

ESTUDO DO COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DO PAR METAL DURO REVESTIDO COM (TiAl)N E AISI D2 TEMPERADO E REVENIDO (57 ± 1 HRC) DURANTE O ENSAIO PINO SOBRE DISCO

Anderson Júnior dos Santos, ndersonsantos@hotmail.com¹

Natalia Fernanda Santos Pereira, natsantos23@gmail.com¹

Gilmar Cordeiro Da Silva, gilmarcord@gmail.com²

Juan Carlos Campos Rúbio, juan@ufmg.br¹

Marcelo Araújo Câmara, Marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Geralda Cristina Durães de Godoy, cristinagodoyufmg@gmail.com¹

Sinval Pedroso da Silva, sinvalpedroso@yahoo.com.br¹

¹Programa de pós – graduação em engenharia mecânica da Universidade Federal De Minas Gerais , Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP 31270-901, Brasil

²Pontifícia Universidade Católica De Minas Gerais, R. Rio Comprido, 4.580 - Contagem – MG – CEP 32010-025, Brasil

Resumo: O aço AISI D2 no estado temperado e revenido apresenta durezas elevadas mantendo a boa resistência à fratura, sendo aplicado em matrizes de conformação a frio. As matrizes de conformação a frio podem ser fabricadas pelo processo de usinagem, pela operação de fresamento utilizando ferramentas de metal duro revestidas com (TiAl)N. O principal objetivo do trabalho foi analisar os mecanismos de desgaste entre o par tribológico AISI D2 temperado e revenido (57 ± 1 HRC) e metal duro revestido com (TiAl)N durante o ensaio pino sobre disco e identificar os mecanismos de desgaste que ocasionam danos que podem provocar a redução da vida útil da ferramenta de corte. Em relação ao comportamento do ensaio pino sobre disco, a temperatura pode ter afetado de maneira significativa os resultados do coeficiente de atrito. Dessa forma, o comportamento oscilatório do coeficiente de atrito do par tribológico metal duro revestido com (TiAl)N foi decorrente da presença de oxigênio na superfície de deslizamento que consequentemente formou óxido de ferro que atuou como lubrificante na interface do par tribológico.

Palavras-chave: aço AISI D2, ensaio pino sobre disco, metal duro

1. INTRODUÇÃO

O aço AISI D2 é um aço ferramenta pertencente ao grupo D para trabalho a frio com alto teor de carbono e cromo e foi um dos primeiros a serem desenvolvidos para possível substituição dos aços rápidos usados para ferramentas de corte. Porém, o aço AISI D2 não apresenta dureza a quente suficiente para aplicações de usinagem (Wills, 1935 e Roberts, 1998). No entanto, devido a sua excelente resistência ao desgaste promovida pela presença de carbonetos de cromo e a sua alta resistência ao impacto são tipicamente aplicados em ferramenta para conformação de materiais a frio sobre severas condições, como matrizes para estampagem, punções, rolos laminadores de roscas e dentre outros componentes que exigem alta resistência ao desgaste abrasivo e boa estabilidade dimensional Pirtovšek *et al.* (2013).

Para obter uma combinação de alta dureza, resistência ao desgaste e resistência à tenacidade, o aço AISI D2 é submetido a tratamento térmico de têmpera e revenimento com microestrutura final composta de martensita, austenita retida e carbonetos. Na maior parte dos casos, a alta dureza ocorre devido à transformação da austenita em martensita e a tenacidade é controlada durante o revenimento. Dentro deste contexto, a usinagem do AISI D2 no estado endurecido pode causar o desgaste severo da ferramenta de corte e ocasionar a sua quebra prematura.

Sendo assim, com a ampla utilização do aço AISI D2 na manufatura de ferramentas para conformação a frio é justificável analisar os mecanismos de desgaste e a taxa de desgaste entre o par tribológico aço AISI D2 endurecido e pino de metal duro revestido com (TiAl)N durante o ensaio pino sobre disco.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio pino sobre disco foi realizado com carga normal de 4N com pino revestido de (TiAl)N e disco de aço AISI D2 no estado temperado e revenido, com 416,67 rotações por minuto (RPM), diâmetro da pista de 48 mm e tempo de

duração do ensaio de 180 minutos. Os equipamentos utilizados foram uma balança de precisão Shimadzu modelo AX200, tribômetro fabricado pela Micro Photonics Modelo MT60 e um microscópio eletrônico de varredura Jeol modelo JSM – IT300 e EDS Oxford Instruments modelo X – Max. Para avaliação da rugosidade superficial dos corpos de prova, utilizou-se perfilômetro por contato, Hommelwerk modelo T8000. A Figura 1 detalha as dimensões do pino de metal duro revestido com (TiAl)N utilizados durante os ensaios de pino sobre disco.

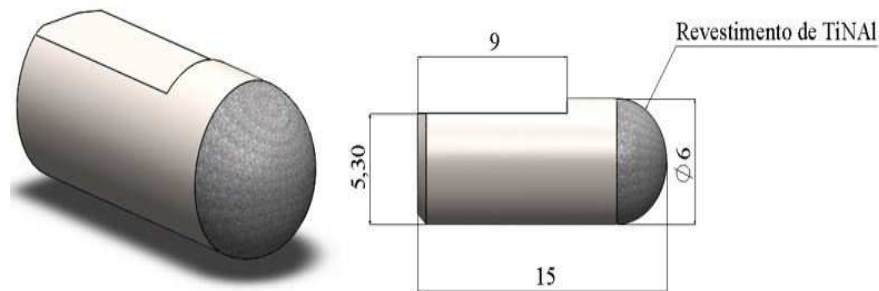


Figura 1: Desenho 3D do pino de metal duro revestido com (TiAl)N, com suas respectivas dimensões.
Fonte: Autor, 2017.

Resultados e discussão

A Tabela 1 apresenta a composição química dos corpos de prova correspondente ao aço AISI D2.

Tabela 1. Composição química do aço AISI D2.

C (%)	Si (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
1,50	0,30	12,0	0,95	0,90

Fonte: Villares Metals, 2017.

A Figura 2 corresponde a análise química do Aço AISI D2 por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) referente ao corpo de prova utilizado no ensaio pino sobre disco.

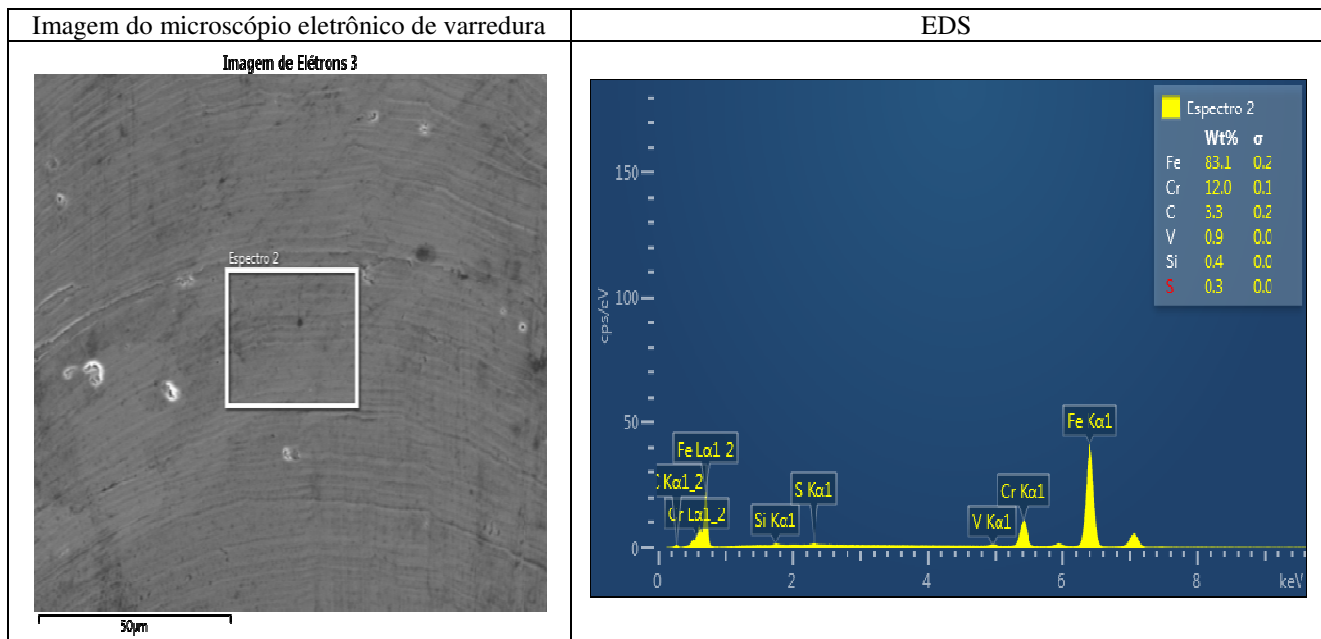


Figura 2. Análise química do aço AISI D2.

Ensaio pino sobre disco

Os ensaios de desgaste por deslizamento foram realizados para o par tribológico pino de metal duro de topo esférico revestido com (TiAl)N e aço AISI D2 temperado e revenido com carga normal de 4N. A velocidade de deslizamento utilizada foi de 62,8 m/min e rotação do disco de 416,67 RPM. Os resultados do coeficiente de atrito em relação à distância de deslizamento estão representados por meio das curvas da Figura 3, correspondente aos ensaios pino sobre disco.

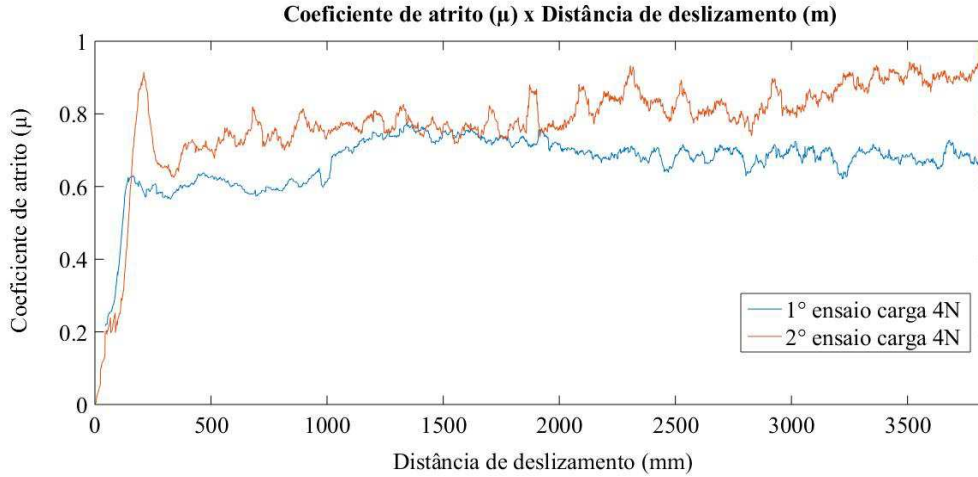


Figura 3. Coeficiente de atrito em relação à distância de deslizamento para a velocidade de deslizamento de 62,80 m/min.

Observa-se que o coeficiente de atrito tanto no primeiro ensaio, quanto no segundo apresentaram valores médios de 0,65 e $0,85 \pm 0,05$ coletados na fase estável, sendo valores relativamente próximos. Segundo Blau (2009), a curva de comportamento do atrito é dividida entre run in e estágio estacionário (fase estável). Quando duas superfícies estão em contato, sobre carga e movimento, mudanças nas superfícies podem ocorrer e são detectáveis pela mudança no atrito. Dessa forma, implicam em mudanças na forma e na rugosidade entre a condição inicial (run in) até a forma de estágio estacionário, onde atinge a conformidade geométrica, alcançam e mantêm um nível de coeficiente de atrito médio relativamente constante. Sendo assim, a coleta do coeficiente de atrito médio foi realizada na fase estável. Acredita-se que os valores do coeficiente de atrito foram influenciados inicialmente pelo revestimento (TiAl)N, devido suas boas propriedades como alta dureza, resistência ao desgaste.

A Tabela 2 detalha a taxa de desgaste do par tribológico no ensaio pino sobre disco. A taxa de desgaste corresponde ao volume de material removido por unidade de distância de deslizamento. Para efeito de cálculo, considerou-se a densidade do aço sendo de 7,8 kg/m³. Nessa tabela também apresenta o desvio médio aritmético Ra para os corpos de prova e pinos utilizados no tribômetro, sendo inferiores a 0,8 μm conforme recomendado pela norma ASTM- G99-05 (2010).

Tabela 2. Taxa de desgaste para o corpo de prova e pino.

Ensaio		Rugosidade Ra (μm)	Distância de deslizamento (mm)	Variação de massa (g)	Volume de desgaste (mm ³)	Volume desgaste total (mm ³)	Taxa de desgaste (mm ³ /s)	Taxa de desgaste total (mm ³ /s)
1º ensaio	Corpo de prova	0,082	3850	$7,60 \times 10^{-3}$	$9,69 \times 10^{-1}$	1,03	$5,27 \times 10^{-6}$	$5,61 \times 10^{-6}$
	Pino	0,088		$7,80 \times 10^{-4}$	$6,24 \times 10^{-2}$		$3,40 \times 10^{-7}$	
2º ensaio	Corpo de prova	0,070	3850	$6,50 \times 10^{-3}$	$8,29 \times 10^{-1}$	0,89	$4,48 \times 10^{-6}$	$4,82 \times 10^{-6}$
	Pino	0,092		$8,20 \times 10^{-4}$	$5,60 \times 10^{-2}$		$3,05 \times 10^{-7}$	

De acordo com a Tabela 1, foi possível verificar que houve perda de massa no corpo de prova e pino e que a taxa de desgaste tanto para pino quanto para o corpo de prova apresentaram valores relativamente próximos no primeiro ensaio e no segundo ensaio pino sobre disco.

Análise do desgaste após o ensaio pino sobre disco

As imagens obtidas do MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e o EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva) da região do desgaste dos pinos revestidos com (TiAl)N estão demonstrados no Fig. 4 e Fig. 5 referente ao primeiro ensaio e ao segundo ensaio.

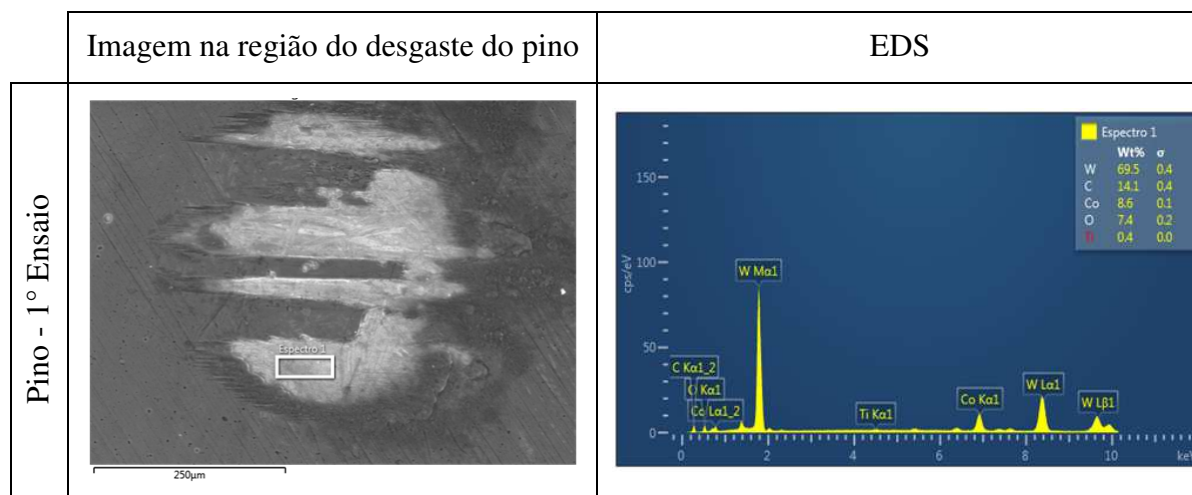


Figura 4. Imagem da região do desgaste do pino referente ao primeiro ensaio.

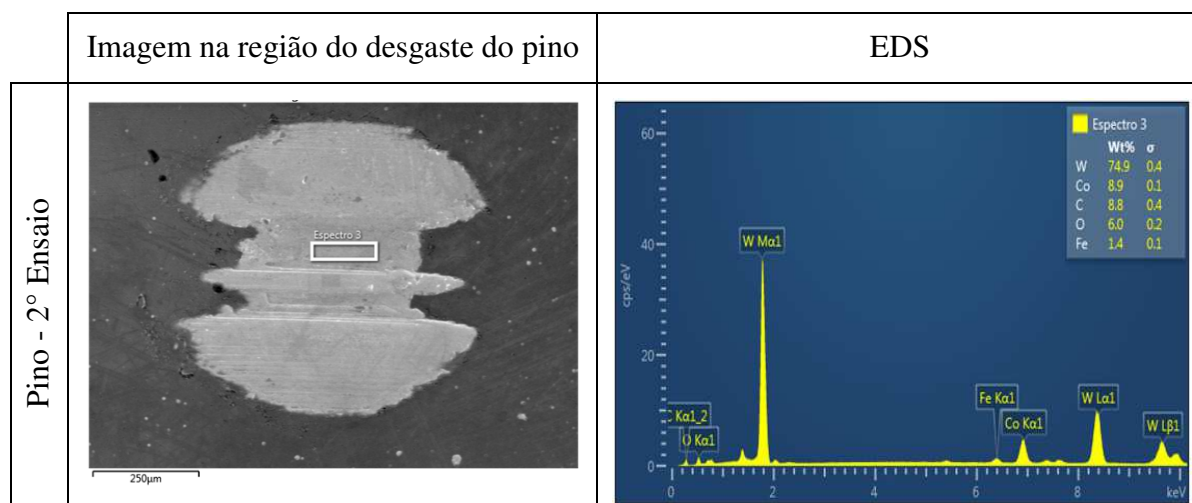


Figura 5. Imagem da região do desgaste do pino referente ao segundo ensaio.

De acordo com a análise do EDS para o 1º e 2º ensaio, observa-se a presença dos elementos W, Co, C, O e Fe elucidando o desgaste do pino e remoção do revestimento (TiAl)N e a exposição do substrato de metal duro, fato esse verificado pela ausência dos elementos do revestimento (TiAl)N. Quanto ao mecanismo de desgaste sugere-se um desgaste abrasivo para o par tribológico estudado, visto que não houve adesão de material do aço AISI D2 na superfície do pino. Além disso, foi realizada perfilometria por contato dos pinos de metal duro revestido com (TiAl)N com objetivo de quantificar a profundidade do desgaste no topo esférico dos pinos. A Figura 6 detalha a varredura da região do topo esférico dos pinos e a Figura 7 apresenta os perfis bidimensionais da região de desgaste dos pinos.

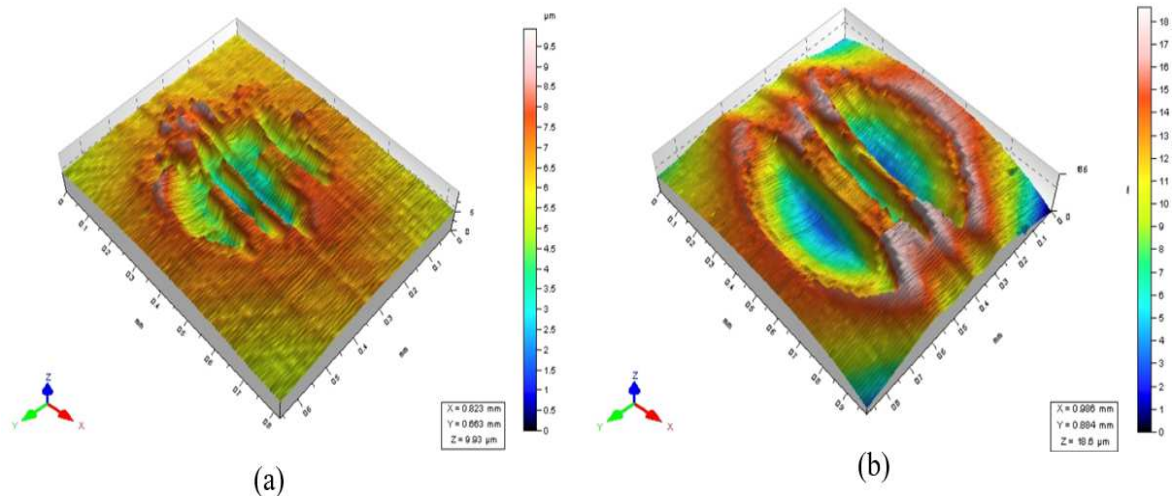


Figura 6. Perfilometria dos pinos de metal duro revestidos com (TiAl)N. (a) primeiro ensaio. (b) segundo ensaio.

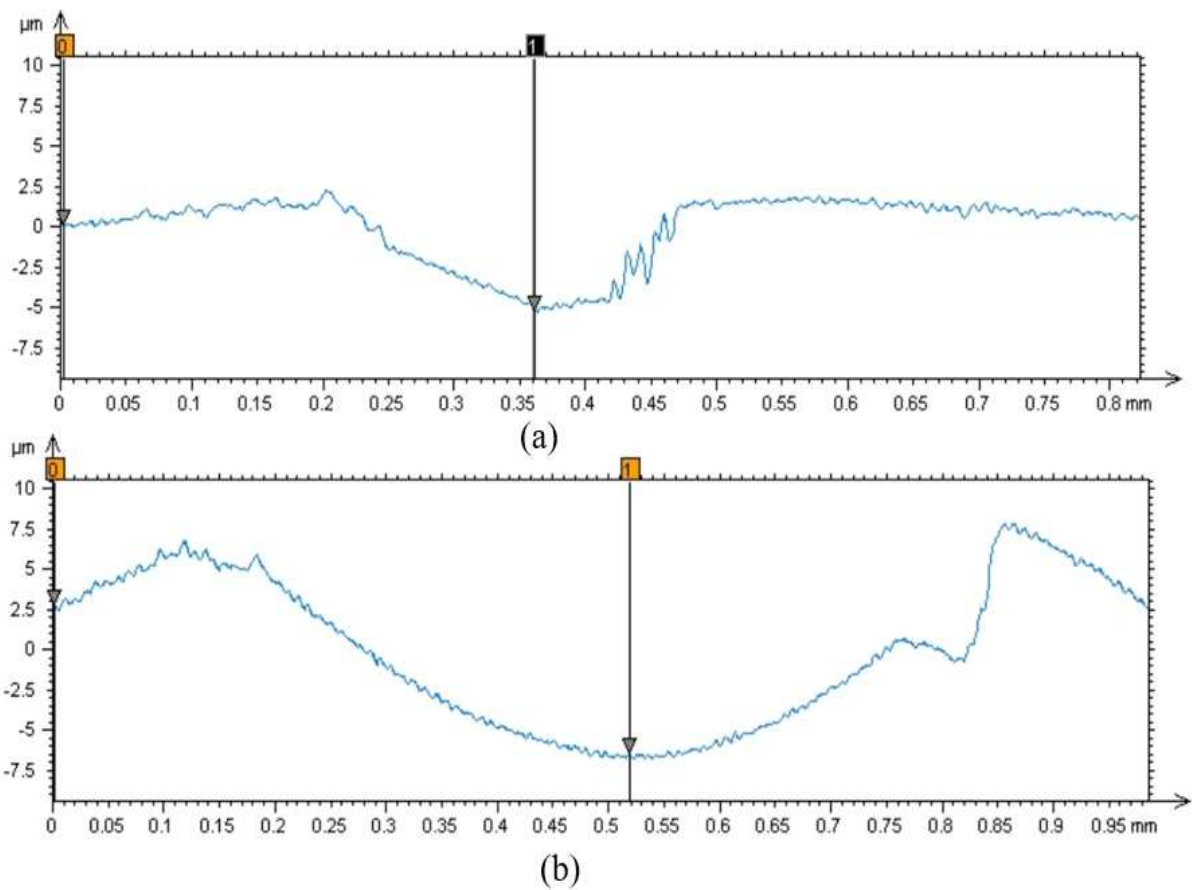


Figura 7. Perfil 2d do topo esféricos dos pinos revestido com (TiAl)N. (a) pino referente ao primeiro ensaio com profundidade de desgaste de 5.41 μm . (b) pino referente ao segundo ensaio com profundidade de desgaste de 9.29 μm .

O pino referente ao primeiro ensaio apresentou profundidade de desgaste de 5.41 μm e o pino do segundo ensaio apresentou profundidade de desgaste 9.29 μm . A maior profundidade de desgaste do pino do segundo ensaio pode estar relacionado com o coeficiente de atrito na interface do pino com a superfície de deslizamento e possivelmente também com a menor temperatura durante o segundo ensaio, evidenciando a menor formação do óxido de ferro que atua como lubrificante, que favoreceu o mecanismo de desgaste por abrasão na interface.

Realizou-se um mapeamento nas pistas desgastadas após ensaio pino sobre disco, correspondente ao 1º ensaio e o 2º ensaio, como detalhado no Fig. 6. Nota-se a presença dos elementos Fe, Cr e O que sugere que não houve adesão de material do pino na pista desgastada e sim material do aço AISI D2 que elucida um desgaste abrasivo para esse par tribológico.

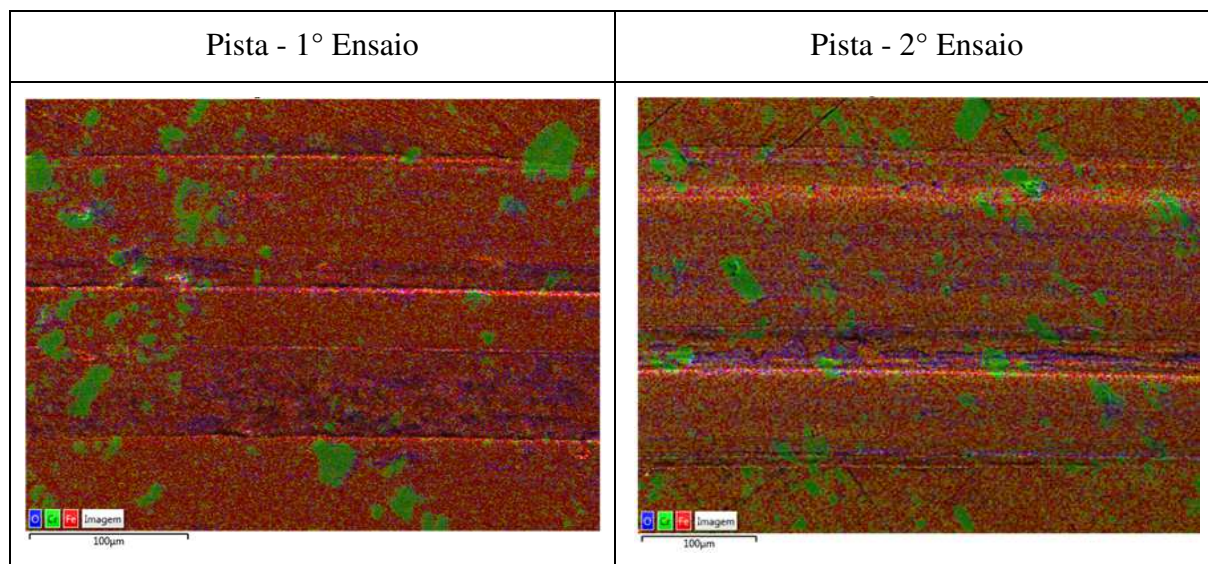


Figura 6. Mapeamento químico da pista desgastada após o primeiro e segundo ensaio.

A Figura 7 detalha os debris coletados após o 1° e 2° ensaio. Pelas imagens do mapeamento, observa-se a presença dos elementos Fe, Cr e O. Esse fato sugere-se um desgaste abrasivo para o par tribológico estudado. Visto que os elementos predominantes coletados do debris, podem ser atribuídos ao material do aço AISI D2.

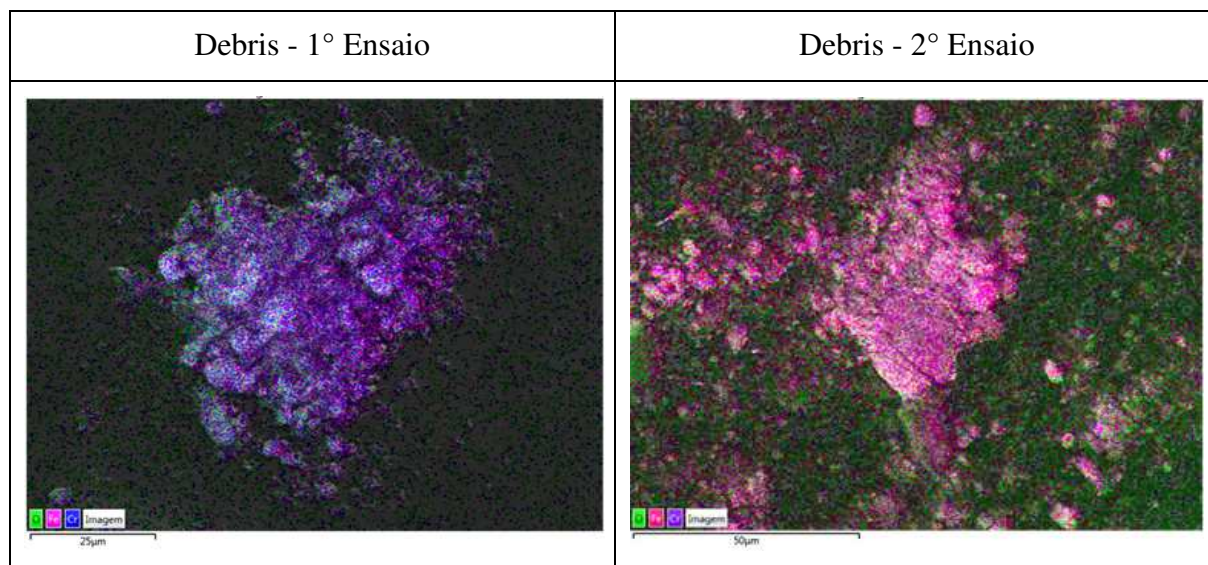


Figura 7. Mapeamento químico dos debris após o primeiro e segundo ensaio.

3. Conclusões

Os testes tribológicos permitiram uma avaliação do mecanismo de desgaste dos pares metal duro revestido com (TiAl)N deslizando contra o aço AISI D2 temperado e revenido (57 ± 1 HRC). As imagens coletadas no MEV e a análise do EDS dos pinos permitiram avaliar o mecanismo de desgaste presente para esse ensaio tribológico, sendo predominante o desgaste abrasivo.

Em relação ao comportamento do ensaio pino sobre disco, a temperatura pode ter afetado de maneira significativa os resultados do coeficiente de atrito. Dessa forma, o comportamento oscilatório do coeficiente de atrito do par tribológico metal duro revestido com (TiAl)N foi decorrente da presença de oxigênio na superfície de deslizamento que consequentemente formou óxido de ferro que atuou como lubrificante na interface do par tribológico.

Por meio da análise do MEV/EDS foi possível identificar os mecanismos de desgaste atuantes e notou-se a presença de adesão, abrasão de dois e três corpos no pino e nas superfícies de deslizamento.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores dessa pesquisa agradecem a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto Politécnico da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), Oerlikon Balzers. Ao CNPq, Fapemig e Capes que financiaram esta pesquisa.

5. REFERÊNCIAS

- Roberts, G., Krauss, G., Kennedy, R., 1998, "Tool steel", ASM internacional, Spartanburg, Estados Unidos da América, 364 p.
- Pirtovsek, T.V., Kugler, G., Tercelj, M., 2013, "The Behaviour of The Carbides Of Ledeburitic AISI D2 Tool Steel During Multiple Hot Deformation Cycles", Materials Characterization, Vol. 83, pp. 97-108.
- Klaphaak, D., 1989, "TiN Coatings Can Extend Your Tool Life", Mach. Tool Blue-Book.
- Kovalev, A., Wainstein, D. L., Rabinovich, G. F., Yamamoto, K., Veldhuis, S., 2006, "Impact of Al and Cr alloying of TiN-based PVD Coatings on its Cutting Performance", Surface and Interface Analysis. Vol. 38, pp. 879-882.
- Paldey, S., Deevi, S.C., 2003, "Single Layer and Multilayer Wear Resistant Coatings of (Ti,Al)N a Review", Materials Science and Engineering: A, Vol. 342, pp. 58-79.
- Hermann, A. J., 2000, "Multicomponent and Multiphase Hard Coatings for Tribological Applications", Surface and Coatings Technology, Vol. 131, pp. 433-440.
- Luo, Q., Rainforth, W. M., Donohue, L.A., Wadsworth, I., Munz, W.D., 1999, "Tribological Investigation of TiAlCrN and TiAlN/CrN Coatings Grown by Combined Steered-Arc/unbalanced Magnetron Deposition", Vacuum, Vol. 53, pp. 123-126.
- ASTM G99-05, 2010, "Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus".
- Blau, P. J., 2009, "Friction Science and Technology: From concepts to applications", Ed. New York: CRC Press, Nova Iorque, Estados Unidos da America, 436p.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF THE TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF THE HARD METAL COATED WITH (TiAl)N AND TEMPERATURE AND REVERSED AISI D2 (57 ± 1 HRC) DURING THE PINE TEST ON DISC

Anderson Júnior dos Santos, ndersonsantos@hotmail.com¹
Natalia Fernanda Santos Pereira, natsantos23@gmail.com¹
Gilmar Cordeiro Da Silva, gilmarcord@gmail.com²
Juan Carlos Campos Rúbio, juan@ufmg.br¹
Marcelo Araújo Câmara, Marcelocamara@demec.ufmg.br¹
Geraldina Cristina Durães de Godoy, cristinagodoyufmg@gmail.com¹
Sinval Pedroso da Silva, sinvalpedroso@yahoo.com.br¹

¹University Federal of Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP 31270-901, Brasil

²Pontifical Catholic University of Minas Gerais, R. Rio Comprido, 4.580 - Contagem - MG - CEP 32010-025, Brasil

Abstract. AISI D2 steel in tempered and tempered state presents high hardness maintaining good fracture resistance and is applied in cold forming dies. Cold forming dies can be fabricated by the machining process by the milling operation using carbide tools coated with (TiAl)N. The main objective of this work was to analyze the wear mechanisms between the tempered and tempered AISI D2 (57 ± 1 HRC) and (TiAl)N coated carbide pair during the pin to disk test and to identify the wear mechanisms causing damages the reduction of tool life. Regarding the behavior of the pin-on-disk test, the temperature may have significantly affected the results of the coefficient of friction. Thus, the oscillatory behavior of the friction coefficient of the hard metal tribological pair coated with (TiAl)N was due to the presence of oxygen in the slip surface that consequently formed iron oxide that acted as a lubricant at the interface of the tribological pair.

Keywords: steel AISI D2, pin to disk test, hard metal