

COBEF2017-0356 - EFEITO DA TEMPERATURA NO COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DO REVESTIMENTO TiSiN/ALCRN

Carlos Bernardo Gouvea Pereira, carlosbernardop@yahoo.com.br¹

Ricardo Diego Torres - ricardo.torres@pucpr.br¹

Paulo Cesar Soares Junior - pa.soares@pucpr.br¹

¹ Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR - Endereço: Rua Imaculada Conceição, 1155 - Bairro Prado Velho - CEP: 80215-901,

Resumo: O presente trabalho visa avaliar os efeitos da temperatura no comportamento tribológico do revestimento de TiSiN/AlCrN - comercialmente conhecido como Helica -, produzido pela empresa Oerlikon Balzers Revestimentos Metálicos Ltda, quando submetido ao desgaste nas condições de temperatura ambiente (20°C), 500°C e 800°C. Durante o processo de usinagem, a geração de calor na região de corte devido ao cisalhamento do material pode elevar a temperatura do gume de corte para valores próximos a 1000°C, razão pela qual o conhecimento do comportamento dos revestimentos em temperaturas elevadas é relevante para a compreensão dos mecanismos de desgaste apresentados pelo revestimento e no desenvolvimento de novos revestimentos. Para realização do trabalho foi depositado revestimento de TiSiN/AlCrN pelo processo de CAE/PVD sobre substrato de Metal Duro (WC/Co) em um processo industrial. O revestimento teve sua microdureza e adesão ao substrato avaliados, visando avaliar as propriedades físicas do revestimento e com isto garantir a confiabilidade dos resultados do teste tribológico. Foram produzidas trilhas de desgaste no revestimento pela metodologia de Pino-no-disco nas amostras em temperaturas ambiente (20°C), 500°C e 800°C. Os resultados obtidos mostram que o revestimento apresenta uma baixa taxa de desgaste, com predominância do mecanismo de desgaste abrasivo na temperatura ambiente. Porém, na temperatura de 800°C, o revestimento apresentou desgaste oxidativo, o que foi identificado pela formação de óxidos no revestimento e na trilha de desgaste. Em virtude da mudança do mecanismo de desgaste de abrasivo para desgaste corrosivo, o revestimento apresentou uma maior taxa de desgaste se comparada à apresentada nas temperaturas mais baixas.

Palavras-chaves: TiSiN/AlCrN; Helica; Análise Tribológica

1. INTRODUÇÃO

Durante o processo de usinagem, parte da potência aplicada ao processo é consumida para deformação plástica do material a ser usinado e geração do cavaco. Grande parte desta energia é convertida em calor na região próxima ao gume de corte, e a elevação da temperatura nesta região apresenta grande influência no desgaste da ferramenta e no coeficiente de atrito entre a ferramenta e o cavaco gerado. (GRZESIK, 2008)

Materiais com boa resistência ao desgaste, abrasão, erosão e também à corrosão são, nestas condições, desejados pela indústria de usinagem, o que tem promovido nos últimos anos a pesquisa por novos materiais e/ou revestimentos, com o objetivo de melhorar a resistência da superfície dos componentes.

Para melhorar as características das ferramentas, estudos há anos vêm sendo realizados na utilização de revestimentos cerâmicos aplicados às ferramentas. (STAPPEN, STALS, *et al.*, 1995)

Estes revestimentos possibilitam também outros ganhos quando aplicados nas ferramentas de corte, tais como: Menor coeficiente de atrito; Redução dos esforços de corte; Proteção térmica; Menor desgaste por oxidação; Alta dureza superficial; Melhor resistência ao desgaste. (PAIVA JR., AMORIM, *et al.*, 2013)

Ferramentas revestidas apresentam desempenho superior ao das ferramentas não revestidas. Isto permite a utilização de parâmetros de corte tais como velocidade de corte e avanço superiores durante o processo de usinagem, explorando de forma mais eficaz o potencial das máquinas de corte modernas. (BALZERS, 2015)

Entre os materiais mais utilizados para o revestimento de ferramentas de corte tem-se os nitretos e suas combinações, sendo os materiais mais amplamente utilizados o TiN, TiAlN e o AlCrN (KUTSCHEJ, MAYRHOFER, *et al.*, 2004) (BOURHIS, GOUDEAU, *et al.*, 2009).

Variações destes revestimentos na forma de deposição e na composição química vêm sendo desenvolvidas visando melhorar o desempenho dos revestimentos. Entre estas variações temos o TiSiN/AlCrN, produzido pela empresa Oerlikon Balzer, e comercializado com o nome de Helica. (BALZERS, 2014)

A presente pesquisa visa avaliar os efeitos da temperatura sobre o comportamento tribológico do revestimento de TiSiN/AlCrN, analisando o seu comportamento em temperatura ambiente, 500°C e 800°C.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Produção das Amostras

Para realização dos trabalhos foram produzidas 09 amostras constituídas por discos de Metal Duro (WC/Co) com as seguintes dimensões: diâmetro 18,4 mm e espessura de 5 mm. As amostras tiveram suas superfícies retificadas e posteriormente polidas com pasta diamantada de gramatura 6 μm para redução dos riscos do processo de retificação. Não foi realizada medição de rugosidade superficial das amostras, porém as mesmas apresentavam uma superfície ausente dos riscos do processo anterior.

Estas amostras foram encaminhadas à empresa Oerlikon Balzers na unidade de São José dos Pinhais – PR, para aplicação do revestimento TiSiN/AlCrN, comercialmente denominado Balinit Helica®, que é produzido pelo processo de deposição física de vapor (CAE-PVD). Foram utilizados os mesmo parâmetros de processo para deposição que são aplicados pela empresa para revestimento em ferramentas de usinagem.

O revestimento obtido nas amostras apresentou uma configuração multicamada de TiSiN e AlCrN, com espessura de referência informada pelo fornecedor de aproximadamente 3 μm sobre o substrato de Metal Duro (Figura 1).

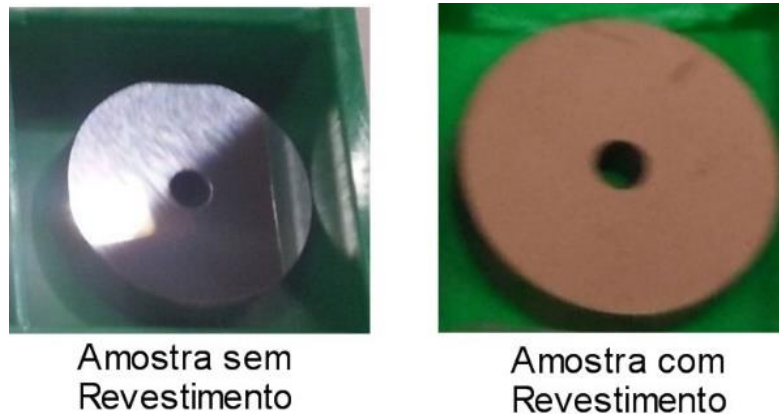


Figura 1. Amostras Sem Revestimento e Com Revestimento

2.2. Teste de Adesão (Scratch Test)

Foram realizados testes de adesão (pela metodologia Scratch Test) para avaliação da adesão do revestimento ao substrato, a fim de garantir que os resultados dos ensaios tribológicos não sejam comprometidos pela adesão do revestimento deste. A metodologia adotada foi um ensaio linear com carregamento progressivo, sendo a carga inicial de 1 N e carga final de 150 N. O comprimento total do risco produzido foi de 3 mm, com uma taxa de carregamento de 298 N/min e uma velocidade de deslocamento do indentador de 6 mm/min. O indentador utilizado nos testes foi do tipo Rockwell de diamante com um raio de 200 μm .

2.3. Microdureza

Realizaram-se medições de dureza com o microdurômetro Shimadzu modelo HMV-2T nos revestimentos analisados, sendo utilizado um indentador Knoop com geometria piramidal e ângulos de 172,5° e 130°. Também foram realizadas várias medições com as seguintes cargas: 980,7 mN (100 gr), 1961 mN (200 gr), 2942 mN (300 gr), 4903 mN (500 gr), e 9807 mN (1000 gr). Tais medições com alteração de cargas foram realizadas para a identificação das variações da dureza do revestimento em função da penetração da indentação, pois à medida que o indentador penetra mais fundo no revestimento há uma redução na dureza do revestimento, que começa a sofrer a influência do substrato. (OLIVER e PHARR, 2004)

2.4. Ensaio Tribológico

Os testes tribológicos do revestimento foram realizados no tribômetro CSM High Temperature Tribometer. A metodologia adotada foi a denominada pino-no-disco, sendo utilizado como material no contra corpo uma esfera alumina de 6 mm de diâmetro e, no disco, as amostras objeto do estudo. Durante a realização do teste a amostra foi submetida à temperatura ambiente e às temperaturas de 500°C e 800°C para avaliação das mudanças nos mecanismos de desgaste apresentado. Os parâmetros utilizados no teste foram de velocidade linear de 5 m/min (8,33 cm/s), distância de 100 m e carga normal aplicada na esfera de 5 N (ASTM, 2010) (MO e ZHU, 2008) (MO e ZHU, 2009).

2.5. Microscopia Ótica, Eletrônica, EDS e DRX

Para a microscopia foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura marca Tescan modelo Vega 3 para obtenção de imagens das trilhas, bem como para realização dos ensaios de EDS para identificação dos elementos presentes na amostra e na pista de desgaste após os devidos ensaios.

A microscopia eletrônica foi realizada primeiramente na superfície do revestimento, onde foi identificada a trilha de desgaste nas diversas condições de execução dos testes tribológicos, sendo também realizado um ensaio de EDS, em linha de forma transversal à trilha de desgaste.

Também foi realizada a microscopia da seção transversal do revestimento, onde utilizando-se o sinal de backscattering elétron (BSE) verifica-se as diferentes camadas de deposição do revestimento.

Foram feitos ensaios de Difração de Raio-X (DRX), afim de identificar os compostos presentes no revestimento bem como a estrutura cristalina do revestimento.

Tais ensaios foram realizados no Difrátômetro Shimadzu XRD-7000, sendo utilizados os seguintes parâmetros de varredura: Tensão do feixe – 40 kV; corrente de 30 mA, varredura do rasante, com faixa de leitura de 25 a 80 graus velocidade de deslocamento do leitor de 2 graus por minuto. As leituras foram realizadas utilizando-se ângulos de incidência do feixe de 0.5°, 1° e 2°.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Produção das Trilhas

As amostras revestidas foram ensaiadas no tribômetro CSM High Temperature Tribometer nas seguintes temperaturas: Temperatura Ambiente (20°C), 500°C e 800°C, conforme Figura 2, com o objetivo de verificar os mecanismos de desgaste apresentado pelas superfícies em contato (ABEL e FERRANTE, 2001) (BHUSHAN, 2001). Após a execução das trilhas as amostras foram ensaiadas com relação a microdureza do revestimento, adesão do revestimento e medição do perfil de desgaste. Para finalizar, as amostras foram analisadas no microscópio eletrônico de varredura, no qual foi realizada uma análise de EDS para identificação dos elementos presentes no revestimento e na trilha de desgaste em cada amostra submetida a cada temperatura, bem como ensaio por Difração de Raio-X (DRX), afim de identificar as estruturas cristalinas presentes nas amostras.



Figura 2 - Imagem das trilhas de desgaste produzidas nas amostras após ensaios tribológicos nas temperaturas de 20 °C, 500 °C e 800 °C.

3.2. Microscopia Eletrônica Seção Transversal

Nas imagens de microscopia eletrônica da seção transversal do revestimento, podemos visualizar as linhas de separação das diferentes camadas do revestimento, fruto da deposição intercalada dos diferentes materiais TiSiN e AlCrN que constituem o revestimento TiSiN/AlCrN (multilayer), conforme Figura 3. Nenhuma das amostras apresentou mudança na estrutura do revestimento, pois identifica-se claramente as linhas de separação das diferentes camadas depositadas para formação do revestimento, sendo a espessura total do revestimento de aproximadamente 3,5 µm e a espessura de cada camada do revestimento de aproximadamente 0,2 µm ou seja 200 nm.

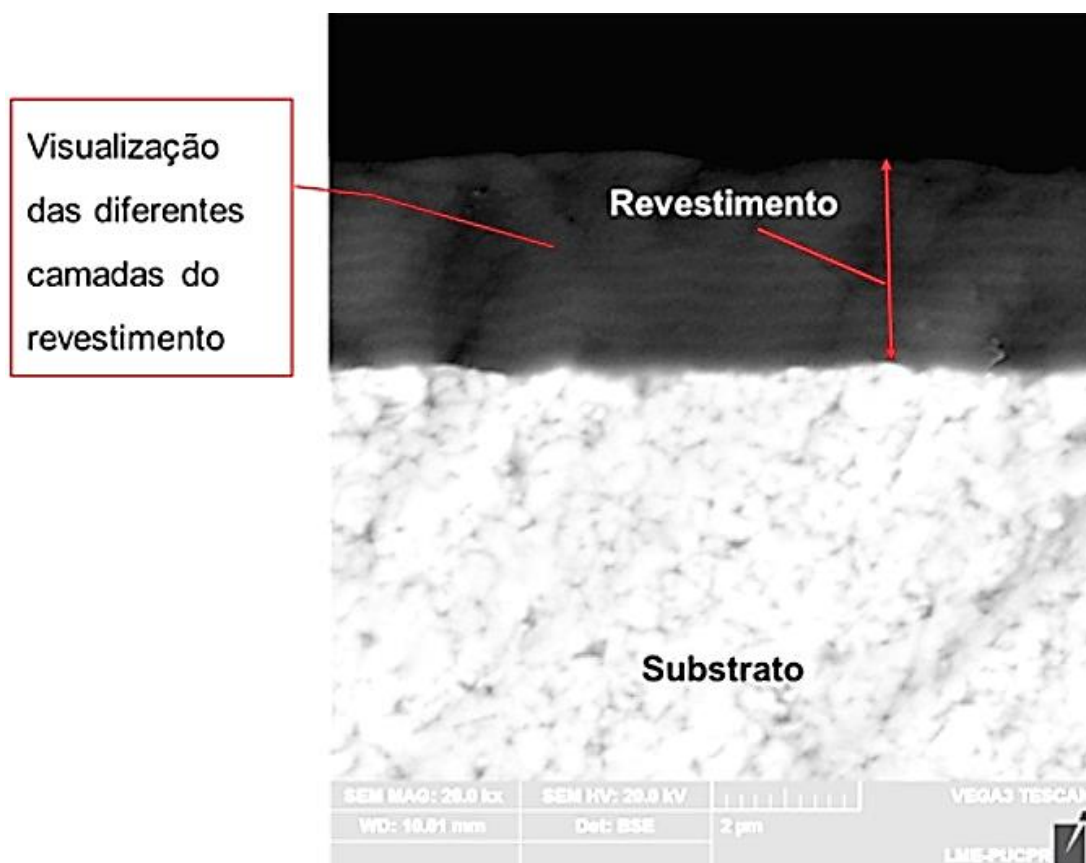


Figura 3 – Imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura da seção transversal do revestimento

3.3. Microdureza e Adesão do Revestimento

Os ensaios de microdureza realizados nas amostras apresentaram um comportamento similar para todas as amostras, conforme apresentado na Figura 4. Conforme esperado, ocorre uma redução da dureza em função da profundidade da indentação, pois o substrato passa a ter cada vez mais influência na dureza do revestimento (BOURHIS, et al., 2009). Os valores médios de dureza do revestimento na profundidade de um micrometro estão próximos a 25 GPa, e a dureza do substrato na mesma profundidade está próxima a 13 GPa. Nas amostras que foram sujeitas a temperatura elevada, ocorre a oxidação do revestimento principalmente do Ti com a formação de TiO_2 (Rutila), ocasiona um aumento da dureza do revestimento. Tal incremento na dureza do revestimento é atenuado à medida que o substrato passa a ter maior influência sobre a dureza do revestimento.

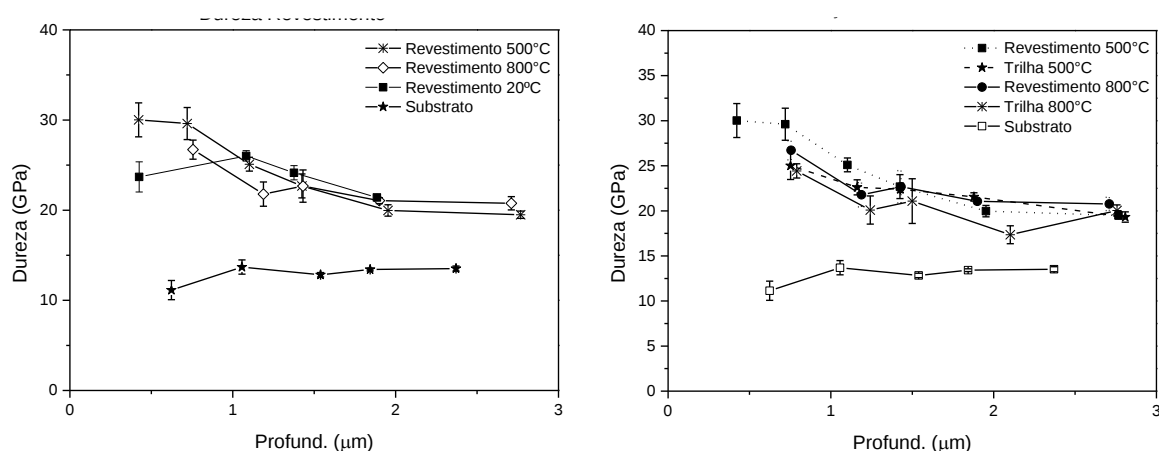


Figura 4 - Comparação da variação da dureza do revestimento, medida a temperatura ambiente, com a profundidade da indentação após a realização dos ensaios tribológicos nas temperaturas de 20°C, 500°C e 800 °C.

A análise comparativa entre os valores de dureza no revestimento e na trilha de desgaste não demonstraram mudança significativa na estrutura ou comportamento do revestimento em relação a dureza, visto que os valores de dureza obtidos na trilha estão muito próximos dos valores obtidos no revestimento fora da trilha de desgaste, pois poderiam ter ocorrido alterações no revestimento provocadas para aplicação da carga e temperatura durante os ensaios tribológicos. (FOX-RABINOVICH, BEAKE, *et al.*, 2006)

As amostras foram também ensaiadas com relação a adesão do revestimento ao substrato. Este ensaio foi realizado em todas as amostras que foram submetidas a desgaste, com o objetivo de analisar possíveis mudanças na adesão do revestimento, após as amostras terem sido submetidas a temperaturas elevadas durante a realização dos testes tribológicos. Os parâmetros de adesão obtidos nas amostras submetidas a temperaturas de 500°C e 800°C sofreram pequena variação se comparados aos valores de referência obtidos com a amostra em temperatura ambiente, porém não comprometeram a adesão do revestimento ao substrato a ponto de influenciar os resultados tribológicos.

O revestimento apresenta trincas tensionais, e não apresenta descolamento ou deslocamento. (BULL, 1991) O comportamento da curva de emissão acústica obtido nos ensaios de Scratch Test para o revestimento de Helica sobre metal duro é similar ao de um material frágil conforme apresentado por Bull (1991).

3.4. Desgaste das Trilha e Coeficiente de Atrito

Os resultados dos coeficientes de atrito e perfil desgaste das amostras apresentaram um comportamento diferente para as amostras ensaiadas à temperatura ambiente e 500°C, se comparados com as amostras ensaiadas a 800°C.

O coeficiente de atrito (μ) das amostras, a temperatura ambiente e a temperatura de 500°C apresentaram um comportamento similar conforme verificado na Figura 5, a qual apresenta os valores médios dos coeficientes de atrito para as trilhas realizadas, tendo um valor inicial de aproximadamente 0,15. Após percorrer aproximadamente 10 metros, atingiu um valor praticante estável entre 0,50 e 0,55.

A amostra que foi submetida à temperatura de 800°C teve um comportamento diferenciado para o coeficiente de atrito, atingindo o valor próximo a 0,28 nos metros iniciais, permanecendo neste patamar, ficando entre 0,25 e 0,30 durante o restante do teste.

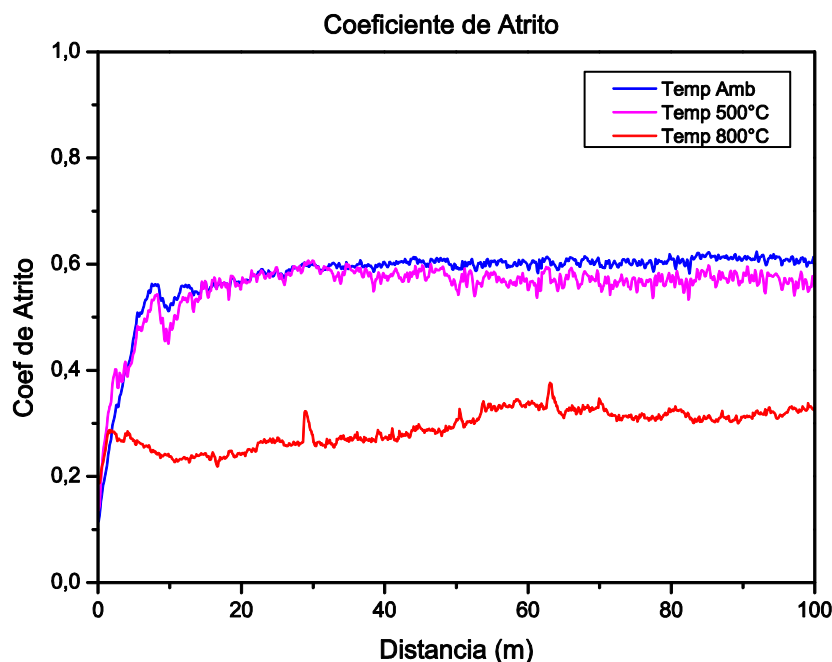


Figura 5 - Digrama comparativo do coeficiente de atrito durante teste tribológico realizado nas amostras nas temperaturas de 20°C, 500°C e 800°C

A Figura 6 apresenta as imagens realizadas com microscópio ótico da trilha de desgaste.

Verifica-se que a amostra que foi ensaiada à temperatura ambiente praticamente não sofreu desgaste nem oxidação do revestimento, tornando a identificação visual da trilha de desgaste mais difícil.

Nas amostras que foram submetidas às temperaturas de 500°C e 800°C a identificação da trilha de desgaste pode ser feita mais facilmente, em virtude da oxidação sofrida pela superfície quando submetida à estas temperaturas. A amostra

que foi submetida a 800°C apresenta uma característica de remoção de material na trilha de desgaste, o que não foi identificado nas amostras sujeitas a temperaturas inferiores a esta.

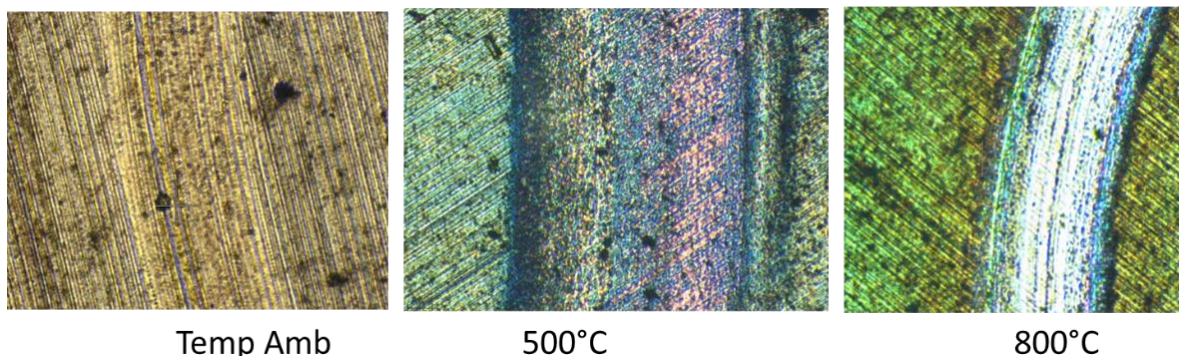


Figura 6 - Imagem microscópio ótico das trilhas de desgaste das amostras após ensaio tribológico nas temperaturas de 20°C, 500°C e 800°C

Ao analisar os perfis das trilhas produzidas no ensaio, verifica-se um comportamento diferenciado entre as amostras ensaiadas em temperatura ambiente, 500°C e a 800°C. As amostras ensaiadas a temperatura ambiente e 500°C não sofreram desgaste significativo, tornando a identificação da trilha muito mais visual em função das marcas produzidas na superfície do que pela remoção de material, ao passo que a amostra sujeita à temperatura de 800°C teve a formação de uma trilha, onde identifica-se o desgaste da amostra. Porém, a profundidade não foi suficiente para comprometer o revestimento (conforme verificado na Figura 7), na qual a profundidade máxima desgastada foi de aproximadamente 0,8 μm , e o revestimento possui espessura de aproximadamente 3,5 μm .

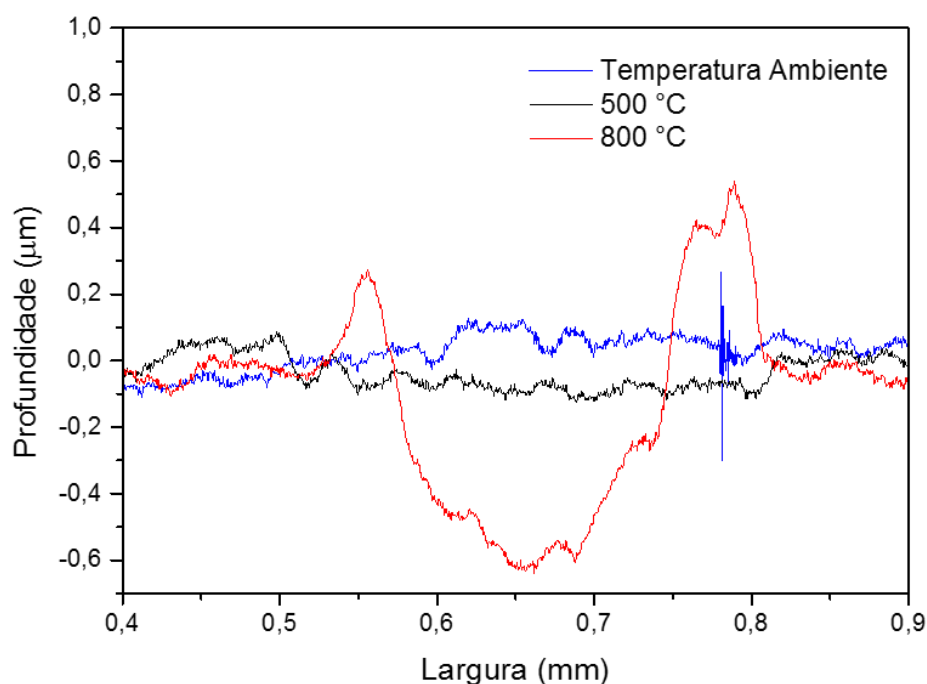


Figura 7 - Perfil de desgaste das trilhas produzidas durante o ensaio tribológico na temperatura de 20°C, 500°C e 800°C

3.5. MEV, EDS e DRX da Trilha

Na trilha produzida no ensaio em temperatura ambiente não é identificada a presença de oxigênio nos diagramas de EDS ao longo da trilha, conforme apresentado na Figura 8. Também se observa que na trilha apresenta um desgaste puramente abrasivo, não apresentando outro tipo de falha ao longo da trilha. Não se identifica presença de partículas de desgaste ao lado da trilha, demonstrando a boa resistência do revestimento nestas condições.

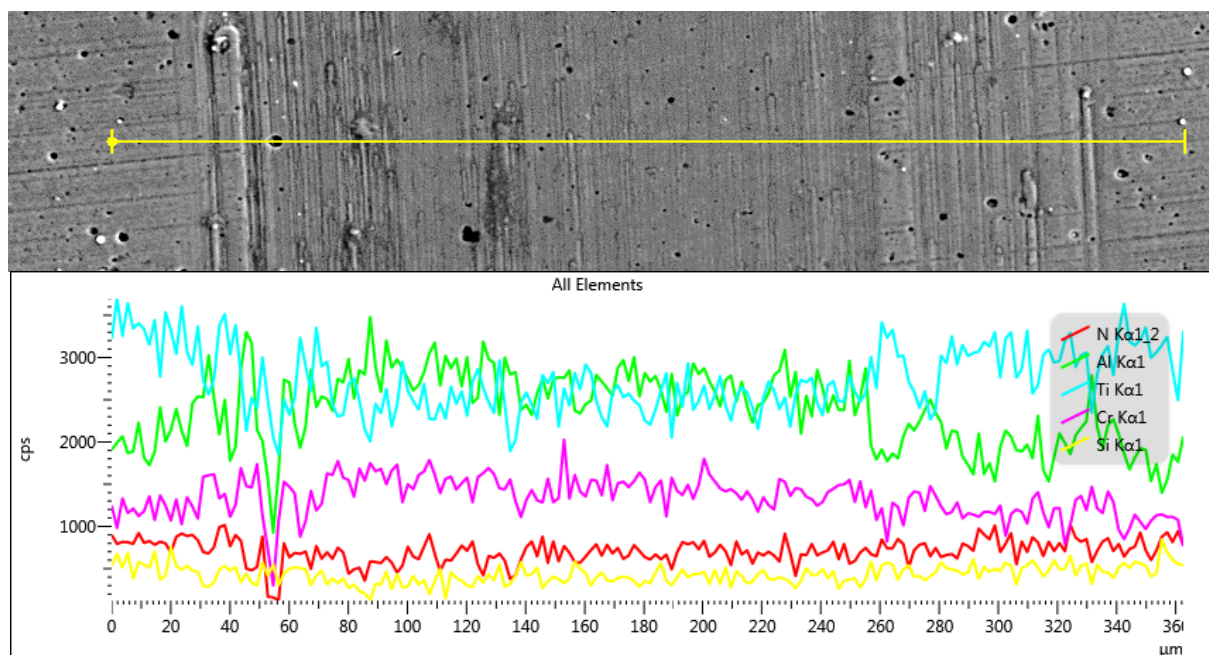


Figura 8 - Imagem de microscopia eletrônica da trilha e diagrama EDS realizado ao longo da linha transversal na trilha de desgaste na amostra ensaiada a temperatura ambiente (20 °C).

Para a amostra sujeita à temperatura de 500°C, verifica-se a incorporação de oxigênio, conforme apresentado no diagrama EDS (Figura 9). É visível o surgimento de algumas partículas de desgaste ao lado da trilha, porém o desgaste da trilha é praticamente nulo (conforme Figura 7). Também verifica-se que não há uma grande mudança da composição do revestimento ao longo da trilha, de acordo com o ensaio de EDS. Nesta condição, é notável um aumento do Al e uma redução do Ti. Isto deve-se ao pequeno desgaste apresentado pelo revestimento na região da trilha de desgaste, por se tratar de um revestimento Multicamada TiSiN/AlCrN, com espessura de camada de aproximadamente 0,2 μm. O desgaste na camada superficial de TiSiN não foi suficiente para expor a camada inferior, mas foi suficiente para alterar a leitura realizada pelo EDS da composição do revestimento.

A amostra ensaiada a 800°C apresenta uma maior taxa de desgaste, conforme verificado pelo perfil da trilha (Figura 7). Na imagem de microscopia eletrônica identifica-se uma maior presença de partículas de desgaste na lateral da trilha, o que confirma o perfil da trilha apresentado anteriormente. Analisando-se os diagramas de EDS, verifica-se uma maior participação do elemento Al na trilha, devido principalmente ao desgaste da camada superficial do revestimento que é composta pelo TiSiN, comparando-se a espessura das camadas identificadas na imagem de microscopia eletrônica da seção transversal, com valores de desgaste apresentados pelo revestimento quando submetido a uma temperatura de 800 °C. Pode-se ver que o desgaste de 0,6 μm apresentado na trilha seria suficiente para a remoção da primeira camada o revestimento de TiSiN, expondo a camada subsequente de AlCrN. Isto justificaria o comportamento indicado pelo diagrama de EDS da composição química do revestimento em um seção transversal a trilha de desgaste. Também não se descarta a incorporação do material do contra corpo utilizado no ensaio tribológico - que é uma esfera de Alumina (Al₂O₃) - à trilha de desgaste. Esta incorporação auxiliaria na alteração dos percentuais de Ti e Al, verificados ao longo da linha transversal da trilha. De forma semelhante à verificada na amostra submetida à temperatura de 500°C, tem-se a presença de oxigênio na trilha e no revestimento, e os valores percentuais em massa de oxigênio são semelhantes nas duas amostras (500°C e 800°C), aproximadamente 20% (Figura 10).

Foram realizadas análises por DRX das amostras, onde é possível identificar os principais compostos e estruturas apresentadas pelo revestimento. Identifica-se principalmente a formação de TiO₂ (Rutila) nas amostras que foram submetidas as temperaturas de 500 °C e 800 °C, conforme observa-se na Figura 11, onde há formação de novos compostos à medida que a amostra é submetida a temperaturas mais elevadas. Tal fenômeno também foi verificado por FOX-RABINOVICH, *et al.*, 2008.

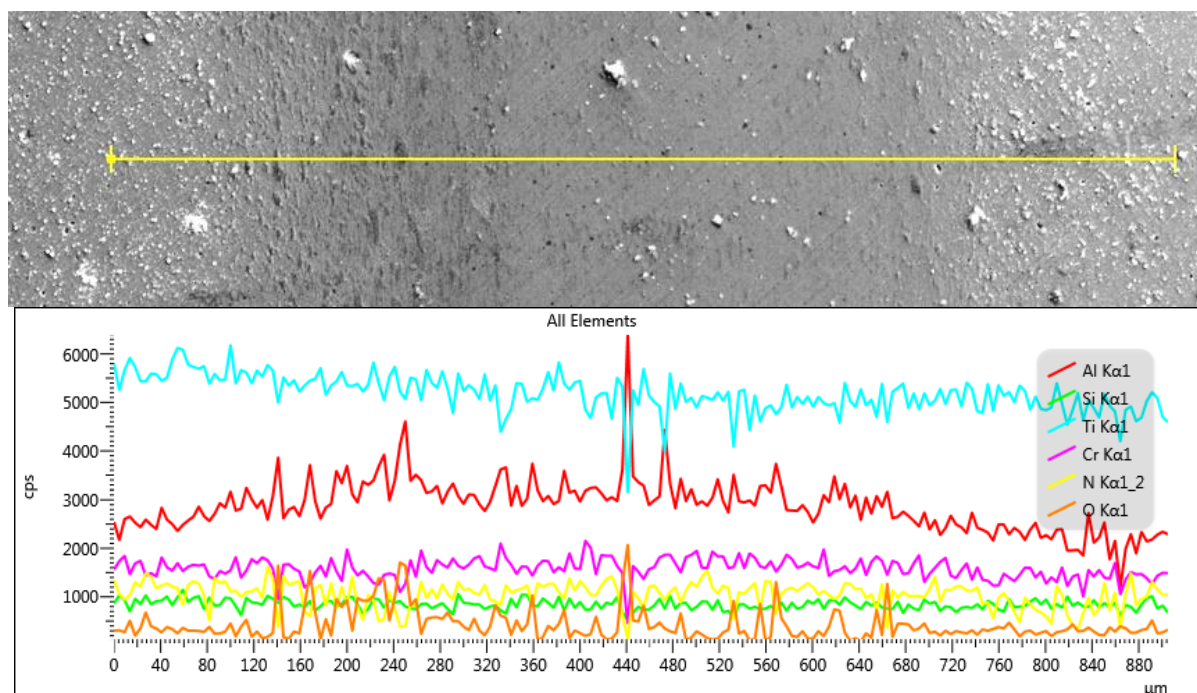


Figura 9 - Imagem de microscopia eletrônica da trilha e diagrama EDS realizado ao longo da linha transversal na trilha de desgaste na amostra ensaiada a temperatura de 500 °C.

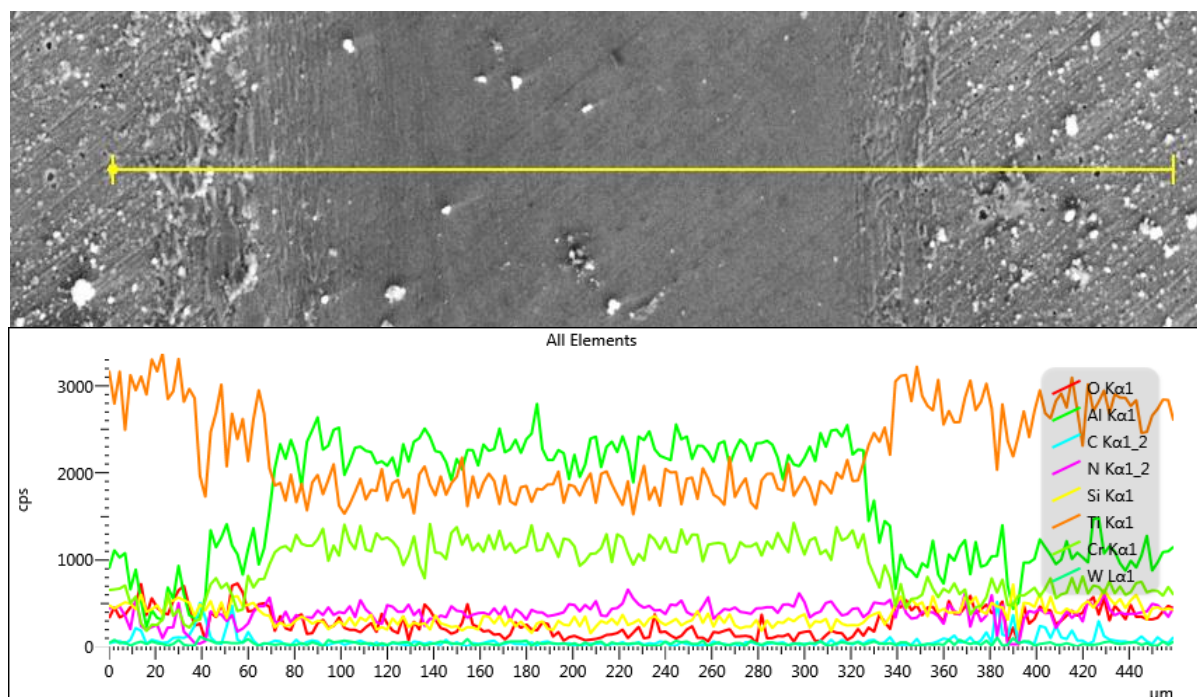


Figura 10 - Imagem de microscopia eletrônica da trilha e diagrama EDS realizado ao longo da linha transversal na trilha de desgaste na amostra ensaiada a temperatura de 800 °C.

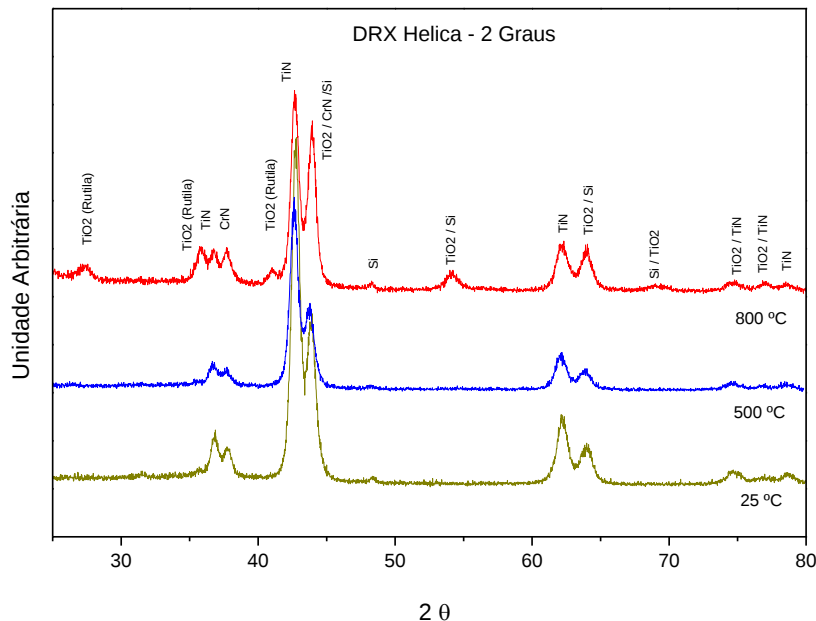


Figura 11 - DRX Comparativo para revestimento Helica com ângulo de incidência de 2°, realizado nas amostras submetidas a temperatura de 20 °C, 500 °C e 800 °C.

3.6. Conclusão

Com base na revisão da literatura e nos dados obtidos dos ensaios, conclui-se que o revestimento de multicamada TiSiN/AlCrN apresenta um excelente desempenho à temperatura ambiente, onde nas condições de realização dos testes o mesmo praticamente não apresentou desgaste, e sua estrutura não sofreu alteração durante os ensaios tribológicos.

As amostras que foram submetidas a temperaturas mais elevadas, tais como 500 °C e 800 °C, têm como principal efeito a oxidação da superfície do revestimento, que na sequência de deposição (conforme identificado pelo ensaio de EDS), sugere que esta camada inicial seja de TiSiN. Este composto oxida com maior facilidade que o composto de AlCrN, conforme descrito na bibliografia. Desta forma, principalmente na condição extrema de 800 °C, ocorre formação de TiO₂, que é removido da trilha de desgaste pelo contra corpo, promovendo um desgaste tribo-químico do revestimento (KATO e ADACHI, 2001). Isto é confirmado pelo perfil de desgaste, que apresenta uma maior taxa de desgaste nestas condições se comparado ao desgaste nas condições de Temperatura ambiente e 500 °C, onde praticamente não ocorreu desgaste do revestimento conforme apresentado na Figura 7

O revestimento apresenta apenas uma oxidação superficial, não ocorrendo aparentemente alteração ou difusão significativa nas camadas depositadas, pois pode-se identificar claramente nas imagens realizadas no MEV a existência das diferentes camadas de composição do revestimento, que são praticamente inalteradas com a variação da temperatura do ensaio.

Analisando-se os resultados dos ensaios de DRX, também podemos verificar que ocorre a segregação do revestimento com o surgimento de compostos de AlN, CrN e TiN, Si, além do TiO₂ (Rutila), citado anteriormente.

A redução do coeficiente de atrito para a amostra sujeita à temperatura de 800 °C, em comparação às outras duas amostras, deve-se à formação de óxidos, que atuam como lubrificantes sólidos na trilha de desgaste, reduzindo o coeficiente de atrito, porém promovendo um maior desgaste dos corpos pela remoção destes óxidos da trilha de desgaste.

4. AGRADECIMENTOS

Agradeço as empresas 'Fecial Indústria e Comércio de Araucária-PR' e a 'Oerlikon Balzers Revestimentos Metálicos Ltda.' (unidade de São José dos Pinhais-PR), que produziram as amostras que foram objeto de estudo deste trabalho, e a Pontifícia Universidade Católica do PR (PUC-PR), assim como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro, que tornou possível a realização do projeto.

5. REFERÊNCIAS

ABEL, P. B.; FERRANTE, J. Surface Physics in Tribology. In: BHUSHAN, B. Modern Tribology Handbook. 1ª. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, v. I, 2001. Cap. 1, p. 1728. ISBN 0-8493-8403-6.

- ASTM - G99-05 - Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. American Society for Test Material, 2010.
- BALZERS, O. BALINIT® HELICA. Oerlikon Balzers, 2014. Disponível em:
<<http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bbr/por/01-products-services/02-balinit-coatings/151-balinit-helica>>.
Acesso em: mar. 2014.
- BALZERS, O. Revestimentos BALINIT® - mais vantagem competitiva ao seu negócio. Oerlikon Balzers, 2015.
Disponível em: <<http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bbr/por/01-products-services/01-advantages/indexW3DnavidW261.php>>. Acesso em: 22 jan. 2015.
- BALZERS, O. Tecnologia de Revestimento. Oerlikon Balzers, 2015. Disponível em:
<<http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bbr/por/01-products-services/03-coating-technology/indexW3DnavidW261.php>>. Acesso em: 22 jan. 2015.
- BHUSHAN, B. (Ed.). Modern Tribology Handbook. [S.l.]: CRC Press LLC, v. 1, 2001.
- BOURHIS, E. L.; GOUDEAU, P.; STAIA, M. H.; CARRASQUERO, E.; PUCHI-CABRERA, E. S. Mechanical properties of hard AlCrN-based coated substrates. Surface & Coatings Technology, 2009. 2961-2968.
- BUCHNER, S.; MIKOWSKI, A.; LEPIENSKI, C. M.; FERREIRA, E. B.; ZANOTTO, E. D.; TORRES, R. D.; SOARES, P. Mechanical and tribological properties of a sintered glass-ceramic compared to granite and porcelainized stoneware. Wear, 2011. 875– 880.
- BULL, S. J. Failure Modes in Scratch Adhesion Testing. Surface and Coating Technology, n. 50, p. 25-32, July 1991.
- CHANG, C. L.; CHEN, W. C.; TSAI, P. C.; HO, W. Y.; WANG, D. Y. Characteristics and performance of TiSiN/TiAlN multilayers coating synthesized by cathodic arc plasma evaporation. Surface & Coatings Technology, v. 202, p. 987–992, June 2007.
- FOX-RABINOVICH, ; BEAKE, ; ENDRINO, J. L.; VELDHUIS, S. C.; PARKINSON, ; SHUSTER, ; MIGRANOV, . Effect of mechanical properties measured at room and elevated temperatures on the wear resistance of cutting tools with TiAlN and AlCrN coatings. Surface & Coatings Technology, p. 5738-5742, 2006.
- FOX-RABINOVICH, ; ENDRINO, ; BEAKE, ; AGUIRRE, ; VELDHUIS, ; QUINTO, ; BAUER, C. E.; KOVALEV, ; GRAY, . Effect of temperature of annealing below 900 °C on structure, properties and tool life of an AlTiN coating under various cutting conditions. Surface & Coatings Technology, p. 2985–2992, 2008.
- GRZESIK, W. Advanced Machining Processes of Metallic Materials. 1º. ed. [S.l.]: Elsevier B.V., 2008. ISBN 978-0-08-044534-2.
- HEDENQVIST, P.; HOGMARK, S. Experiences from scratch testing of tribological PVD coatings. Tribology International, Great Britain, v. 30, p. 507-516, 1997.
- KATO, K.; ADACHI, K. Wear Mechanisms. In: KATO, K.; ADACHI, K. MODERN TRIBOLOGY HANDBOOK. [S.l.]: Ed. CRC Press LLC, v. 2, 2001. Cap. 22.
- KUTSCHEJ, K.; MAYRHOFFER, P. H.; KATHREIN, M.; POLCIK, P.; MITTERER, C. A new low-friction concept for Ti1-xAlxN based coatings in high-temperature applications. Surface & Coatings Technology, 2004. 358– 363.
- LI, X.; LI, C.; ZHANG, Y.; TANG, H.; LI, G.; MO, C. Tribological properties of the Ti–Al–N thin films with different components fabricated by double-targeted co-sputtering. Applied Surface Science, v. 256, p. 4272–4279, 2010.
- MO, J. L.; ZHU, M. H. Sliding tribological behavior of AlCrN coating. Tribology International, p. 1161-1168, 2008.
- MO, J. L.; ZHU, M. H. Tribological oxidation behaviour of PVD hard coatings. Tribology International, n. 42, p. 1758–1764, 2009.
- MO, J. L.; ZHU, M. H.; LEI, B.; LENG, Y. X.; HUANG, N. Comparison of tribological behaviours of AlCrN and TiAlN coatings—Deposited by physical vapor deposition. Wear, 2007. 1423–1429.
- OLIVER, W. C.; PHARR, G. M. Measurement of Hardness and Elastic Modulus by Instrumented Indentation: advances in Understanding and Refinements to Methodology. Journal of Material Research, v. 19, Jan 2004.
- PAIVA JR., J. M. F. D.; AMORIM, F. L.; TORRES, R. D.; SOARES, P. Evaluation of Hard Coating Performance in Drilling Compacted Graphite Iron (CGI). Journal of Materials Engineering and Performance, v. 22 (10), p. 3155–3160, October 2013.
- STAPPEN, M. V.; STALS, L. M.; KERKHOF, M.; QUAEYHAEGENS, C. State of Art for Industrial Use of Ceramic PVD Coating. Surface and Coating technology, 1995. 629-633.
- TILLMANN, W.; MOMENI, S.; HOFFMANN, F. A study of mechanical and tribological properties of self-lubricating TiAlVN coatings at elevated temperatures. Tribology International, 2013. 324-329.
- ZHOU, Z.; LI, Z.; WANG, ; LIU, Y.; WU, Y.; ZHAO, M.; YIN, F. 700°C Isothermal Section of Al–Cr–Si Ternary Phase Diagram. Thermochimica Acta, 2014. 59– 65.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

COBEF2017-0356 - TEMPERATURE EFFECT AT TRIBOLOGICAL BEHAVIOUR OF TiSiN/AlCrN COATING

Carlos Bernardo Gouvea Pereira, carlosbernardop@yahoo.com.br¹
Ricardo Diego Torres - ricardo.torres@pucpr.br¹
Paulo Cesar Soares Junior - pa.soares@pucpr.br¹

¹ Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR - Endereço: Rua Imaculada Conceição, 1155 - Bairro Prado Velho - CEP: 80215-901,

Resume: The present work aims at evaluating the effects of temperature on the tribological behavior of TiSiN / AlCrN coating (commercially known as Helica), produced by the company 'Oerlikon Balzers Revestimentos Metálicos Ltda', when submitted to wear in the conditions of room temperature (20 °C), 500 °C and 800 °C. During the machining process, the heat generation in the cutting region due to shear of the material can raise the temperature of the cutting edge to values close to 1000 °C. Due to such fact, the knowledge of the behavior of the coatings at high temperatures is relevant to understand the wear mechanisms presented for the coating, and in the development of new coatings. For this work, TiSiN / AlCrN coating was deposited by CAE / PVD process on Hard Metal substrate (WC / Co) in an industrial process. The coating had its microhardness and adhesion to the substrate evaluated in order to check the physical properties of the coating, and thus to guarantee the reliability of the tribological test results. Track wear were produced in the coating by the Pin-on-Disc methodology, in samples at ambient temperatures (20 °C), 500 °C and 800 °C. The results show that the coating has a low wear rate, with predominance of the abrasive wear mechanism at room temperature. However, at a temperature of 800 °C, the coating presented oxidative wear, which was identified by the formation of oxides in the coating and wear track. Due to the change in abrasive wear mechanism for corrosive wear, the coating presented a higher wear rate compared to that presented at the lower temperatures.

Keywords: TiSiN/AlCrN; Helica; Tribological Analysis

COPYRIGHT

Authors are solely responsible for the content of the printed material included in their work.