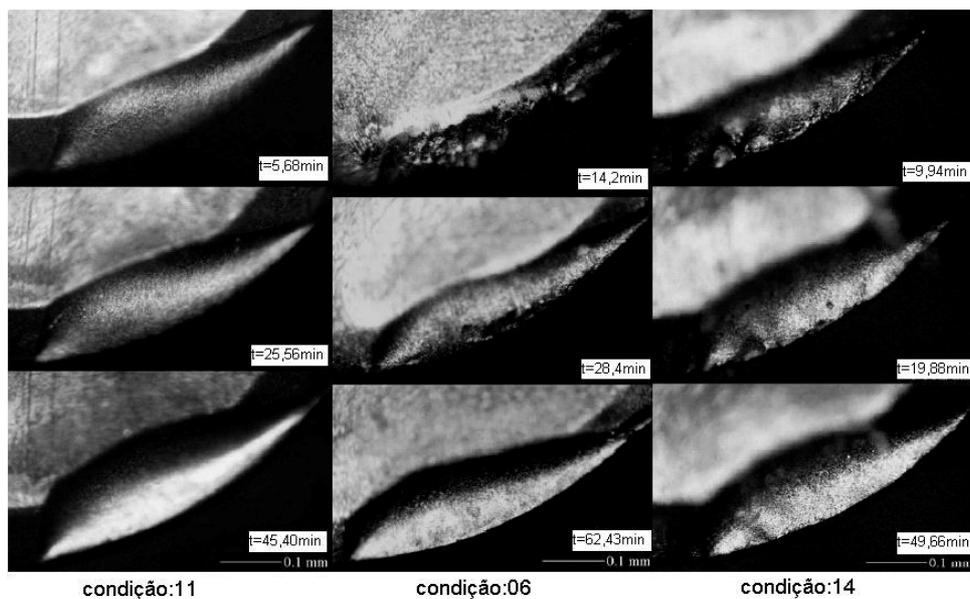


figura 5 – desenvolvimento do crateramento

Conforme pode ser visto nas figuras acima, o crateramento apresentado pelo inserto com e sem cobertura é muito semelhante à partir do momento em que a cobertura é desgastada pelo atrito. Nota-se uma diferença no mecanismo inicial de desgaste da ferramenta com cobertura, pois ao invés de ocorrer crateramento desde o início do processo de usinagem, primeiramente ocorre o lascamento da cobertura. Como vantagem do inserto com cobertura pode ser dito que a camada de cobertura age como elemento retardador do crateramento, pois este só se inicia após o completo desgaste da cobertura. Desta forma a vida útil dos inserts com cobertura é melhorada.

5.2 Quebra da Ferramenta

As imagens obtidas através do microscópio óptico não nos permitem uma observação detalhada da alteração na geometria da aresta de corte. Desta forma o perfil da aresta de corte foi traçada utilizando-se o perfilômetro Hommelwerke.

O perfil apresentado pela figura 6 abaixo deixa claro que a aresta de corte, a qual inicialmente era altamente negativa devido ao chanfro, torna-se positiva devido ao desgaste por crateramento que leva a alteração da aresta de corte. Uma típica quebra de ferramenta pode ser vista na figura 7. Todas as ferramentas acabam apresentando características semelhantes quando da quebra, visto que esta normalmente ocorre na área da aresta de corte fragilizada pelo desgaste.

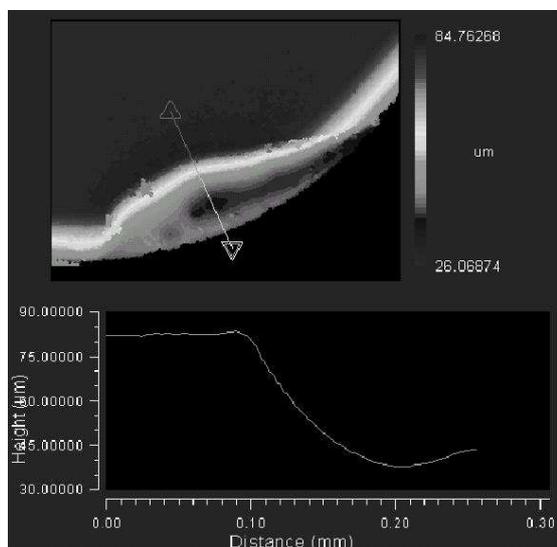


figura 6 perfil da aresta de corte condição 6

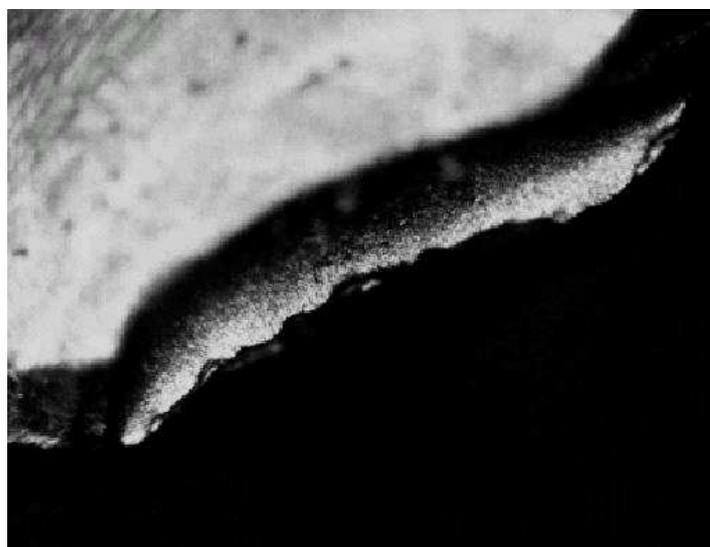


figura 7 – inserto com aresta de corte fraturada

5.3 Vida da ferramenta

Visto que normalmente as ferramentas quebram devido a uma fratura na aresta de corte, não foi definido um tamanho de cratera como parâmetro de avaliação de fim da vida útil. A tabela 3 apresentada anteriormente contém os resultados experimentais para cada uma das condições testadas. Os resultados mostram que a velocidade de corte influencia a vida útil mais significativamente do que o avanço. Desta forma, menor velocidade de corte resulta num significativo aumento do tempo total de corte e do volume de material removido, melhorando desta forma a vida útil da ferramenta. A diminuição do avanço também leva ao aumento da vida útil, porém não de forma tão significativa (vide figuras 8 a, b, c e d).

No entanto, analisando-se a vida útil da ferramenta em função do volume de material removido, nota-se que a diminuição do avanço desfavorece a vida útil. Para que se possa efetuar corretamente a escolha da melhor condição a ser aplicada é necessário que os parâmetros envolvidos com a vida útil da ferramenta sejam entendidos, ou seja: volume removido, taxa de remoção, custo da ferramenta e custo operacional. No caso das ferramentas de CBN uma análise econômica do processo torna-se indispensável para a otimização do torneamento duro visto que este tipo de ferramenta é extremamente cara. Esta otimização pode ser feita através do emprego da equação de Taylor. Conforme mostrado na tabela 3 acima, a equação de Taylor (eq.-4) apresentou uma boa correlação com os dados práticos, ficando claro que para o estudo em questão esta pode ser utilizada para determinação de parâmetros iniciais (vide figuras 9 a, b, c e d)

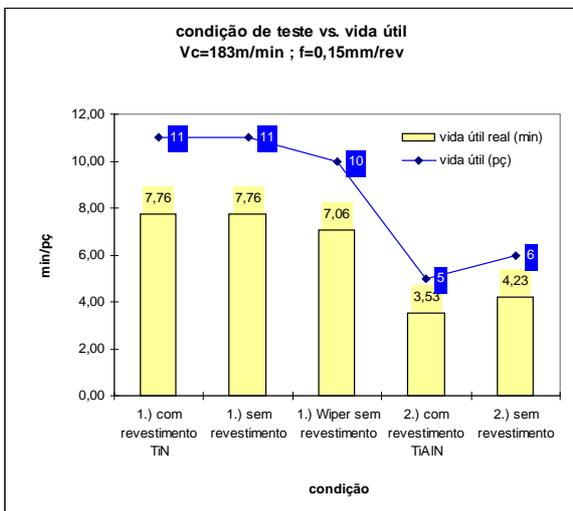
$$T = k \cdot v^a \cdot f^b \quad (4)$$

6. CONCLUSÕES

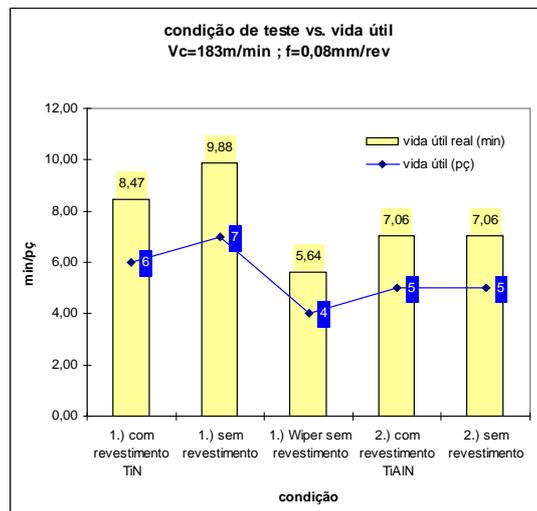
Ensaio realizados com insertos de CBN com coberturas de TiN, TiAlN e geometria “wiper” sob condições que abrangiram todo o campo de aplicação recomendado pelos fabricantes apresentaram as particularidades mostradas nos resultados anteriores. Os insertos foram monitorados ao longo de sua vida útil, podendo-se observar lascamento e crateramento sobre estes. Tanto os insertos com cobertura TiN como os com TiAlN apresentaram significativo lascamento da

camada de cobertura. Tendo sido removida a cobertura devido ao lascamento, o crateramento que se procede sobre a superfície dos insertos é similar àquela encontrada sobre os insertos sem cobertura. Os insertos com geometria wiper apresentaram um comportamento muito similar ao dos insertos sem cobertura do mesmo fornecedor, a não ser a vida útil. Esta foi menor nos insertos de geometria wiper quando comparados aos demais.

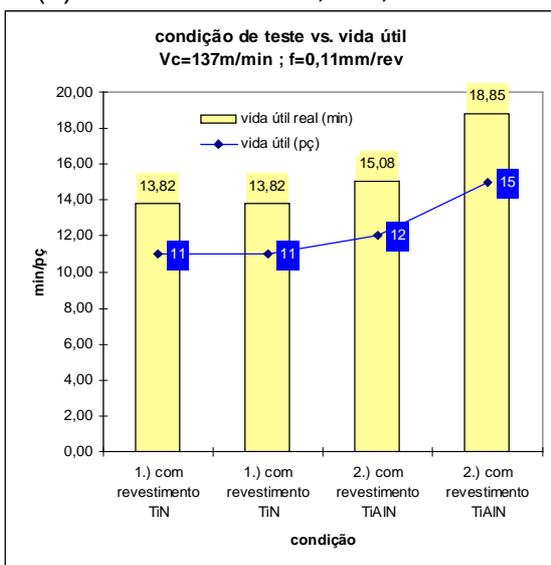
A escolha de parâmetros de corte otimizados devem ser feitos balanceando-se a vida útil da ferramenta vs. produtividade. Em geral condições de corte que favorecem a produtividade tendem a diminuir a vida útil da ferramenta. Com o intuito de se compreender melhor os efeitos da condição de corte sobre a vida útil da ferramenta, a equação empírica de Taylor foi empregada. As constantes empíricas “a” e “b” desta equação foram obtidas da literatura. Como a vida útil estimada através da equação de Taylor obteve um desvio máximo de 12,84% com relação a vida útil experimental pode-se dizer que apresentou um boa correlação. Os resultados experimentais apresentados através deste trabalho fazem parte de um estudo dos efeitos dos parâmetros de corte sobre o desgaste em ferramentas de CBN. Conforme já mencionado na escolha de parâmetros otimizados de corte um balanceamento entre vida útil da ferramenta vs. produtividade deve ser feito, devendo-se também considerar os efeitos da taxa de remoção de material com a qualidade da superfície que se pretende obter. Estudos futuros serão realizados com a finalidade de correlacionar e entender os efeitos mencionados acima.



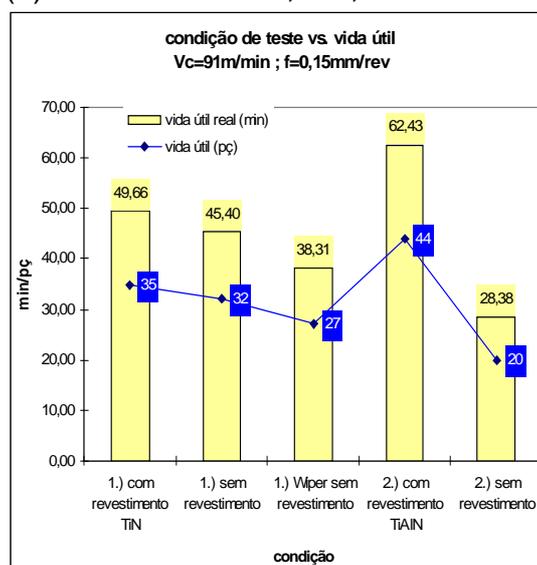
(a) – $V_c=183\text{m/min}$; $f=0,15\text{mm/rev}$



(b) – $V_c=183\text{m/min}$; $f=0,08\text{mm/rev}$

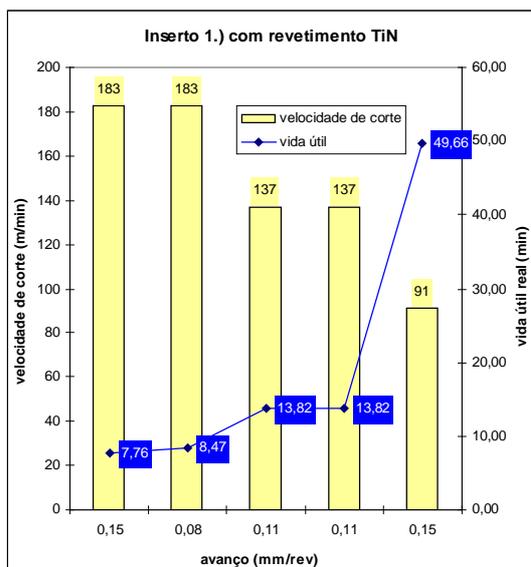


(c) - $V_c=137\text{m/min}$; $f=0,11\text{mm/rev}$

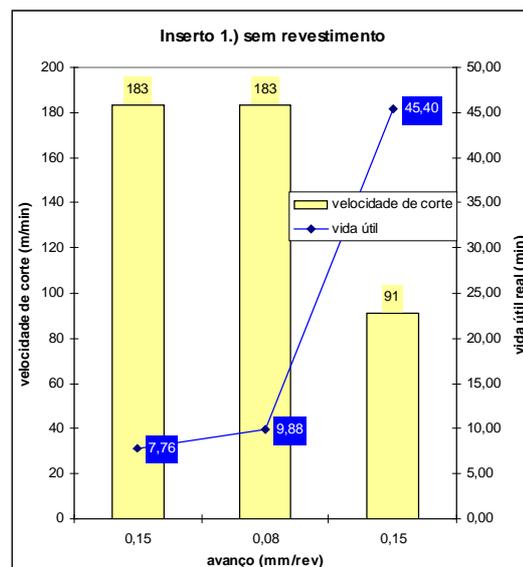


(d) - $V_c=91\text{m/min}$; $f=0,15\text{mm/rev}$

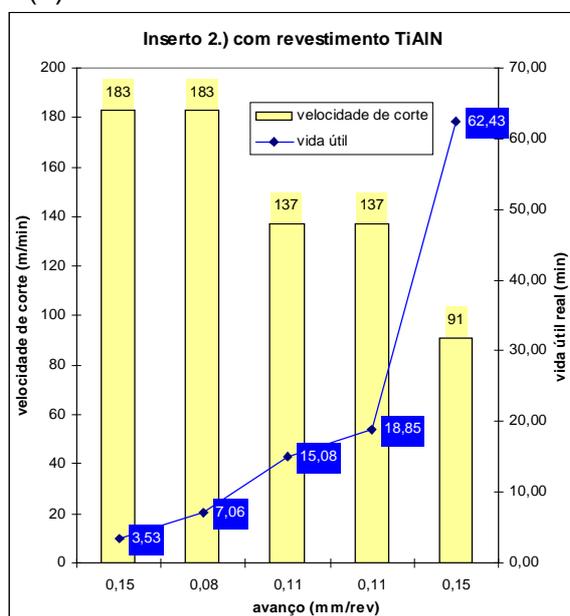
Figura 8 – Resultados experimentais da vida das ferramentas para diferentes condições de corte.



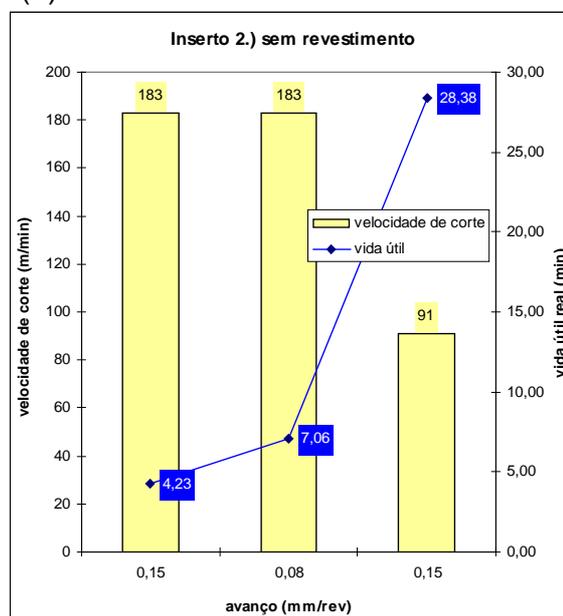
(a) inserto marca 1 com revestimento



(b) inserto marca 1 sem revestimento



(c) - inserto marca 2 com revestimento



(d) – inserto marca 2 sem revestimento

Figura 9 – Vida de ferramentas para os insertos das marcas 1 e 2 com e sem revestimento.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Tchätsch, H. **Praxis der Zerspantechnik**, 5.ed. Braunschweig –Wiesbaden, 1999
2. König, W ; Klocke, F. **Fertigungsverfahren Drehen**, 6.ed. –Heidelberg, 1997
3. Schäpermeier Egbert. **Zerspanungsoptimierung beim Drehen von Stählen**, - München, 1999
4. C.W. Wegst. **Stahlschlüssel**, 15.ed. –Marbach, 1989
5. Abrão, A. M; Apinwall, D. K. & Wise, M. L.; **Tool Life and Workpiece Surface Integrity Evaluations When Machining Hardened AISI H13 and AISI E52100 Steels with Conventional Ceramic and PCBN Tool Materials**; SME Technical Paper MR95-159; 1995.
6. Faccio, I. , Stipkovic Filho, M. & Batalha, G. F. 2004, **Investigações do acabamento superficial de usinagem em altíssimas velocidades**, Anais do III CONEM, Belém, UFPA, (em CD).
7. König, W., Komanduri, R., Tonshoff, H. K., and Ackershott, G.; **Machining of Hard Materials**, Annals of the CIRP, Vol. (33) No. (2) pp. (417-427); 1984.
9. Tonshoff, H.K., and Hetz, F.; **Surface Integrity of Difficult to Machine Materials**, 2nd IMEC Session II, pp. (120-136);

- 10 Tonshoff, H.K., Wobker, H.G., and Brandt, D.; **Hard Turning—Influence on the Workpiece Properties**, Transactions of NAMRI/SME, Vol. (23) pp. (215-220); 1995.
- 11 Abrao, A. M. & Aspinwall, D. K.; **The Surface Integrity of Turned and Ground Hardened Bearing Steel**, Wear, Vol. (196) pp. (279-284); 1996.
- 12 Diniz A. E. & Caldeirani Filho J.; **Influence of Cutting Conditions on Tool Life, Tool Wear and Surface Finish in the Face Milling Process**, J. Braz. Soc. Mech. Sci. vol.24 nr.1 Rio de Janeiro Mar. 2002
- 13 Lengauer, W.; **Functionally graded hardmetals**, Journal of Alloys and Compounds, 338 (2002) 194-212
- 14 Dreyer Klaus; **Neue Entwicklungen bei Hartmetallen, Cermets und Beschichtungen in Versuch und Praxis**, Widia GmbH
- 15 Özel Tugrul; **Modeling of Hard Part Machining: Effect of Insert Edge Preparation in CBN Cutting Tools**, Department of Industrial Eng. –Rutgers, State University of New Jersey