

TORNEAMENTO DO AÇO ASTM 300M ENDURECIDO COM FERRAMENTAS CERÂMICA E PCBN DE GEOMETRIA WIPER

Gildiney Tavares de Sales

Alcoa Fábrica de Alumínio SA, Rodovia Poços de Caldas x Andradas - km 10, 37701-970, Poços de Caldas – MG, Brasil. gildineyts@uol.com.br

João Roberto Ferreira

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, 37500-903, Itajubá – MG, Brasil. jorofe@unifei.edu.br

Resumo. Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo entre os resultados obtidos no torneamento de acabamento no aço endurecido ASTM 300M com ferramentas de cerâmica mista (Al_2O_3+TiC) e de PCBN ($CBN+TiN$) com geometria convencional e geometria alisadora, onde foram comparados o acabamento superficial, desgaste e avarias nas ferramentas, tempo total de usinagem, custo e vida das ferramentas de corte. Para tanto, foi adotado como critério de fim de vida da ferramenta uma rugosidade (R_a) igual ou menor a 0,6 microns, acabamento este compatível ao processo de retificação. Após todos ensaios quantitativos fez-se uma análise comparativa do custo x benefício, onde as ferramentas de cerâmica de geometria alisadora usando as condições de corte ($V_c=150$ m/min e $f=0,20$ e $0,30$ mm/v) proporcionaram os menores custos de usinagem, sendo também as que apresentaram as melhores vidas para a aresta de corte e um dos menores tempos de usinagem.

Palavras-chave: Torneamento de aços endurecidos, Aço ASTM 300M, Ferramentas cerâmica e de PCBN, Geometria convencional x alisadora.

1. INTRODUÇÃO

O aço que será utilizado nos ensaios de usinagem deste trabalho e que recebe a denominação comercial ASTM 300M é um melhoramento do aço AISI 4340, que recebe uma maior quantidade de silício, carbono e molibdênio, também é adicionado em sua composição química o vanádio. Esta composição química foi formulada na década de 50 pela International Nickel Company ⁽¹⁾. O aço 300M está sendo cada vez mais utilizado nos mais diversos setores da indústria, devido possuir uma simultaneidade de boas propriedades mecânicas e químicas, como: usinabilidade; soldabilidade; limite de escoamento; limite de resistência à tração; resistência à propagação de trincas ou tenacidade a fratura; resistência a corrosão e o problema da decarbonetação; dureza e resistência ao amolecimento a altas temperaturas ⁽²⁾.

Dentre seus maiores consumidores estão a indústria aeronáutica/aeroespacial, que o utiliza em eixos, engrenagens, pinos, fusos, peças diversas de segurança, em estruturas de trens de pouso, fixação de motores e demais estruturas das aeronaves ^(3,4). A indústria bélica também é um setor onde o aço 300M tem grande empregabilidade. É utilizado na confecção dos tubos dos foguetes, em mísseis e em blindagens conjugadas de carros de combate leve e de helicópteros ⁽⁵⁾.

Com a evolução e aplicação desses novos materiais na indústria mecânica (ex.: aço 300M), surge

uma outra demanda no setor, no que se refere aos processos de fabricação. Neste trabalho estaremos abordando o processo de usinagem, especificamente o torneamento de aços endurecidos. A usinagem de aços endurecidos até poucos anos atrás era em quase sua totalidade dominada pelo processo de retificação, principalmente pela deficiência das máquinas operatrizes (pouca rigidez e flexibilidade) e pela falta de ferramentas de corte com propriedades avançadas como alta dureza a quente, resistência ao desgaste e a altas temperaturas, tenacidade e estabilidade química. Com o desenvolvimento de novos materiais de ferramentas de corte como o PCBN e cerâmica, mais o avanço na manufatura de máquinas operatrizes mais rígidas, computadorizadas e com tolerância extremamente precisa, a operação de torneamento de aços endurecidos vem se tornando cada vez mais comum e tomando mercado do processo de retificação, pois os benefícios se comparado com o processo de retificação são imensos e altamente vantajosos ^(6,7,8,9,10). Com a inovação das ferramentas no que se refere ao poder de acabamento, devido principalmente a chamada ferramenta de geometria alisadora (*wiper*), é possível conseguir um acabamento super fino se comparado com ferramentas convencionais (conv.). Pode-se conseguir um acabamento igual utilizando avanços na ordem de duas a quatro vezes acima, com isso obtém-se alta produção com mesmo padrão de acabamento. Dentre os materiais de ferramentas de corte existentes hoje, utilizados no torneamento de aços endurecidos, foi selecionado para os ensaios deste estudo comparativo as ferramentas de cerâmica mista e de PCBN, com geometria convencional e alisadora.

Esse novo formato na geometria da ponta da ferramenta de corte, denominado ferramenta de geometria alisadora (*wiper*) chegou no mercado no final da década de 90. É fundamentada na concordância de 3 círculos circunscritos na ponta da ferramenta, conforme mostrado na Figura 1. Essa combinação de diferentes raios acrescenta a ferramenta o efeito alisador, onde para uma mesma condição de corte pode-se melhorar duas vezes o acabamento superficial de uma peça usinada com ferramentas alisadoras em comparação com ferramentas comuns (raio de ponta convencional), ou ainda consegue-se manter o mesmo acabamento superficial após dobrar a taxa de avanço, conforme mostrado na Figura 2 ⁽¹¹⁾.

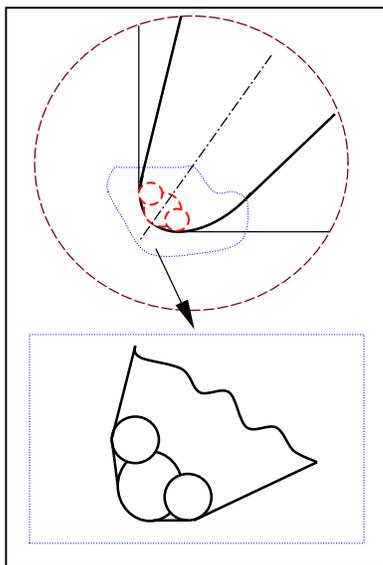


Figura 1. Geometria da ponta de corte de uma ferramenta alisadora ⁽¹²⁾

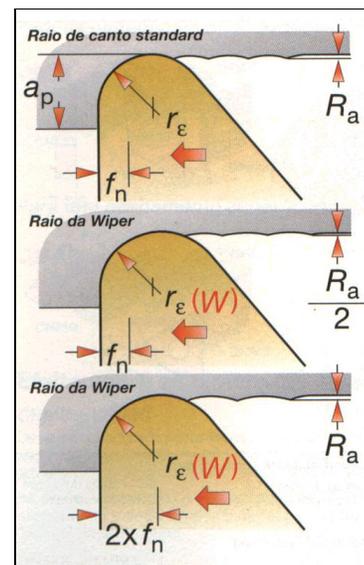


Figura 2. Relação de avanço e rugosidade para ferramentas alisadora e conv. ⁽¹³⁾

Esta geometria de ferramenta relativamente nova aplicada nas classes cerâmicas e de PCBN, aumenta ainda mais a possibilidade de substituição do processo de retificação pelo processo de torneamento em peças endurecidas (maior que 50 HRC), pois possibilita atingir rugosidades de até

0,3 microns (com perspectivas de valores menores), com rapidez, economia, versatilidade e praticamente sem degradação do meio ambiente, pois não é necessário a utilização de fluido refrigerante ou lubrificante⁽¹³⁾. A geometria das ferramentas de corte alisadoras (*wiper*) proporciona os seguintes benefícios:

- Diminuição dos custos de usinagem, devido à ótima produtividade;
- Pequeno ou nenhum acabamento superficial posterior, devido ao baixo nível de rugosidade conseguido;
- Produção com excelente controle dimensional.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Máquina-Ferramenta Utilizada

Para realização deste trabalho foi utilizado um Torno CNC Nardini Logic 175, com as seguintes características: potência máxima no eixo de 7,5 CV; rotação máxima de 4000 rpm; torre com oito posições; torque máximo de 200 Kgf.m e suporte ISO PCLNL 1616H12.

2.2. Ferramentas Utilizadas

Foram utilizadas neste trabalho ferramentas de corte de cerâmica mista e de PCBN com geometrias convencional e alisadora (*wiper*), com as seguintes características:

- Ferramenta de cerâmica mista ($Al_2O_3 + TiC$) classe Sandvik CC 650 com geometria conv. Esta ferramenta é indicada para operações de acabamento em aços endurecidos, ferro fundido, ferros fundidos endurecidos e superligas resistentes ao calor, onde a combinação de resistência ao desgaste e boas propriedades térmicas são necessárias. Inserto ISO CNGA 120408 T01020;
- Ferramenta de cerâmica mista ($Al_2O_3 + TiC$) classe Sandvik CC 650 com geometria *wiper*. Esta ferramenta é indicada para operações de acabamento em aços endurecidos, ferro fundido, ferros fundidos endurecidos e superligas resistentes ao calor, onde a combinação de resistência ao desgaste e boas propriedades térmicas são necessárias. Inserto ISO CNGA 120408 T01020WG.
- Ferramenta de PCBN (CBN + TiN) classe Sandvik CB 7020 com geometria conv. Esta ferramenta é indicada para operações de acabamento em aços e ferros fundidos endurecidos, por ser resistente ao desgaste e reações químicas. Inserto ISO CNGA 120408 S01020A;
- Ferramenta de PCBN (CBN + TiN) classe Sandvik CB 7020 com geometria *wiper*. Esta ferramenta é indicada para operações de acabamento em aços e ferros fundidos endurecidos, por ser resistente ao desgaste e reações químicas. Inserto ISO CNGA 120408 T01020AWH.

2.3. Material Usinado

O material dos corpos de prova utilizados nos ensaios de usinagem foi o aço 300M, conforme composição química ASTM mostrado na Tabela 1. Este material foi tratado termicamente (temperado e revenido) para obter uma dureza de 51 HRC, dureza média observada nos ensaios até uma profundidade de 1,5 mm. A Figura 3 mostra o croqui dos corpos de prova.

Tabela 1. Composição química do aço ASTM 300M

Composição química (% em peso)									
Norma	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	P	S
ASTM	0,40-0,46	1,45-1,80	0,65-0,90	0,70-0,95	1,65-2,00	0,30-0,45	0,05	0-0,035	0-0,040

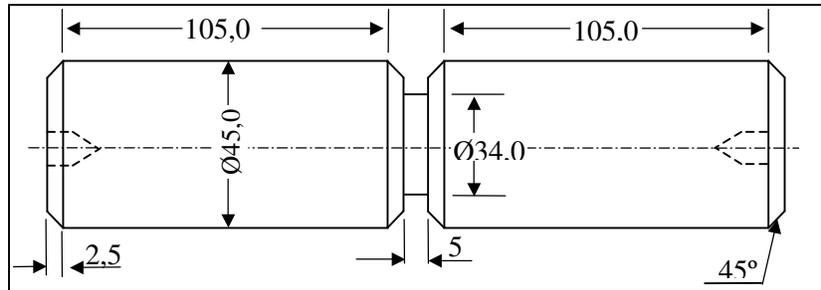


Figura 3. Corpos de prova do aço 300M utilizados nos ensaios de torneamento.

2.4. Ensaio e Condições de Usinagem

Após a realização de ensaios preliminares (qualitativos), foram definidas as melhores condições de usinagem a serem empregadas nos ensaios definitivos (quantitativos), para as ferramentas de cerâmica mista e de PCBN, como segue:

- Velocidade de corte de 150, 200 e 250 m/min;
- Avanço de corte de 0,08 mm/v para as ferramentas de geometria conv.;
- Avanço de corte de 0,15, 0,2 e 0,3 mm/v para as ferramentas de geometria *wiper*;
- Profundidade de corte de 0,2 mm.

Para cada velocidade de corte de 150, 200 e 250 m/min foram realizados testes com todas ferramentas de corte, onde para cada geometria foi adotado um avanço de corte em particular, conforme citado acima, sempre com a profundidade de corte constante ($a_p=0,2$ mm). Ao longo de cada diferente condição de usinagem, observou-se a vida da ferramenta em função do acabamento superficial ($R_a \leq 0,6$ microns), os principais desgastes e avarias das ferramentas de corte, o tempo de corte e o processo de formação do cavaco.

2.5 Instrumentos de medição

- Micrômetro Mitutoyo;
- Durômetro Ottowolpert – Werke, modelo Testor HT 1^a;
- Rugosímetro Taylor Hobson, modelo Surtronic 3⁺;
- Microscópio Leica, modelo MZ12;

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ferramentas Cerâmicas (CC 650)

3.1.1 Vida e Acabamento Superficial

A Figura 4 mostra o comportamento da rugosidade R_a (microns) obtida em função do número de peças usinadas, utilizando ferramentas cerâmica CC 650 com geometria *wiper* e convencional para velocidades de corte de 150 e 200 m/min. A ferramenta cerâmica *wiper* utilizando velocidade de corte de 150 m/min. foi muito superior a ferramenta de geometria convencional, tanto no número de peças usinadas como nos valores de rugosidade R_a . A partir da 19^a peça usinada com a ferramenta de geometria conv. ($V_c=150$ m/min. e $f= 0,08$ mm/v) o limite de rugosidade ficou fora do proposto (R_a máximo de 0,60 microns), atingindo um valor de $R_a=0,61$ microns. Os resultados obtidos com a ferramenta cerâmica *wiper*, nas diferentes condições de corte, em nenhum momento ultrapassaram o limite máximo de rugosidade. Com avanço de $f= 0,3$ mm/v obteve-se uma rugosidade $R_a=0,44$ microns

na última peça usinada (36ª) cujo fim de vida da ferramenta foi uma avaria e para o avanço de $f=0,2$ mm/v obteve-se uma rugosidade $R_a=0,34$ microns na 56ª peça.

O principal agente determinante do fim de vida das ferramentas de corte foi o lascamento seguido de quebra em função do excesso de vibração devido à baixa rigidez da máquina. Isto explica a diferença nos resultados de vida das ferramentas *wiper* entre os avanços de corte de 0,2 e 0,3 mm/v e entre as velocidades de corte de 150 e 200 m/min. Pois, com avanço $f=0,2$ mm/v tem-se menor esforço de corte e também menor rugosidade culminando com o melhor desempenho (nº peças usinadas) da ferramenta nesta condição. Entretanto, quando utilizou-se $V_c=200$ m/min. a rugosidade obtida ($R_a=0,25$ um) com a ferramenta *wiper* foi muito superior a ferramenta de geometria convencional, porém com uma vida extremamente baixa, ocorrendo falha catastrófica (quebra) durante a usinagem da sexta peça. Foram realizados alguns testes com velocidades de corte entre 165 e 180 m/min., no entanto a combinação dessas elevadas velocidades de corte com os altos avanços (0,2 e 0,3 mm/v) e a baixa rigidez do torno, proporcionaram elevados níveis de vibração. Como a tenacidade desta classe de ferramenta (cerâmica mista) não é uma de suas principais propriedades, os lascamentos e quebras foram inevitáveis. Um outro fato notado no comportamento das curvas da figura 4 é a oscilação dos valores de rugosidade a medida que se usina mais peças, principalmente na ferramenta de geometria convencional. Isto é explicado pelo fato dos pequenos lascamentos, onde constantemente a aresta de corte era afiada e assim voltando a uma condição ideal de corte. Devido a isso houve uma preocupação quanto ao aspecto dimensional das peças usinadas, porém a variação não foi expressiva. A cada quatro peças usinadas verificou-se um aumento no diâmetro de 0,005 mm.

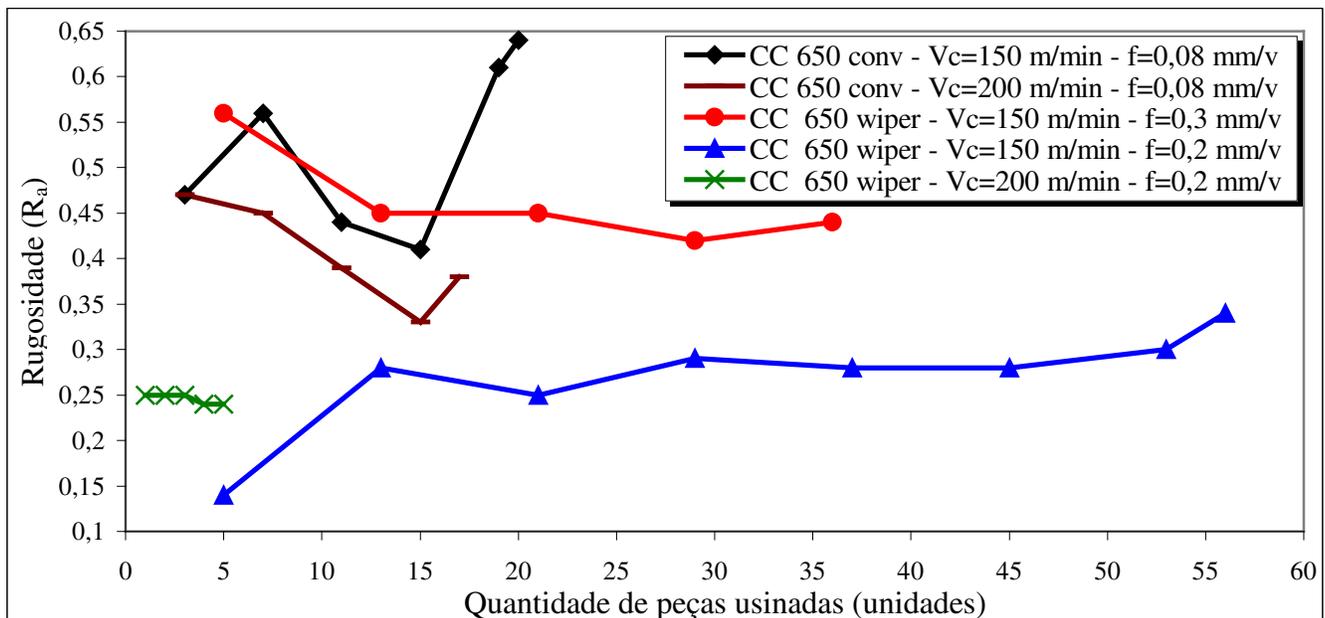


Figura 4. Rugosidade R_a em função do número de peças usinadas.

3.1.2. Desgaste e Avarias na Ferramenta de Corte

O desgaste de cratera e o lascamento foram predominantes em todas ferramentas e parâmetros utilizados, porém conforme já ressaltado anteriormente o lascamento foi bem mais intenso. A Figura 5 mostra a ponta da ferramenta de corte totalmente destruída (quebrada) e um grande desgaste de cratera, da ferramenta de geometria convencional, utilizada para usinar o corpo de prova do aço 300M com uma velocidade de corte $V_c=200$ m/min. e avanço de corte $f=0,08$ mm/v. Tal gravidade do desgaste e avaria foram provocados pelos altos níveis de vibração, resultante da alta velocidade de corte e baixa rigidez da máquina. Nas ferramentas *wiper*, os lascamentos e quebras foram mais intensos e danosos do

que nas ferramentas de geometria convencional. Igualmente como observado nas ferramentas convencionais o fator ocasional dessas avarias foi os altos níveis de vibração, que nestes ensaios foram agravados pelas altas taxas de avanço de corte ($f=0,2$ e $0,3$ mm/v) e pelo aumento dos esforços de corte devido ao raio alisador. A Figura 6 mostra a ponta da ferramenta bastante danificada com pequenos e grandes lascamentos. Neste caso não ocorreu desgaste de cratera, devido à predominância de lascamentos nas superfícies de folga e saída da ferramenta.

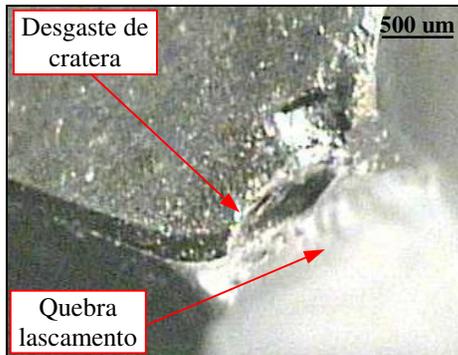


Figura 5. Desgaste de cratera e avaria na ferramenta de geometria conv. (Vida de 17 peças, $V_c=200$ m/min. e $f=0,08$ mm/v).

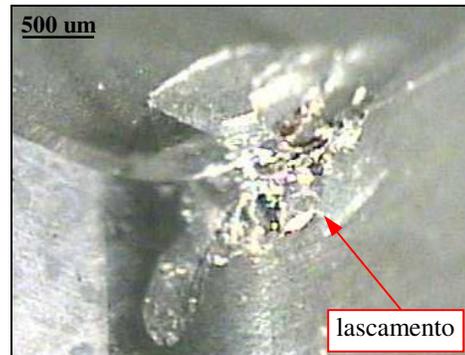


Figura 6. Avaria na ferramenta *wiper* (Vida de 36 peças, $V_c=150$ m/min, $f=0,3$ mm/v).

3.2. Ferramentas de PCBN (CB 7020)

3.2.1. Vida e Acabamento Superficial

A Figura 7 mostra o comportamento da rugosidade R_a em função do número de peças usinadas, pelas ferramentas de PCBN com geometria *wiper* e convencional para velocidades de corte de 150, 200 e 250 m/min; e avanços de 0,08, 0,15 e 0,2 mm/v. A ferramenta *wiper* trabalhando com velocidade $V_c=150$ m/min. e avanço $f=0,15$ mm/v foi muito superior do que quando usando avanço $f=0,20$ mm/v, tanto no que tange os aspectos de rugosidade como no número de peças usinadas. Já em comparação à ferramenta de geometria convencional, o grande diferencial imposto pela ferramenta *wiper* para o avanço de corte $f=0,15$ mm/v foi o número de peças usinadas para o critério de fim de vida $R_a \leq 0,60$ microns, onde foram usinadas 68 peças e na última observou-se uma rugosidade $R_a=0,24$ microns.

Já na mesma ferramenta *wiper*, porém para o avanço de $f=0,2$ mm/v o comportamento do valor da rugosidade foi totalmente arbitrário e inesperado, pois após a 7ª peça usinada o valor da rugosidade R_a já era superior ao limite de 0,6 microns. O comportamento da curva também foi muito ascendente quanto ao aumento dos valores de rugosidade em função do número de peças usinadas. Nos ensaios com a ferramenta com geometria convencional ($V_c=200$ m/min.) conseguiu-se usinar 38 peças dentro do limite de rugosidade antes da quebra/lascamento da aresta de corte. A rugosidade da última peça usinada antes do fim de vida da ferramenta (avaría) foi $R_a=0,22$ microns. Igualmente observado nos ensaios com as ferramentas cerâmicas, o excesso de vibração causado pela baixa de rigidez do torno também teve grande influência nos resultados dos valores das rugosidades e na vida das ferramentas de PCBN. Porém notou-se uma maior amplitude dos valores de desgaste de flanco e principalmente de cratera se comparado com os resultados dos ensaios com as ferramentas cerâmicas. Como nas ferramentas cerâmicas, também houve para o PCBN uma pequena oscilação no comportamento dos valores de rugosidade da peça, isto é explicado pelo acomodação do desgaste durante o ciclo de vida da ferramenta. Também foi verificada para a ferramenta de PCBN, a mesma ordem de variação dimensional das peças usinadas ocorridas nos ensaios com ferramentas cerâmicas, ou seja: a cada quatro peças usinadas um aumento no diâmetro de 0,005 mm.

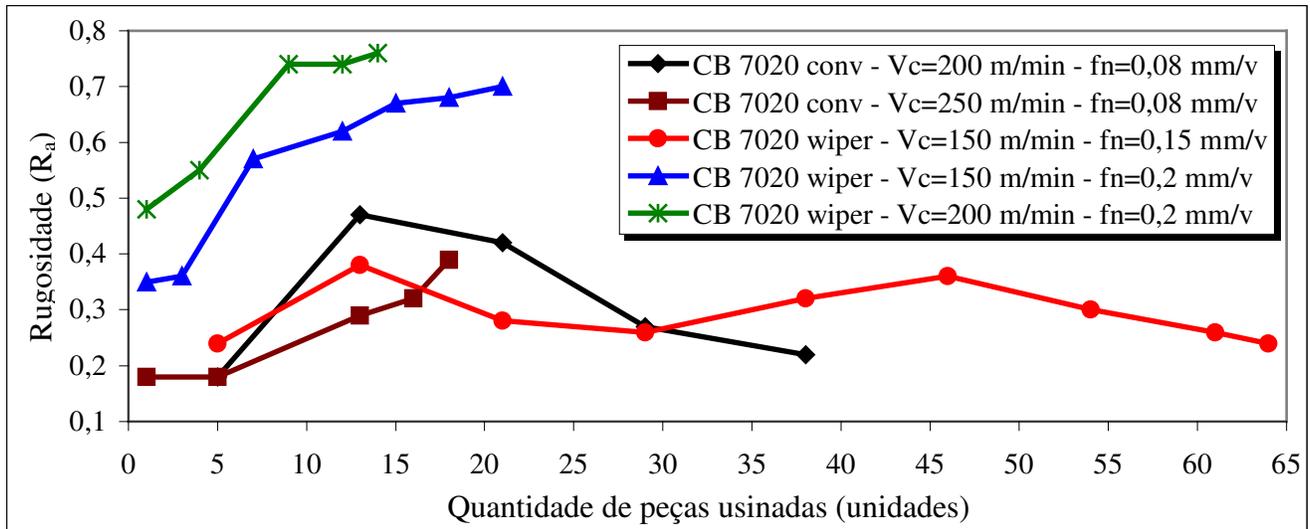


Figura 7. Rugosidade R_a em função do número de peças usinadas.

Observou-se nos ensaios com as ferramentas de PCBN *wiper* um pior acabamento superficial em comparação com as ferramentas cerâmicas *wiper* para uma mesma condição de corte. Tais diferenças são causadas pela maior eficácia do efeito alisador da geometria *wiper* denominada WG da cerâmica, em comparação ao mesmo efeito alisador proporcionado pela geometria *wiper* WH do PCBN. Devido a isso não se usinou com a ferramenta de PCBN 7020 para um avanço de corte $f=0,30$ mm/v. Estas geometrias WG e WH são combinações entre os três raios circunscritos na ponta da ferramenta, os quais proporciona um maior ou menor efeito alisador das ferramentas de geometrias alisadoras. Constatou-se que a geometria *wiper* WH da ferramenta de PCBN provocou maiores níveis de vibração na operação do que a geometria *wiper* WG da ferramenta cerâmica, o que também contribuiu negativamente para o acabamento superficial das peças.

3.2.2. Desgaste e Avarias na Ferramenta de Corte

Nos ensaios com as ferramentas de PCBN observou-se uma menor ocorrência de avarias (lascamentos e quebras) provenientes do excesso de vibração. Porém notou-se uma maior amplitude dos valores de desgaste de flanco e principalmente de cratera se comparado com as ferramentas cerâmicas, o que se deve a maior tenacidade e menor estabilidade química das ferramentas de PCBN. Na Figura 8 é mostrada a ponta de corte da ferramenta avariada, onde se observa um significativo lascamento somado ao desgaste de cratera. Observou-se também nas ferramentas de PCBN que mesmo sob efeito de vibração, as avarias ocorreram com menor intensidade e somente após um elevado desgaste de cratera e flanco.

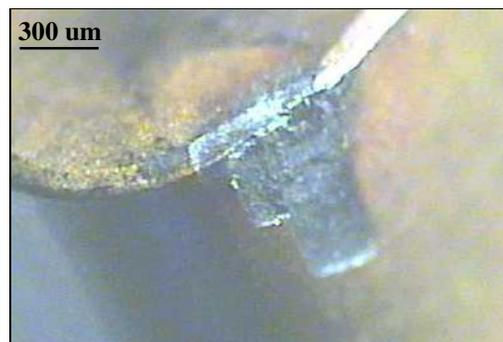


Figura 8. Desgaste de cratera e avaria na ferramenta de geometria convencional, que usinou 18 peças ($V_c=250$ m/min. e $f=0,08$ mm/v)

3.3. Formação do Cavaco

Os cavacos produzidos durante os ensaios com as ferramentas cerâmicas e de PCBN obedeceram ao mesmo formato e tipo dos cavacos descritos na literatura para torneamento de aços endurecidos. Ou seja, foram observados cavacos dente de serra no formato de fita, helicoidal ou vírgula, onde a variação destes dependia dos parâmetros de usinagem empregados e também do nível de desgaste/avarias da ponta da ferramenta, principalmente da superfície de saída do cavaco. Somente conseguiu-se o formato ideal (cavaco em formato de vírgula) quando utilizou-se altas taxas de avanço ($f= 0,2$ e $0,3$ mm/v), o que somente ocorreu nos ensaios com as ferramentas *wiper*.

3.4. Custo x Benefício

Além de analisar todas peculiaridades envolvidas no torneamento do aço endurecido 300M, como o acabamento superficial das peças usinadas e os desgastes e avarias das ferramentas de corte, o grande objetivo deste trabalho foi comparar entre si, os resultados de cada ferramenta e parâmetros de usinagem utilizados durante os ensaios. Pois a principal contribuição deste trabalho será apontar dentre todas condições qual é a que apresenta o melhor custo-benefício, para tanto foi adotado para efeito de cálculo um lote de 1000 peças a serem torneadas. As Tabelas 2 e 3 mostram respectivamente alguns valores de tempos e custos de usinagem que foram utilizados nos cálculos comparativos finais. Todo procedimento baseou-se nos conceitos de condições econômicas de usinagem ⁽¹⁴⁾.

Tabela 2. Tempos passivos dos ciclos de usinagem dos corpos de prova do aço 300M.

Descrição do tempo do ciclo analisado/levantado	Tempo (min.)
Colocação e fixação da peça	0,667
Aprox. e posicionamento da ferr.	0,167
Afastamento da ferr.	0,217
Retirada da peça	0,167
Remoção da ferr. para substituição	1,0
Colocação e ajustagem da nova ferr.	2,5
Troca da ferramenta “total” (t_{ft})	3,5
Preparo da máquina (t_p)	15,0
Aprox. e afastamento da ferr. (t_a)	0,384
Secundário (t_s)	0,834

* ferr. = ferramenta *aprox. = aproximação

Tabela 3. Custos fixos referentes ao processo de torneamento dos corpos de prova do aço 300M.

Descrição do custo	Custo (R\$)
Ferramenta CC 650 (geometria conv.)	54,17
Ferramenta CC 650 (geometria <i>wiper</i>)	62,14
Ferramenta CB 7020 (geometria conv.)	526,30
Ferramenta CB 7020 (geometria <i>wiper</i>)	651,09
Salários e encargos do operador (Sh)	15,0/pç
Custo operacional da máquina (Sm)	25,0/h
Custo de aquisição do porta-ferramenta (Vsi).	300,0

* conv. = convencional

Ao analisar a Tabela 4 nota-se que o tempo de corte foi predominante na determinação do tempo total de usinagem do lote de 1000 peças em todas condições, mesmo nas situações onde a vida da ferramenta foi muito pequena. O menor tempo de usinagem por lote foi conseguido na condição 4 com 24,38 horas, esta condição foi a que apresentou a quarta melhor vida da ferramenta (36 peças por aresta). De todas condições testadas, a que apresentou o melhor desempenho foi a condição 3, pois foi o segundo menor tempo de usinagem do lote (26,17 horas) e a que apresentou a segunda melhor vida da ferramenta (56 peças). Quanto aos custos finais de usinagem, as condições 3 e 4 apresentaram os melhores resultados. A diferença entre os custos de usinagem com ferramentas cerâmicas e de PCBN foram extremamente altas, diferença essa impactada principalmente pelo elevado custo de aquisição das ferramentas de PCBN, tempo total de usinagem e em menor intensidade pela maior vida das ferramentas cerâmicas. No aspecto custo x benefício a condição 3 apresentou o melhor desempenho,

pois entre todas foi a que proporcionou o segundo menor tempo total de usinagem do lote (26,17 horas), a segunda maior vida por aresta (56 peças) e o menor custo de usinagem do lote (R\$ 1.320,00). Comparando as condições 3 e 4, verificou-se que o impacto negativo no custo de usinagem causado pela menor vida da condição 4 (36 peças), sobrepõe o impacto positivo causado pelo menor tempo total de usinagem por peça (1,463 minutos).

Tabela 4. Tempos e custos de usinagem por peça (lote de 1000 peças).

Ferramenta/parâmetro utilizada	t_c /pç (min)	Vida (pçs)	t_t /pç (min)	t_t /lote (horas)	Kp/pç (R\$)	Kp/lote (R\$)
CC 650 conv. (f=0,08 mm/v e Vc=150 m/min.)	0,800	18	2,185	36,42	2,22	2.220,00
CC 650 conv. (f=0,08 mm/v e Vc=200 m/min.)	0,600	17	1,953	32,55	2,10	2.100,00
CC 650 <i>wiper</i> (f=0,20 mm/v e Vc=150 m/min.)	0,320	56	1,570	26,17	1,32	1.320,00
CC 650 <i>wiper</i> (f=0,30 mm/v e Vc=150 m/min.)	0,213	36	1,463	24,38	1,41	1.410,00
CB 7020 conv. (f=0,08 mm/v e Vc=200 m/min.)	0,600	38	1,885	31,42	4,71	4.710,00
CB 7020 conv. (f=0,08 mm/v e Vc=250 m/min.)	0,480	18	1,803	30,05	8,51	8.510,00
CB 7020 <i>wiper</i> (f=0,20 mm/v e Vc=150 m/min.)	0,320	07	1,710	28,50	24,40	24.440,00
CB 7020 <i>wiper</i> (f=0,20 mm/v e Vc=200 m/min.)	0,240	05	1,638	27,30	33,65	33.650,00
CB 7020 <i>wiper</i> (f=0,15 mm/v e Vc=150 m/min.)	0,427	64	1,680	28,00	3,66	3.660,00

4. CONCLUSÕES

- As ferramentas de cerâmica *wiper* proporcionaram um bom acabamento superficial da peça (Ra = 0,20 microns), que se mostrou pouco sensível ao aumento do avanço de corte;
- As ferramentas de PCBN *wiper* apresentaram resultados muito inferiores as ferramentas cerâmicas *wiper*, no que se refere ao acabamento superficial da peça e à quantidade de peças usinadas (vida). Tal resultado negativo está diretamente ligado a sua geometria alisadora WH, a qual não proporciona o mesmo efeito alisador da geometria alisadora WG das ferramentas cerâmicas *wiper* sob as condições ensaiadas neste trabalho;
- As ferramentas de cerâmica *wiper* apresentaram o melhor custo x benefício. As vantagens são extremamente significativas, pois se conseguiu excelente qualidade superficial, maior vida, menor tempo e custo de usinagem em relação às ferramentas de PCBN.
- A grande supremacia da ferramenta de geometria *wiper* sobre a convencional confirmou ainda mais a viabilidade de se tornear peças em aços endurecidos com baixo tempo, com precisão e acabamento no nível do processo de retificação;
- Como as avarias foram predominantes no fim de vida da maior parte das ferramentas testadas, acredita-se que os resultados obtidos quanto à produtividade de cada ferramenta (vida) e a própria rugosidade da peça possam ser ainda maximizados, principalmente nas ferramentas *wiper*, ao se utilizar um conjunto máquina-ferramenta com maior rigidez;

5. REFERÊNCIAS

1. ASM – Metals Handbook. Ultrahigh-strength steels. in: Properties and selection: Irons and steels v. 1. 9^a ed. Metals park. Ohio. 1978. p. 421-43.
2. Tokimatsu, Ruís Camargo. **Influência dos parâmetros microestruturais e procedimentos de ensaio, no comportamento mecânico de um aço de ultra-alta resistência e baixa liga.** 440 p. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Campinas. 1995.

3. Silva, André Luiz da Costa e; Mei, Paulo Roberto. **Aços e ligas especiais**, 2^a Ed., Sumaré. Eletrometal S. A. Metais especiais. 1988. p. 390-457.
4. Padilha, Ângelo Fernando. Materiais, Ciências dos materiais e engenharia dos materiais. **Metalurgia ABM**, v. 46, n= 391, p. 454-7, Agosto/Setembro-1990.
5. Suarez, João Carlos Miguez. Materiais metálicos para tecnologia de ponta. (Materiais metálicos para indústria bélica). **Metalurgia – ABM**, v. 46, n= 386, p 51-4, Janeiro-1990.
6. König, W., 1984. et al., Machining of hard materials. **Annals of the CIRP**, v. 33/2, p. 417-27.
7. Brandt, G., 1986. Flank and crater wear mechanisms of alumina-based cutting tools when machining steel, **Wear**, 112, p. 29-56.
8. Brisksmeir, E.; Bartsch, S., 1988, Ceramic tools – material characteristics and load types determine wear mechanisms. **Annals of the CIRP**, v. 37/1, p. 97-100.
9. Gruss, W. W., 1988. Ceramic tools improve cutting performance. **American Ceramic Societ Bulletin**, v. 67-6, p. 993-6.
10. Sorrell, C. C.; Mccartney, E. R., 1986. Engineering nitrogen ceramics: silicon nitride, β' -sialon and cubic boron nitride. **Materials Forum**, v. 9/3, p.148-61.
11. NN, 2002-01. Catálogo técnico do fabricante de ferramentas, **Sandvik Coromant**.
12. NN, 2000. Catálogo técnico do fabricante de ferramentas, **Sandvik Coromant**
13. **Sandvik Coromant do Brasil**, 2002. O Mundo da Usinagem, p. 32.
14. Diniz, A. E.; Coppini, N. L.; Marcondes, F. C.,. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 3^a ed. São Paulo. Artliber Editora Ltda. 2002. 244 p.

TURNING OF HARDENED STEEL ASTM 300M USING CERAMIC E PCBN TOOLS WITH WIPER GEOMETRY

Gildiney Tavares de Sales

Alcoa Plant of Aluminum Company, Highway Poços de Caldas vs Andradas City - km 10, 37701-970, Poços de Caldas – MG, Brasil. gildineyts@uol.com.br

João Roberto Ferreira

Itajubá Federal University, Management and Production Engineering Institute, 37500-903, Itajubá – MG, Brasil. jorofe@unifei.edu.br

Abstract. *In this work presents a comparative study between mixed ceramic (Al_2O_3+TiC) and PCBN ($CBN+TiN$) tools both with conventional and wiper geometry in finish turning of hardened steel ASTM 300M, where they were compared surface finishing, tool wear and damage, machining time, tool life and machining cost. For this, it was used as criterion of end tool life a surface roughness then less or equal $R_a=0,6$ microns, similar finishing to grinding process. Comparative cost vs benefit analisys between all tests was done. For a pack of one thousand workpieces to be turned, them mixed ceramic tools (Al_2O_3+TiC) with wiper geometry, when cutting speed $V_c=150$ m/min. and feed rate $f=0,20$ and $0,30$ mm/v showed the smallest production cost, highest tool life and lowest maching time.*

Keywords: *Turning hardened steel, ASTM 300M steel Ceramic and PCBN tools, Conventional x wiper geometry.*