



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

MECANISMO DE DESGASTE NA FURAÇÃO DO AÇO ABNT 1045 COM BROCA DE METAL DURO REVESTIDA POR TiN e TiAlN

Matheus Pereira Carvalho, mpc.ptu@hotmail.com¹

Cláudio Gomes do Nascimento, claudiomecanicanascimento@yahoo.com.br¹

Wisley Falco Sales, wisley@ufu.br¹

¹Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG 38.400-089, Brasil.

Resumo: Este trabalho tem como objetivo avaliar o desgaste e os mecanismos de desgaste em brocas de metal duro integral revestidas com TiN e TiAlN e lubrificadas com fluido emulsionável aplicado por jorro. Os testes foram realizados em aço ABNT 1045, tendo como parâmetros de entrada a velocidade de corte (v_c) 120 m/min e avanço da ferramenta (f) 0.1 mm/rev.z, enquanto a profundidade de corte é o raio da broca, 4 mm. As ferramentas revestidas com TiAlN apresentaram os melhores resultados nos testes de vida e valores significativamente menores em relação ao desgaste de flanco em comparação as revestidas com TiN para a mesma quantidade de furos. As ferramentas desgastadas foram avaliadas no microscópio eletrônico de varredura equipado com sistema de análise de composição química por meio de difração de raio X (MEV-EDS). A forma predominante de desgaste foi a de flanco, enquanto os mecanismos de desgaste predominantes na superfície principal de folga foram adesão, oxidação, micro e macro-lascamentos e abrasão.

Palavras-chave: Furação, Metal duro integral, Revestimentos, Aço ABNT 1045, Fluido de Corte.

1. INTRODUÇÃO

Pelo fato da grande maioria das peças produzidas possuírem ao menos um furo, o processo de furação é um dos processos mais utilizados na indústria de manufatura (SMITH, 2008). Em geral, as peças são furadas em cheio ou tem seus furos aumentados pelo processo de furação, segundo Diniz et. al. (2008).

Durante os processos de usinagem as ferramentas aquecem e sofrem altos desgastes que exigem trocas constantes de suas arestas de corte (Trent e Wright, 2000, Shaw, 1984). Além disto, há o aquecimento das peças usinadas, o que pode provocar dois efeitos indesejáveis: alterações nas dimensões pretendidas, como empenamento, e geração de tensões internas que podem comprometer a utilização das mesmas. Para minimizar os desgastes das ferramentas e o aquecimento das peças, vários recursos podem ser utilizados, entre os quais o emprego de um fluido de corte.

O emprego dos fluidos tem como principais funções, segundo Pawlak et al. (2004), Sales (1999) e Santos e Sales (2007) é de reduzir, através da lubrificação, as características dos processos tribológicos que estão sempre presentes na superfície de contato entre a peça e a ferramenta e, também reduzir o calor na região de corte, através da refrigeração, melhorando assim a qualidade da peças fabricadas. No entanto, Dhar et al. (2007) afirmam que, apesar das vantagens tecnológicas que os fluidos de corte promovem, ultimamente vêm sendo questionados os efeitos negativos que eles causam.

Por esse motivo é de bastante importância conhecer o desempenho de brocas, quanto ao material, revestimento, entre outros fatores. Esses conhecimentos são importantes para maior eficiência e previsibilidade do processo e, obviamente, está relacionado com maior produção e produtividade. Para tal, são usadas brocas com tecnologia em revestimentos com elevada resistência ao desgaste e no próprio material da broca. A combinação entre substrato e revestimentos apropriados, proporcionará usinar em menor tempo, pois permite que sejam usados grandes avanços e velocidades de corte.

O tema motivou este trabalho, que tem por objetivo apresentar resultados relacionados ao comportamento das brocas de metal duro integral de um mesmo fabricante, mensurar o quanto um revestimento é melhor que o outro e por fim analisar os principais mecanismos de desgastes, aplicando fluido semissintético ME-1 na forma de jorro, na

usinagem de aço ABNT 1045 em 3 velocidades de cortes. O comportamento das ferramentas é estudado com base no desgaste após a usinagem de quantidade de furos previamente estabelecida.

2. MÉTODO EXPERIMENTAL

No processo de furação do aço ABNT 1045 com dureza (249 ± 5) HV, utilizou-se brocas de diâmetro de 8 mm de metal duro integral revestidas por TiN e TiAlN. Os testes foram realizados com fluido semissintético ME-1 na forma de jorro a uma vazão (1269 ± 118) l/h e concentração de 3%, em que se observa na Fig. 1a e na 1b evidencia os dois tipos de broca/revestimentos utilizados.

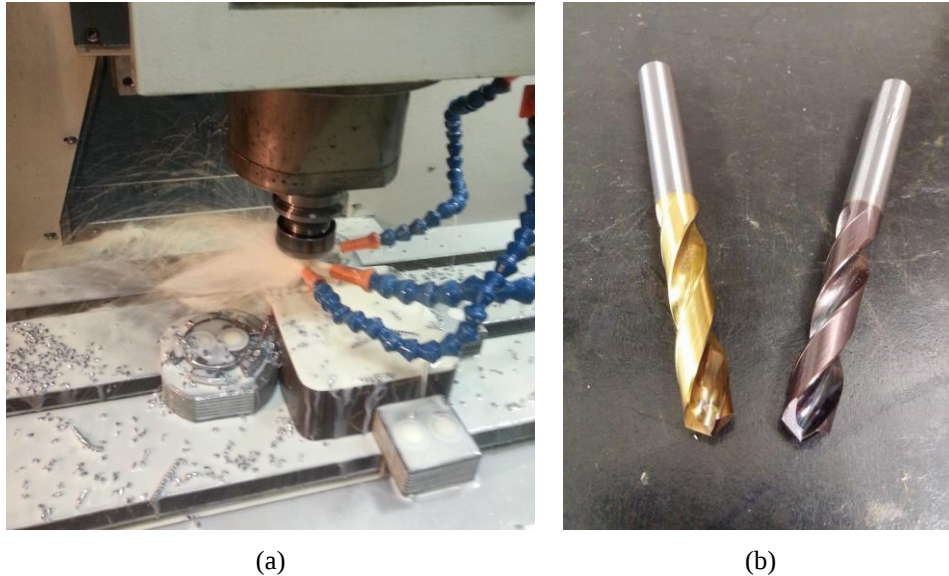


Figura 1 – (a) Processo de furação do aço ABNT 1045 com aplicação do fluido ME-1 na forma de jorro e (b) Brocas de metal-duro revestida TiN a da esquerda e TiAlN a da direita.

As condições de corte adotadas foram:

- $v_c = 120$ m/min;
- $f = 0,1$ mm/volta;
- $L/D = 3$;
- $a_p = 4$ mm.

Foram realizados para a velocidade de corte de 120 m/min, 3 testes de 164 furos cada um sendo teste, réplica e tréplica, totalizando 492 furos.

Na Fig. 2 mostra-se o sistema de medição de desgaste e de observação das brocas desgastadas. O sistema é composto de microscópio ótico, placa de aquisição de sinais, computador e programa de análise de imagens.

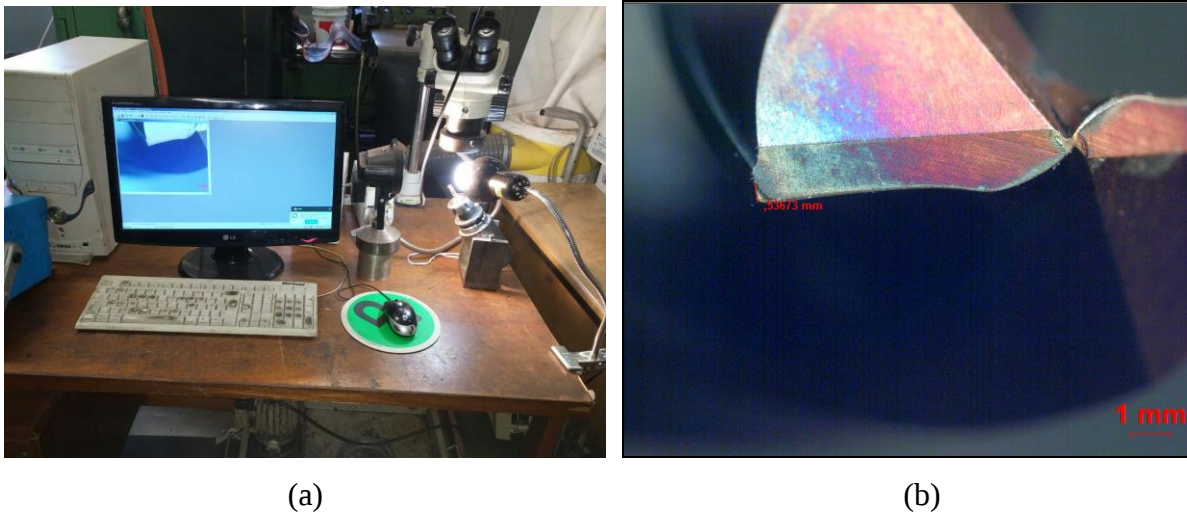


Figura 2 – Microscópio ótico e sistema de análise de imagens: a) sistema de medição; b) imagem de uma ferramenta desgastada, sob medição do nível de desgaste de flanco.

Na Fig. 3 mostra-se o sistema de medição de desgaste e de observação das brocas desgastadas. O sistema é composto de microscópio eletrônico de varredura, placa de aquisição de sinais, computador e programa de análise de imagens. Este sistema permite ampliações teoricamente infinita, entretanto consegue-se excelentes imagens com ampliações de até 25.000X. Neste trabalho, pelo nível de detalhamento desejado, utilizou-se ampliações de 800X, o que por meio de microscopia ótica não seria tão eficaz, pois a sua profundidade de campo é reduzida quando se comparado com a microscopia eletrônica de varredura.

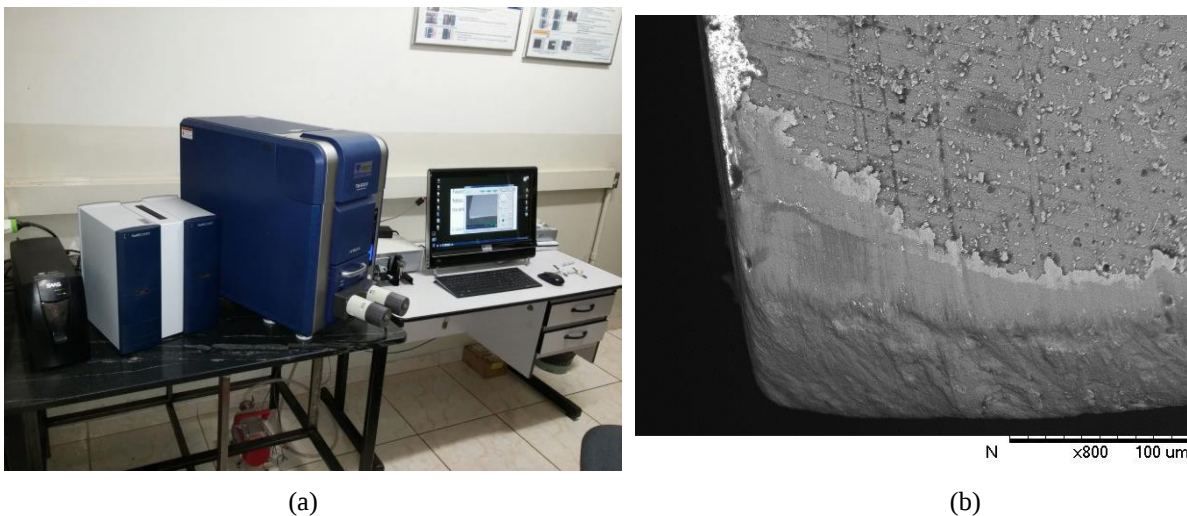


Figura 3 – Microscópio eletrônico de varredura e sistema de análises de imagens: a) sistema de medição; b) ferramenta desgastada vista com ampliação de 800X, evidenciando o desgaste de flanco.

3. RESULTADOS

3.1 Análises dos Desgastes

Os revestimentos de TiAlN apresentam melhor resistência a oxidação. Em relação ao TiN os filmes (Ti1-xAlx)N apresentam melhor resistência a oxidação. A temperatura de oxidação do TiN inicia-se a aproximadamente 550°C, que é considerada mais baixa que a temperatura de trabalho típica para ferramentas de corte em altas velocidades, que está acima de 800°C, na interface cavaco-ferramenta (Hong and Chou, 1993). Filmes de (Ti1-xAlx)N possuem maior estabilidade térmica que filmes de TiN. Na Fig. 4 mostram-se as brocas usadas na usinagem na velocidade superior a 120 m/min e observa-se na broca revestida de TiN (Fig. 4a) uma região afetada pelo calor o que não é visualizado na broca revestida de TiAlN (Fig. 4b).

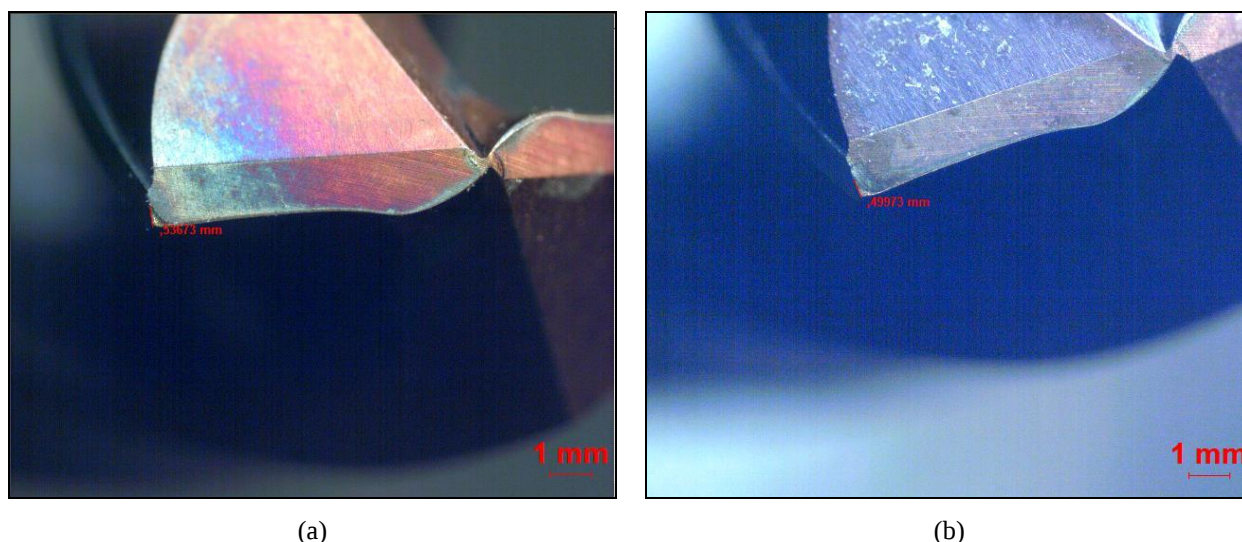


Figura 4 – Desgaste de flanco das brocas de metal-duro revestidas: a) TiN, b) TiAlN.

Na Fig. 5 mostra-se o desempenho dos revestimentos TiN e TiAlN no qual o segundo obteve melhores resultados para a velocidades de corte de 120 m/min. Estes resultados concordam com os apresentados por Hong, et. al. 1993. Comparando os resultados para a brocas de metal duro revestida de TiN, o desgaste em termo de valor médio foi de $(0,359 \pm 0,041)$ mm, e o desgata médio do revestimento TiAlN foi de $(0,092 \pm 0,026)$ mm.

O revestimento TiAlN para as condições de usinagem deste trabalho foi superior em relação ao revestimento TiN, o que confere ao processo uma maior produtividade, já que é possível usinar uma quantidade maior de furos pois o desgaste verificado para 164 furos foi significativamente menos que o limite de vida da ferramenta no valor de 0.3 mm, para desgaste de flanco segundo a literatura.

As boas propriedades térmicas e mecânicas do revestimento de TiAlN fazem com que o desgaste da ferramenta seja baixo, enquanto o revestimento mantiver a sua integridade (Cselle, 1997). O desgaste das ferramentas passa a ser observado a partir do momento em que ocorre a remoção da camada de revestimento, na região da superfície de folga, em forma de pequenas lascas. O desgaste de flanco evolui a partir desses pequenos lascamentos.

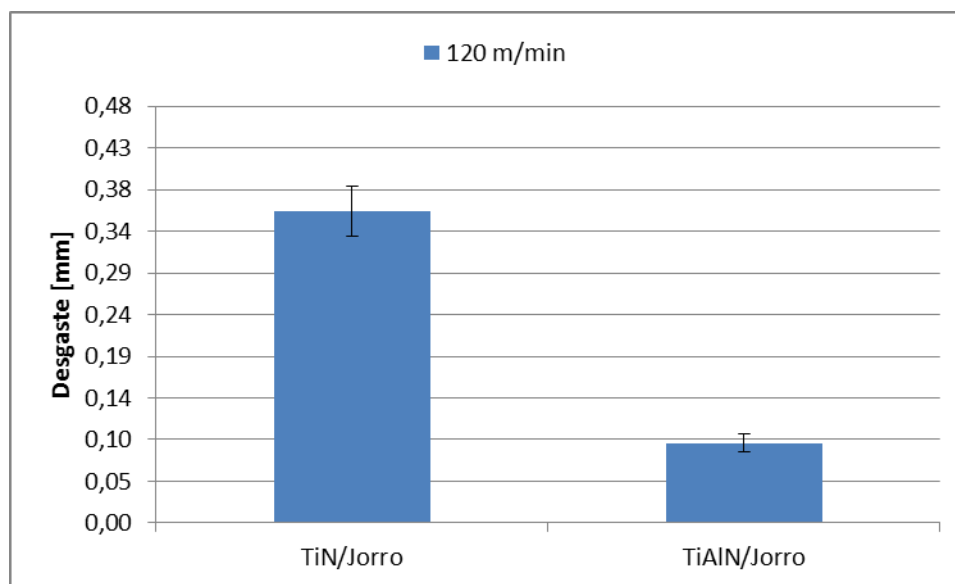
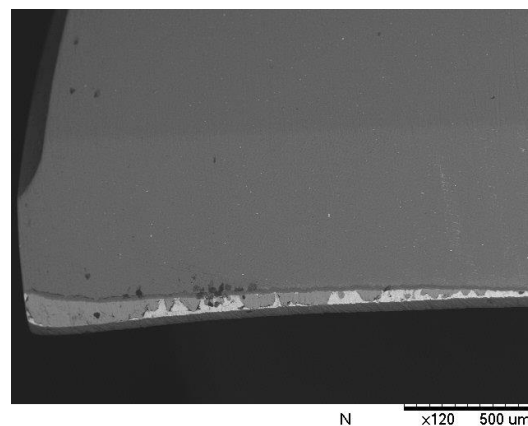


Figura 5 – Comparação do desgaste entre revestimento TiN e TiAlN.

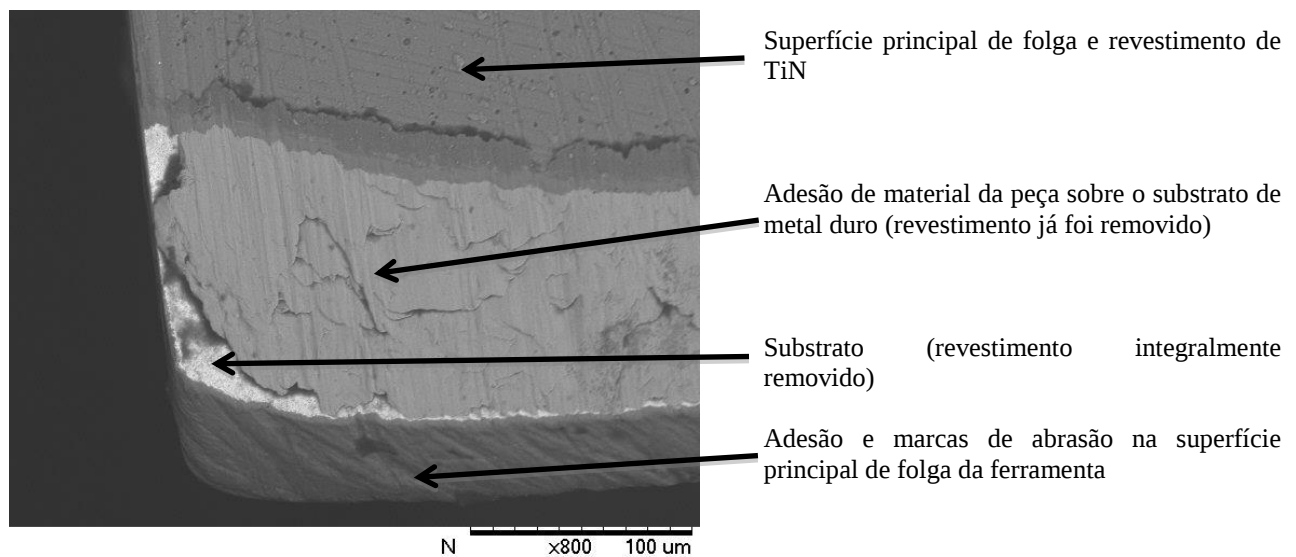
3.2. Análises dos Mecanismos de Desgaste

Na Fig. 6 mostram-se duas figuras, com diferentes ampliações, de ferramentas de TiN, a 120 m/min, fluido aplicado em jorro e depois de realizados 164 furos. Na parte “b” desta figura, com ampliação de 800X observa-se as superfícies principal de folga já desgastadas. A camada revestida por TiN foi totalmente removida deixando o substrato (WC + Co + TiC) expostos e devido à boa afinidade química com o Fe e o C do aço, às elevadas temperaturas na interface, o material da peça se adere. Entretanto esta adesão não é permanente, pois periodicamente esta camada é renovada e

juntamente com a que se desprende, partículas do substrato são removidas, intensificando o desgaste da ferramenta. Observa-se também, principalmente na superfície principal de folga, onde acontece o desgaste de flanco, presença de sulcos, caracterizando a abrasão, promovida por carbonetos duros presentes no aço ABNT 1045, que também promove retirada de material da peça. Conforme Lin e Ting (1994), o desgaste abrasivo ocorre quando uma superfície dura desliza sobre outra superfície de menor dureza ou maior dureza (Hutchings, 1995, Rabinowicz, 1995 e Zum Gahr, 1987), com a consequente produção de ranhuras na superfície de dureza inferior, em maior ou menor intensidade, dependendo da relação entre as durezas do abrasivo e do substrato. Se esta relação for maior do que 1,2 caracteriza-se o regime de abrasão dura, e mole se for abaixo. No tribosistema avaliado, esta relação de durezas é inferior a 1,2 pois o carboneto mais duro neste aço é o Fe₃C com dureza em torno de 1000 HV, enquanto o metal duro do substrato tem dureza média de 1500 HV. Esse fenômeno também ocorre em superfícies que apresentam concomitantemente uma dureza menor com partículas duras. Já o desgaste por adesão é oriundo da ruptura de microcaldeamentos gerados na face da ferramenta, sendo esses caldeamentos advindos da interação das superfícies do cavaco com a face da ferramenta ou em função de forças elevadas (König e Klocke, 1997).



(a)



(b)

Figura 6 – $v_c=120$ m/min; $f=0,1$ mm/rev; $a_p= 4$ mm; fluido aplicado em jorro; ferramenta revestida por TiN, a) ampliação de 120X e b) ampliação de 800X. Furos realizados = 164.

A Fig. 7 mostra as análises de EDS, utilizadas para caracterizar as superfícies em relação a suas composições químicas, no caso foram analisadas três regiões, para confirmar os desgastes por oxidação e adesão. Na parte “a”, mostra a presença dos elementos (Fe + C + Mn), os quais estão presente na composição do aço usinado, em relação à parte “b” verifica a remoção do revestimento, pois a composição química formada pelos elementos (W + C + Co), está relacionado a composição do metal-duro e por fim verificamos o revestimento, composto por (Ti + N), porem há presença de oxigênio o qual representa a oxidação do revestimento.

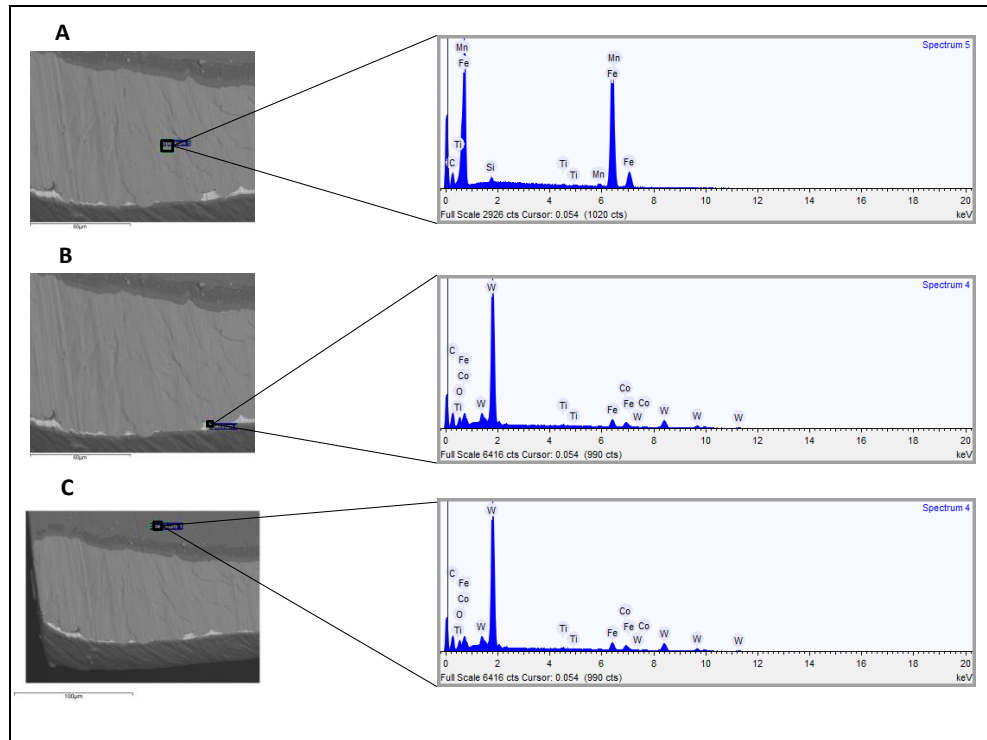
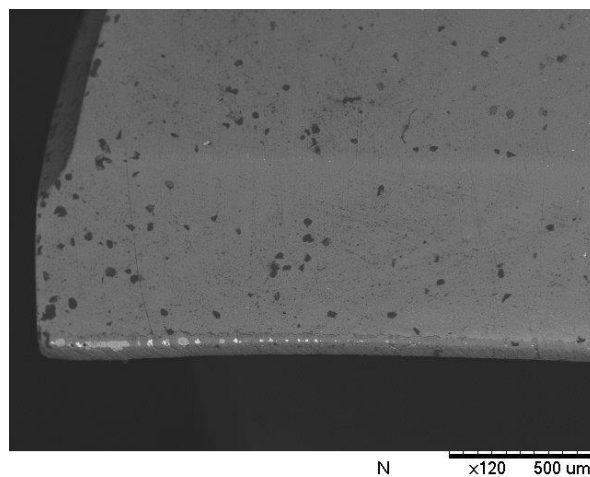


Figura 7 – Análise de EDS e fotomicrografia (MEV) apresentando as regiões analisadas e os principais elementos presentes nessa região, para a broca TiN; (A) espectro material aderido; (B) espectro do substrato; (C) espectro do revestimento.

Na Fig. 8 mostram-se duas figuras, com diferentes ampliações, de ferramentas de TiAlN, a 120 m/min, fluido aplicado em jorro e depois de realizados 164 furos. Observa-se na parte “b” desta figura, fortes evidências de adesão e de abrasão, além de zona de substrato ainda sem material da peça aderido, assinalado na fotografia como “destacamento do revestimento”. Esse destacamento do revestimento segundo Cselle, (1997), promove o aumento do desgaste na broca revestida por TiAlN.



(a)

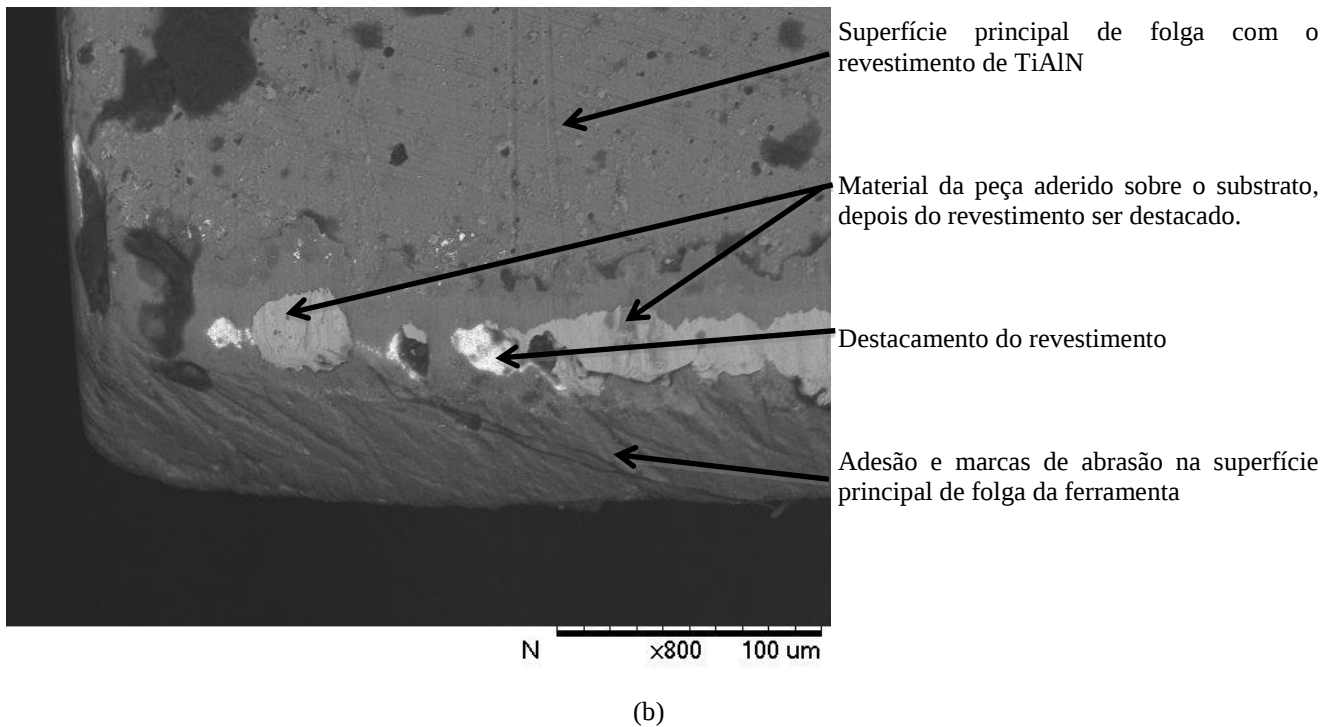


Figura 8 – $v_c=120$ m/min; $f=0,1$ mm/rev; $a_p= 4$ mm; fluido aplicado em jorro; ferramenta revestida por TiAlN, a) ampliação de 120X e b) ampliação de 800X. Furos realizados = 164.

A Fig. 9 mostra as análises de EDS, utilizadas para caracterizar as superfícies em relação a suas composições químicas, no caso foram analisadas três regiões, para confirmar o desgaste de cratera e adesão. Na parte “a”, verificamos o revestimento, composto por (Ti + Al + N) sem a presença de oxigênio indicando que não houve a oxidação do revestimento, na parte “b” mostra o destacamento de material, o que verificamos elementos que compõe o substrato do metal-duro composto pelos seguintes elementos (W + C + Co), por fim na parte “c” verificamos a presença de material aderido, composto por (Fe + C + Mn + Si), os quais compõe o aço usinado.

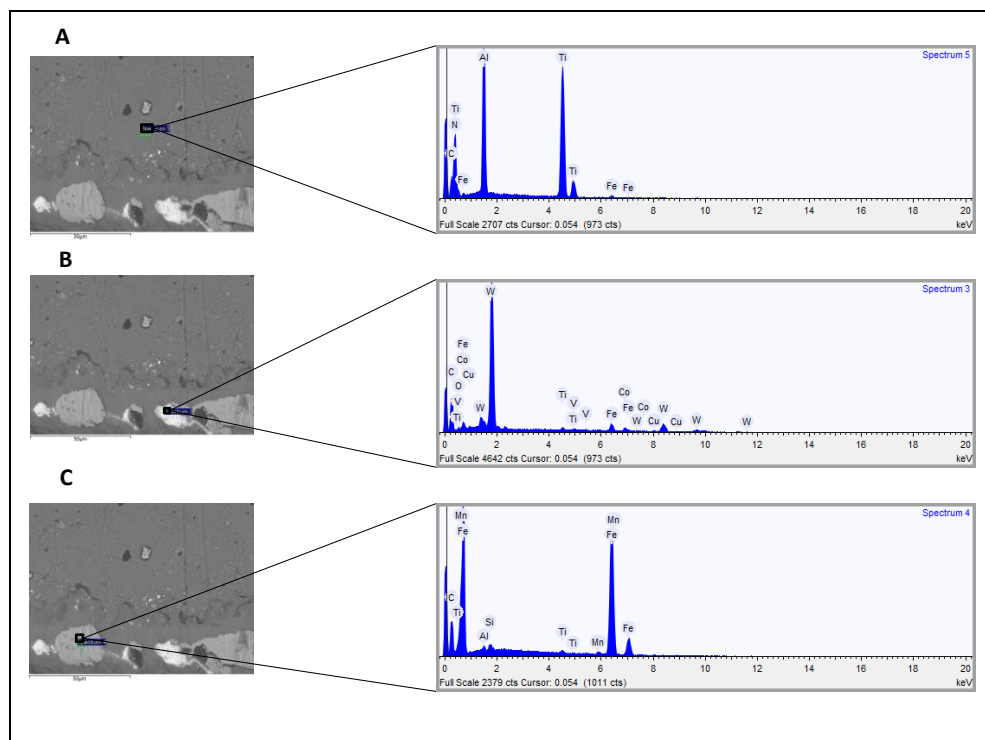


Figura 9 – Análise de EDS e fotomicrografia (MEV) apresentando as regiões analisadas e os principais elementos presentes nessa região, para a broca TiAlN; (A) espectro do revestimento; (B) espectro do substrato; (C) espectro material aderido.

As análises via MEV/EDS mostram evidências de adesão do material da peça sobre a ferramenta e marcas de abrasão. A camada aderida não permanece estável e é renovada frequentemente e levando juntamente com ela partes do material do substrato (ferramenta), caracterizando o mecanismo de desgaste conhecido como adere-solta (stick-slip, em Inglês) o que Trent e Wright denominam por “attrition”. Além disto, observa-se a presença de micro e macro-lascamentos, que também danificam fortemente a ferramenta, pois elimina a camada revestida e expõe o substrato.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que

- A ferramenta revestida com TiAlN foi a que apresentou melhores resultados, nos ensaios de desgaste;
- As ferramentas de TiAlN apresentaram destacamento da camada revestida, expondo o substrato imediatamente à adesão de material da peça;
- Na ferramenta revestida por TiN, a forma de desgaste predominante foi a de flanco;
- Os mecanismos de desgaste dominantes para os dois tipos de revestimentos avaliados foram à micro e macro-lascamentos, abrasão e adesão, seguido de arrancamento de material. Formação de camada de óxidos também foi observada em todas as análises, considerado normal, pois diversos elementos presentes na peça e na ferramenta são formadores de óxido (principalmente o Fe, Mn, Si e Ti).

5. AGRADECIMENTOS

Às instituições FAPEMIG, CNPq (projeto número 476220/2010-6) e CAPES pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho e ao LEPU pela disponibilização da estrutura física laboratorial, necessária para o desenvolvimento do projeto.

6. REFERÊNCIAS

- Cselle, T. “Seleção e Aplicação de Brocas de Materiais Duros”. Guhring Brasil Ferramentas Ltda. São Paulo 1997, 85 pag..
- Dhar, N.; Islam, S.; Kamruzzaman, M. Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear, Surface Roughness and Dimensional Deviation in Turning AISI-4340 Steel. G.U. Journal of Science, vol. 20, pp. 23-32, 2007.
- Diniz, A.E., Marcondes, F. C., Coppini, N.L. “Tecnologia da Usinagem dos Materiais. São Paulo: Artliber, 2008.
- Hong, H. T. and Chou, T. L., 1993, “Modeling of Tool/Chip Interface Temperature Distribution in Metal Cutting”, International Journal Mechanical Science, Vol. 36, pp 931-943.
- Hutchings, I.M., 1992, Tribology: friction and wear of engineering materials, Edward Arnold.
- König, W., Klocke, F., 1997, “Fertigungsverfahren: Drehen, Fräsen, Bohren“. 5 ed. Berlin: Springer, 471p.
- Lin, S.C., Ting, C.J., 1994, “Tool wear monitoring in drilling using force signals”, Elsevier, Wear, v. 180, pp.53-60.
- Pawlak, Z.; Klamecki, E. B.; Rauckyte, T.; Shpenkpv, P. G.; Kokowski, A. The Tribochemical and Micellar Aspects of Cutting Fluids. Tribology International, vol. 38, 2004.
- Rabinowicz, E., 1995, Friction and Wear of Materials, 2nd Edition, John Wiley and Sons.
- Sales, W.F., 1999, “Características Refrigerantes e Lubrificantes dos Fluidos de Corte”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.
- Santos, S.C. e Sales, W.F., Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais, Ed. Artliber, São Paulo, SP, Brasil, 2007.
- Shaw, M.C., 1984, “Metal Cutting Principles”, Oxford University Press, ISBN 0-19-859002-4.
- Smith, G. T. “Cutting Tool Technology: Industrial Handbook”. Girona: Springer, 2008.
- Trent, E.M.; Wright, P. K., “Metal Cutting”, 2ª ed., Butterworth-Heinemann, Woburn, USA, 2000.
- Zum Gahr, K.-H., 1987, Microstructure and Wear of Materials, Elsevier.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

EVALUATION OF WEAR MECHANISMS WHEN DRILLING AISI 1045 STEEL USING COATED SOLID CEMENTED CARBIDE DRILLS BY TiN and TiAlN

Matheus Pereira Carvalho, mpc.ptu@hotmail.com¹

Cláudio Gomes do Nascimento, claudiomecanicanascimento@yahoo.com.br¹

Wisley Falco Sales, wisley@ufu.br¹

¹Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG 38.400-089, Brasil.

Abstract. *The main focus of this study is to evaluate the wear and the associated mechanisms in solid carbide drill coated by TiN and TiAlN using as a lubri-cooling an emulsiable fluid applied by flood conditions. The tests were performed in AISI 1045 steel having as input parameters the cutting speed (vc) of 120 m/min and feed of the tool (f) 0.1 mm/rev.z, while the depth of cut was the drill radius, 4 mm. The tools coated by TiAlN showed the best results in terms of life tests. The tool coated by TiAlN showed significantly lower values of flank wear in comparison to TiN coated with the same amount of holes. The worn tools were evaluated in the scanning electron microscope (SEM) equipped with chemistry analysis system by means of Energy-dispersive of x-ray Spectrometer (EDS). The flank wear was the dominant type of tool while adhesion, abrasion, micro and macro-chipping and oxidation were observed as active wear mechanisms.*

Keywords: *Drilling, Wear, Cemented carbide tools, Coatings, AISI 1045 steel, Cutting fluid.*