

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO NO DESGASTE DE FERRAMENTAS DE TiAlN

Adriana Alencar Santos, adrianasantos@ufam.edu.br^{1,2}

Rafael Drumond Mancosu, rafadrumond@gmail.com¹

Arlindo Pires Lopes, alopes@uea.edu.br²

Aarão Ferreira Lima Neto, aaraon@ufpa.br³

¹ Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Engenharia Mecânica. Av. General Rodrigo Octávio, 6200. Coroado I. 69080-900 – Manaus - Amazonas

² Universidade do Estado do Amazonas, Escola Superior de Tecnologia, Avenida Darcy Vargas, 1200. Parque 10 de Novembro. 69050-020 – Manaus - Amazonas

³ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Civil - Campus de Tucuruí, Rua Itaipu, 36 - Vila Permanente, Tucuruí - PA, 68464-000

Resumo: O objetivo neste trabalho foi apresentar a avaliação da concentração de alumínio nas ferramentas de corte para analisar o desgaste após a usinagem. Essa pesquisa consiste não somente na análise experimental como também na análise da taxa de desgaste de cratera por regressão linear. As três ferramentas utilizadas na análise experimental foram as seguintes: uma pastilha sem revestimento e duas pastilhas possuem revestimento de TiAlN com alto e baixo teor de alumínio, respectivamente. A metodologia da pesquisa utilizada para determinar os parâmetros de usinagem e a caracterização dos materiais foi adaptada para as condições de execução disponíveis nas duas universidades públicas, parceiras no desenvolvimento científico, existentes no Amazonas, UFAM e UEA. Algumas técnicas de caracterização dos materiais foram adotadas tanto para a peça a quanto para as ferramentas de corte. A caracterização da peça de ferro fundido nodular FUCO® FE 55006 foi feita através de metalografia e da determinação da dureza Rockwell, enquanto que a caracterização das ferramentas de corte e dos recobrimentos, foi realizada através da determinação dos parâmetros da geometria das pastilhas e da microdureza Vickers. O processo de usinagem foi realizado no torno mecânico universal alternado-se as ferramentas de corte e suas pontas de acordo com as distâncias usinadas de 60, 120, 180 e 240mm com aumento gradativamente do número de passos na peça.

Palavras-chave: desgaste, ferramentas de corte, revestimentos de TiAlN

1. INTRODUÇÃO

Metal duro já é muito utilizado na usinagem para aços comuns de dureza mediana de usa-se, atualmente, um recobrimento binário de TiN. Porém, já vem sendo estudado uma nova classe de recobrimentos ternários, como por exemplo, TiAlN.

Segundo MACHADO et. al. (2011), os metais duros podem receber recobrimentos pelo processo de deposição química a vapor, do inglês Chemical Vapour Deposition (CVD) tanto como pelo processo de deposição física a vapor ou Physical Vapour Deposition (PVD) aplicados em substratos de qualquer classe de metal duro. As ferramentas do estudo em questão são feitas de metal duro, tendo como base o carboneto de tungstênio (WC) e o cobalto (Co).

Conforme Diniz et. al. (2006) a espessura total das camadas que recobrem o metal duro varia entre 2 a 20µm. Quando se aumenta a espessura da cobertura, a resistência ao desgaste aumenta, mas a tenacidade diminui e começa a tendência ao lascamento das arestas. O processo de CVD faz com que o substrato tenha espessura maior que 5µm. A camada de TiAlN depositada por PVD tem espessura sempre menor que 5µm, o que proporciona as vantagens de tenacidade. E também, o processo de PVD propicia que se tenham coberturas mais finas e assim arestas mais afiadas, o que é importante quando se deseja melhores acabamentos superficiais e/ou quando se usina materiais dúcteis. Outra vantagem do PVD diz respeito à temperaturas entre 4000°C e 500°C, temperaturas estas que não prejudicam o tratamento térmico já realizado no substrato.

As técnicas de deposição por PVD podem produzir recobrimentos com diferentes concentrações de Ti e Al em virtude da metodologia utilizada na evaporação dentro da câmara a vácuo. Dependendo se houver mais alumínio ou

titânio na cobertura, o Nitreto de Titânio-Alumínio (TiAlN), pode ser descrito como de alto teor de alumínio ou TiAlN (AA) e de baixo teor de alumínio ou TiAlN (BA). Estas variações mudam as fases presentes no recobrimento e consequentemente seu desempenho na usinagem.

Esses recobrimentos ternários de TiAlN, segundo DINIZ et. al (2006), possuem as seguintes características:

- Maior resistência a oxidação, o que permite o uso de temperatura mais altas, quando esse material oxida (principalmente o TiAlN com um alto teor de Al), forma uma camada de Al_2O_3 , que é inerte quimicamente e por isso muito resistente a difusão e a oxidação;
- Baixa condutividade térmica, o que protege a aresta de corte e aumenta a remoção de calor através do cavaco;
- Alta dureza a frio e a quente, a camada de TiAlN (BA) possui dureza similar as camadas de TiN, TiCN e TiC, e a camada de TiAlN (AA) pode atingir dureza 1,5 vezes maior que destas camadas;
- Alta estabilidade química, o que reduz bastante o desgaste de cratera. Neste trabalho faz-se um estudo comparativo no desempenho dos revestimentos de TiAlN, com seus diferentes teores de Al, no torneamento tradicional de uma peça circular metálica para analisar o desgaste das ferramentas de corte.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL (OU PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL)

O presente trabalho apresenta a metodologia desenvolvida nesta pesquisa. Os procedimentos experimentais do trabalho encontram-se ilustrados na Fig. 1 dividem-se em caracterização do ferro fundido e das ferramentas de corte e ao processo de usinagem. A peça metálica foi caracterizada por duas técnicas distintas, tendo sido utilizadas a metalografia e o ensaio de dureza Rockwell C. Além disto, as ferramentas de corte foram caracterizadas por microdureza Vickers e pelas formas geométricas. Depois da usinagem foi feita a aquisição, o tratamento e a quantificação de imagens. Essas etapas foram executadas com a finalidade de se obter dados experimentais com o intuito de se avaliar a evolução do desgaste de cratera nas três ferramentas de corte estudadas (WC-Co, AA e BA).

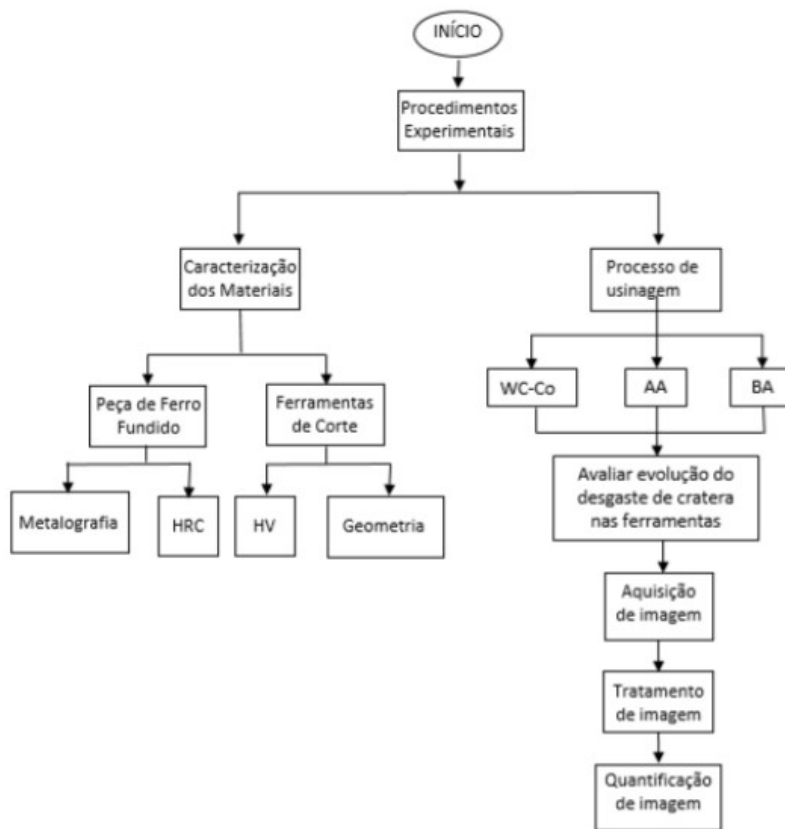


Figura 1: Etapas dos procedimentos experimentais.

2.1. Caracterização das Ferramentas de Corte (Pastilhas de WC-Co e Pastilhas Recobertas)

O substrato das três pastilhas em estudo é comercialmente encontrado. Porém, dois recobrimentos de TiAlN do presente estudo foram produzidos por PVD em um laboratório especializado da TECVAC na Inglaterra com variações nas quantidades de alumínio e titânio. Ávila (2003) encomendou várias pastilhas, com diferentes recobrimentos inovadores para o mercado, para avaliar o desempenho. Por esse motivo, ele conduziu vários testes com diferentes

materiais das peças usinada e uma série de caracterizações nas pastilhas foram realizadas. No presente trabalho, o ferro fundido nodular FUCO® FE55006, material da peça que ainda não havia sido testado, foi usinado para avaliar o desempenho das três ferramentas de corte na Fig. 2.

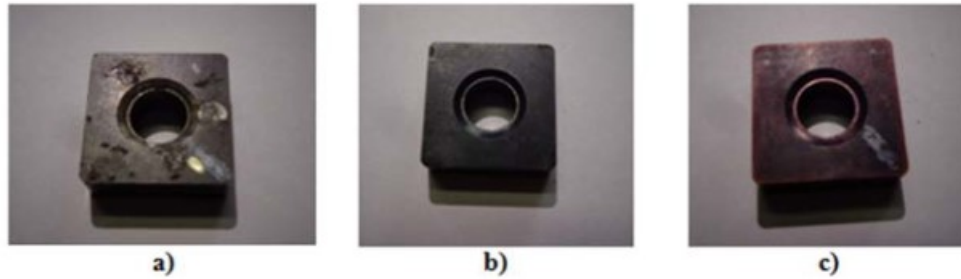


Figura 2: Amostra: a) WC-Co; b) WC-Co revestido com TiAlN (AA) de alto teor de alumínio e c) WC-Co revestido com TiAlN (BA) de baixo teor de alumínio.

O ensaio de microdureza Vickers foi necessário para quantificar a diferença entre os valores de dureza das pastilhas que possuem recobrimentos diferentes. O ensaio de microdureza foi realizado no Laboratório de Materiais da Universidade do Estado do Amazonas (UEA). A dureza das ferramentas e recobrimentos foram avaliados pelo microdurometro marca Mitutoyo, modelo HM.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1. A Caracterização da peça de ferro fundido

A metalografia teve como finalidade determinar a microestrutura da peça. E através da microscopia, com aumento de 200X, do ferro fundido nodular em estudo observou-se na microestrutura revelada após o ataque químico com o Vilela (mistura de 45 ml de Glicerol 15 ml de ácido nítrico e de 30 ml de ácido clorídrico) as mesmas características típicas de sua nodulidade quando comparado com a literatura do ferro fundido nodular. Por esse motivo, tem-se que micrografia do ferro fundido nodular está adequada, pois esse ferro fundido possui nódulos de grafita em uma matriz ferrítica e perlítica conforme mostrado na Fig. 3.

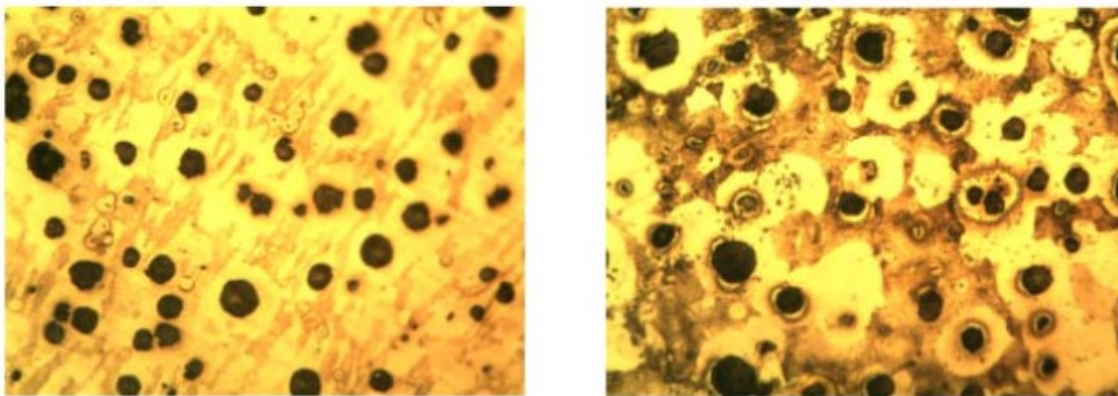


Figura 3: (a) FF polido depois do primeiro ataque com o Vilela.
(b) FF polido depois do segundo ataque com o Vilela.

Os valores de dureza do ferro fundido em estudo forneceram um valor médio de 17,6 HRC. Esse valor médio obtido pelo durômetro nos procedimentos experimentais estão de acordo com a tabela de dureza mostrada na Fig. 4 com valores para ferro fundido abaixo de 20HRC e equivalente a dureza Brinell de 200 HB fornecida pelo fabricante garantindo assim a confiabilidade do produto.

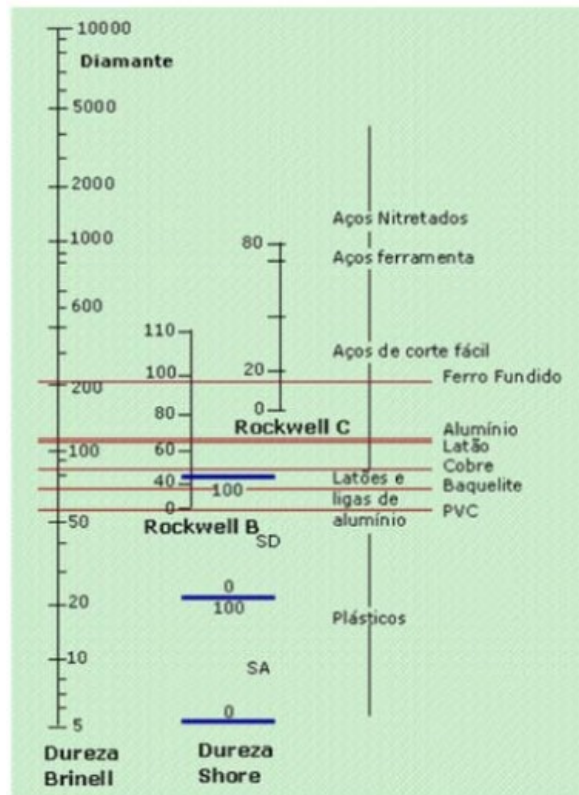


Figura 4: Comparação aproximada das escalas de dureza.

3.2. A Caracterização da peça das ferramentas de corte

A microdureza das Pastilhas e Recobrimentos foram feitas medições de microdureza Vickers em diferentes locais da ferramenta a carga aplicada nas indentações da Extremidade Externa (EE), no Centro (C) e na Extremidade Interna (EI) de 1kgf e os resultados dessas indentações são indicados na Tab. 1.

Tabela 1: Microdureza com carga de 1kgf em função da localização.

Indentação	WC-Co	TiAlN(AA)	TiAlN(BA)
Extremidade Externa (EE)	1473	1953	1522
Centro (C)	1402	1765	1149
Extremidade Interna (EI)	1551	1749	2199

Os valores de microdureza são um pouco diferentes dependendo da localização das pastilhas. A pastilha de WC-Co é a mais uniforme, pois varia pouco os valores de microdureza. Entretanto, as pastilhas com recobrimentos possuem variações notáveis nos valores de microdureza dependendo da localização da indentação. Estas variações de microdureza indicam que os recobrimentos não são uniformes por toda a pastilha, existindo regiões com variados valores de dureza. Esta variação é uma característica de processo de recobrimento PVD, que precisa ser muito bem executada ao longo da pastilha por inteira. Contudo, no presente trabalho os valores de dureza do foco da pesquisa são os valores da extremidade externa (EE) da pastilha a qual corresponde a extremidade cortante. A Tab. 2 mostra a tabela com cargas aplicadas de 1kgf e 0,5kgf na extremidade externa (EE). Quanto menor a carga aplicada, mais difícil de se determinar as diagonais da indentação por causa da rugosidade superficial.

Tabela 2: Microdureza com variação de carga 1 kgf e 0,5 Kgf na Extremidade Externa (EE) da pastilha.

Carga	WC	AA	BA	WC e AA	WC e BA
1 kgf	1473	1953	1522	33%	3%
0,5 kgf	1124	1802	1475	60%	24%

Estes resultados indicaram os valores dos recobrimentos, sendo assim o (AA) apresentou dureza maior que (BA) e os dois foram maiores que o WC, em termos de dureza. Isto indica que vale a pena recobrir as pastilhas, pois os valores de microdureza aumentaram cerca de 33% e 3% para AA e BA, respectivamente, em relação ao WC-Co com a carga 1 kgf aplicada. E aumentaram cerca de 60% e 24% para AA e BA, respectivamente, em relação ao WC-Co em 0,5 kgf. Menores cargas não foram possíveis de medir por causa da rugosidade das superfícies, o que dificultou a medição das diagonais das indentações.

3.3. Geometria das Ferramentas

Os valores da geometria da ferramenta encontram-se nas Tab. 3, Tab. 4 e Tab. 5. Da geometria da ferramenta pode-se observar que existe conformidade nas medidas de ângulo, raio e espessura das pastilhas de TiAlN AA e BA quando compara das com a pastilha de WC-Co. A uniformidade do recobrimento por PVD é excelente, pois permite que a geometria das ferramentas seja conservada com uma variação mínima.

Tabela 3: Ângulos das pontas das pastilhas.

Ângulo (°)	WC-Co	TiAlN (AA)	TiAlN (BA)
P1	89.68	89.82	90.11
P2	89.01	89.54	89.20
P3	89.35	89.76	88.72
P4	89.24	89.33	89.45
Media	89.32	89.61	89.37

Tabela 4: Raios das pontas das pastilhas.

Raio (mm)	WC-Co	TiAlN (AA)	TiAlN (BA)
P1	0.806	0.775	0.806
P2	0.803	0.796	0.790
P3	0.794	0.791	0.808
P4	0.791	0.793	0.798
Media	0.7985	0.78875	0.806

Tabela 5: Espessura das pastilhas.

	WC-Co	TiAlN (AA)	TiAlN (BA)
Espessura (mm)	4.771	4.771	4.762

3.4. Microscopia Ótica das áreas desgastadas

As amostras já foram obtidas com alguns lascamentos. Onde pode-se observar regiões claras e escuras. A Fig. 5 mostra um comparativo das três pastilhas desgastadas em estudo via máquina ótica. Observa-se que não houve muitas modificações com relação as áreas de uma forma geral. Comparando-a por coluna não há um aumento linear, as áreas são semelhantes onde o cavaco vai atingir a mesma região de cratera. No recobrimento com baixo teor de alumínio observa-se que o contorno bem mais definido o que pode indicar uma profundidade de cratera maior.

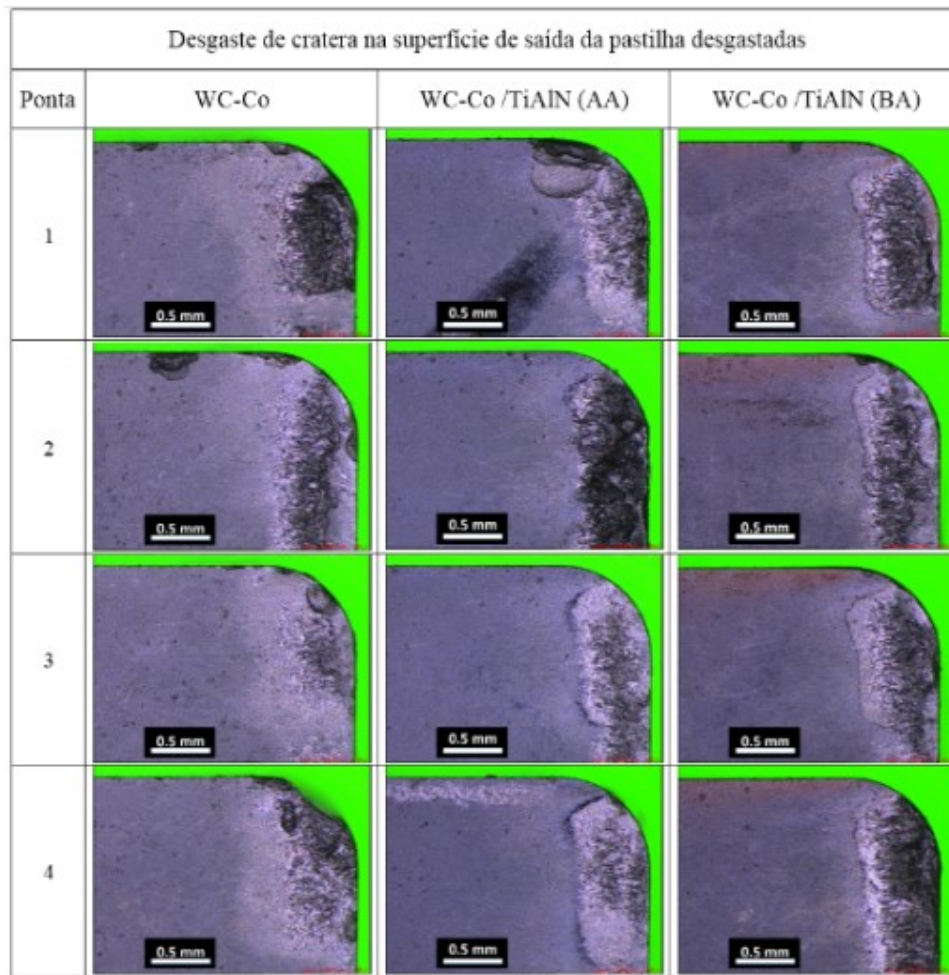


Figura 5: Comparativo do desgaste de cratera na superfície de saída das três ferramentas de corte WC-Co, WC-Co revestida com TiAlN (AA) e WC-Co revestida com TiAlN (BA) depois da usinagem.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a finalidade de melhorar o desempenho de uma ferramenta de Carboneto de tungstênio, foi utilizada a técnica de PVD para aumentar suas propriedades mecânicas. Com base nas análises da caracterização das ferramentas o processo de PVD mostrou-se excelente pois não muda a geometria da amostra. Com a finalidade de melhorar o desempenho de uma ferramenta de Carboneto de tungstênio, foi utilizada a técnica de PVD para aumentar suas propriedades mecânicas. Com base nas análises da caracterização das ferramentas o processo de PVD mostrou-se excelente pois não muda a geometria da amostra.

Essa técnica de PVD tem algumas nuances e durante seu processo ela pode variar em suas concentrações de titânio e de alumínio implicando em algumas consequências com vantagens e desvantagens. Uma dessas consequências são as mudanças dos valores de dureza que é o parâmetro diretamente acarretada pela formação de uma nova fase no revestimento do baixo teor de alumínio. Essa nova fase encontrada no difratograma da pastilha com baixo teor de alumínio (BA) diferencia os dois recobrimentos pois essa fase não existe no recobrimento com alto alumínio (AA). A formação dessa fase deve ser evitada se a finalidade do recobrimento de TiAlN for aumentar a resistência ao desgaste na ferramenta de corte.

O desgaste de cratera é uma fonte de comparação adequada, mas é difícil de se quantificar. Existem várias técnicas separadas para estudar o desgaste de cratera. A técnica utilizada no presente trabalho foi por microscopia ótica com recursos de programas computacionais para o tratamento de imagens e para a quantificação de áreas de desgaste foi criado um código computacional dentro do Wolfram que possibilita adaptações da rotina. Com os resultados numéricos das áreas desgastadas, pode-se observar que os valores da área desgastada total, referente a soma das áreas de cratera e deslocada, são menores para a pastilha mais dura de alto teor de alumínio em uma média aproximada de 0,85mm². Já a segunda pastilha mais dura (BA) possui valores aproximados em torno de 1mm². Finalmente, a pastilha sem recobrimento (WC-Co), a mais macia, apresenta valores maiores que 1,50mm² de área desgastada total.

Além disso, observa-se que na ferramenta de corte a região de saída do cavaco tende a manter-se constante, pois o cavaco vai atuar sempre na mesma região. É como se o cavaco formasse sempre a mesma impressão, analisando apenas

no plano bidimensional, pois observa-se na avaliação de área de cratera e deslocada valores contínuos entre si. Por esse motivo, o cálculo da área somente não é o parâmetro mais adequado para avaliar o desgaste de cratera. O parâmetro ideal para esse estudo foi a profundidade de cratera, pois nas análises a profundidade de cratera apresenta-se como um parâmetro gradativo em relação ao tempo de usinagem.

No cálculo de profundidade observa-se uma relação direta com distância de deslocamento. Comparando-se as três pastilhas tem-se que em relação a pastilha de WC-Co sem recobrimento, os dois recobrimentos possuem melhor resistência mecânica. Quando comparado apenas as pastilhas com recobrimento, AA é mais duro e o BA mais macio. Então é preferível fazer um recobrimento na pastilha de WC-Co, pois é mais resistente ao resgaste. Mas não é qualquer recobrimento de TiAlN que garante o melhor desempenho da ferramenta de corte. Quanto maior a quantidade de alumínio no recobrimento de TiAlN, melhor o desempenho da ferramenta de corte. A profundidade do desgaste de cratera apresentou-se menor para a pastilha com alto teor de alumínio.

No caso do desempenho das pastilhas em estudos, o recobrimento de alto teor de alumínio possui propriedades mecânicas de dureza superior. Avaliando-se o desgaste tanto nos estudos de área, quanto de profundidade, o recobrimento de TiAlN (AA) apresentou-se valores menores com uma excelente resistência ao desgaste. Portanto, com base, nos estudos desta pesquisa, pode-se concluir que a ferramenta de corte mais indicada e a pastilha com recobrimento de alto teor de alumínio.

5. AGRADECIMENTOS

A CAPES, pelo apoio financeiro concedido e a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pela oportunidade. A Universidade do Estado do Amazonas (UEA) por disponibilizar equipamentos e laboratórios. Ao Prof. Dr. Renato Ávila pelo suporte especializado em definir parâmetros adotados na pesquisa e pelas doações das amostras e porta-ferramentas para que o estudo fosse conduzido.

6. REFERÊNCIAS

AVILA, R.F., 2013 AVILA, R.F.; MANCOSU, R.D.; MACHADO, A.R.; VECCHIO, S.D.; SILVA, R.B.; VIEIRA, J.M. (2013). Comparative analysis of wear on PVD TiN and (Ti1-xAlx) N coatings in machining process. *Wear of Materials*.

DINIZ, A. E., 2006 DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. (2006) Tecnologia da Usinagem dos Materiais. In São Paulo, Artliber.

MACHADO, A. R., 2011 MACHADO, A. R.; ABRAO, A. M.; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. (2011) Teoria da Usinagem dos Metais. 2ed. In Blucher, Sao Paulo.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho

EVALUATION OF THE EFFECT OF THE ALUMINUM CONCENTRATION IN THE WEAR OF CUTTING TOOLS WITH TiAlN COATINGS

Adriana Alencar Santos, adrianasantos@ufam.edu.br^{1,2}

Rafael Drumond Mancosu, rafadrumond@gmail.com¹

Arlindo Pires Lopes, alopes@uea.edu.br²

Aarão Ferreira Lima Neto, aaraon@ufpa.br³

¹ Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Engenharia Mecânica. Av. General Rodrigo Octávio, 6200. Coroado I. 69080-900 – Manaus - Amazonas

² Universidade do Estado do Amazonas, Escola Superior de Tecnologia, Avenida Darcy Vargas, 1200. Parque 10 de Novembro. 69050-020 – Manaus - Amazonas

³ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Civil - Campus de Tucuruí, Rua Itaipu, 36 - Vila Permanente, Tucuruí - PA, 68464-000

Abstract. *The purpose of this work was to present the evaluation of the aluminum concentration in the cutting tools to analyze the wear after machining. This research consists not only in the experimental analysis but also in the analysis of crater wear rate by linear regression. The three tools used in the experimental analysis were as follows: one uncoated insert and two inserts have TiAlN coating with high and low aluminum content, respectively. The research methodology used to determine the machining parameters and the characterization of the materials was adapted to the execution conditions available in the two public universities, partners in scientific development, in Amazonas, UFAM and UEA. Some techniques of characterization of the materials were adopted both for the piece and for the cutting tools. The characterization of the FUCO® FE 55006 nodular cast iron was made by means of metallography and Rockwell hardness determination, while the characterization of cutting tools and coatings was carried out by determining the parameters of the geometry of the pellets and microhardness Vickers. The machining process was performed in the universal lathe alternating the cutting tools and their tips according to the machined distances of 60, 120, 180 and 240mm with gradual increase of the number of steps in the part*

Keywords: *wear, cutting tools, TiAlN coatings.*