

COMPORTAMENTO DE DESGASTE ENTRE O AÇO FERRAMENTA ABNT D2 E O METAL DURO K10 REVESTIDO COM TiAlN

Vinícius Cangussu¹, viniciusmelocangussu@gmail.com

Jorge Duarte¹, jorgecduarte1@gmail.com

Alexandre Mendes Abrão¹, abrao@demec.ufmg.br

Geralda Cristina Durães de Godoy¹, gcgodoy@demet.ufmg.br

Marcelo Araújo Câmara¹, marcelocamara@demec.ufmg.br

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) da Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, CEP: 31.270-901.

Resumo: O presente estudo foi realizado com o intuito de analisar o processo de deslizamento sem lubrificação entre duas superfícies de materiais diferentes, visando colher resultados que sustentem a previsão do comportamento do desgaste para o par tribológico envolvido. Para tanto, o teste de desgaste foi realizado em um equipamento do tipo pino-sobre-disco, conhecido por tribômetro. Dessa forma, buscou-se simular a interação entre o metal duro K10 revestido com AlTiN e o aço ferramenta ABNT D2, produzidos em formas de pino e disco, respectivamente. Com isso, espera-se obter informações relacionadas ao atrito e desgaste dos materiais a partir da variação da velocidade de deslizamento, que embasarão, também, o comportamento desses materiais em uma operação de usinagem. Os resultados conseguidos para as três rotações selecionadas – 15,707; 31,415 e 52,359 rad/s – mostram que o maior desgaste no intervalo de 20 minutos de deslizamento acontece para a condição de 31,415 rad/s, enquanto a rotação de 52,359 rad/s proporcionou o menor coeficiente de atrito dentre as demais, com consequente menor taxa de desgaste por distância deslizada.

Palavras Chaves: Tribômetro, Atrito, Desgaste, Metal duro, Aço ferramenta ABNT D2.

1. INTRODUÇÃO

O termo tribologia é definido por Hutchings et al. (1992), como a ciência e tecnologia da interação entre superfícies em movimento relativo. Contudo, essa definição mostra-se muito simples em vista do que essa área do conhecimento de fato engloba. A complexidade desse campo, que visa identificar as condições de atrito, desgaste e lubrificação entre superfícies, deve-se à necessidade de conhecimentos em um vasto número de disciplinas variando desde as mais fundamentais como física e química, até mais específicas como engenharias mecânica e de materiais, por exemplo. Assim, analisar os diferentes tipos de materiais em contato, as velocidades de deslizamento a que estão submetidos, bem como pressões de contato e condições ambientais, pode trazer informações importantes para uma análise mais precisa do processo tribológico.

Em se tratando de desgaste, especificamente, verifica-se que tal processo é inerente aos corpos em contato e culmina na perda progressiva de material por uma ou ambas as superfícies do par tribológico. Segundo Rabinowicz et al. (1995), o termo desgaste pode ser compreendido como a remoção de material de superfícies sólidas por meio de ação mecânica. Embora o processo de desgaste se caracterize por uma perda estável e contínua de material, muitas vezes imperceptível em um curto espaço de tempo, este deve ser melhor explorado a fim de se prever e mitigar os inconvenientes por ele causados.

Na usinagem dos materiais, o processo de desgaste e avaria das ferramentas de corte mostra-se de grande relevância do ponto de vista econômico. Como mostra Machado et al. (2015), apesar do custo direto com ferramentas contribuir com uma parcela muito pequena no custo final de fabricação do produto, o desgaste excessivo da ferramenta exige que paradas sejam feitas para afiação e/ou troca da mesma, acarretando, consequentemente, em uma menor produtividade. Sabe-se, também, que os mecanismos de desgaste têm forte correlação com a temperatura de usinagem. Assim, a previsão do processo de desgaste das ferramentas, passa fundamentalmente pela investigação do comportamento tribológico desses materiais, especialmente influenciado pela velocidade de deslizamento e a carga normal utilizada.

Com relação aos materiais analisados, é sabido que o aço ferramenta ABNT D2 (cuja composição química básica é apresentada na Tab. 1), tem grande importância na indústria metal-mecânica devido às suas excelentes propriedades que combinam boa resistência mecânica e resistência ao desgaste, tornando seu uso desejável principalmente na confecção de ferramentas para corte e conformação a frio de metais. Por sua vez o metal duro é um material produzido por meio da metalurgia do pó, combinando dureza em temperaturas elevadas e boa tenacidade, sendo muito usado como ferramentas de corte na usinagem dos materiais.

Dessa forma, pretende-se observar o comportamento desses dois metais quando em contato durante um movimento relativo em diferentes velocidades. Assim, os testes no tribômetro fornecerão dados relacionados ao comportamento do atrito e do desgaste para o par tribológico estudado, que auxiliarão uma estimativa de seu comportamento num processo de fabricação como o fresamento.

Tabela 1. Composição química do aço ABNT D2.

Composição - ABNT D2					
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1,5	0,35	0,4	12	0,95	1

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos de pino-sobre-disco foram realizados em um tribômetro Microtest modelo MT/60/NI, que possui um rotor principal, ao qual o disco de aço ferramenta ABNT D2 foi acoplado capaz de imprimir uma velocidade angular máxima de 52,359 rad/s . O tribômetro possui ainda uma haste reguladora onde o pino de metal duro foi fixado. A haste do tribômetro pode ser regulada vertical e horizontalmente, permitindo o movimento de aproximação entre o pino e o disco, e o ajuste do diâmetro desejado, respectivamente. É nele, também, onde a carga aplicada sobre o pino poderá ser alterada. Para a coleta dos dados referentes ao coeficiente de atrito durante os experimentos o *Nanovea Tribometer Software* foi utilizado. A Figura 1 apresenta o tribômetro usado no experimento.



Figura 1. Tribômetro utilizado no experimento.

Para examinar o desgaste sofrido pelas amostras, lançou-se mão do uso de uma balança de precisão Shimadzu com capacidade de 200g e resolução de 0,0001g, possibilitando assim quantificar a perda ou ganho de massa pelos materiais envolvidos antes e depois do ensaio de pino-sobre-disco.

Os pinos em metal duro da classe K10 utilizados no experimento foram fabricados por retificação para atingir diâmetro de 6,00 mm, comprimento de 15,00 mm e topo esférico com raio de 3,00 mm. Após a usinagem, os pinos foram revestidos com uma camada de TiAlN pelo processo de deposição física de vapor (*Physical Vapour Deposition* - PVD). Por sua vez os discos de aço ferramenta ABNT D2 foram usinados por fresamento. Além das dimensões (60,00 mm x 60,00 mm x 6,00 mm), foi necessário manter o paralelismo máximo entre uma face e outra de 0,1 mm. A rugosidade dos discos foi verificada por meio do rugosímetro digital Mitutoyo SJ-210 de forma a garantir que o desvio médio aritmético (R_a) de cada face apresentasse valor inferior a 0,8 μm .

As condições dos testes simularam o processo de deslizamento do metal duro revestido com TiAlN contra o aço ferramenta ABNT D2. Sabendo-se que os mecanismos de desgaste são termicamente ativados e que a temperatura é fortemente influenciada pela velocidade de deslizamento, buscou-se analisar a influência da velocidade no desgaste do material.

Para tanto, foram feitos três testes com duas réplicas cada. Para cada experimento foi utilizada uma rotação diferente, sendo essas definidas em 15,707 rad/s, 31,415 rad/s e 52,359 rad/s. A trilha de desgaste foi definida em 40,00 mm de diâmetro para todos os experimentos, que com as referidas rotações proporcionou velocidades de deslizamento de aproximadamente 18,8 m/min, 37,7 m/min e 62,8 m/min, respectivamente. A carga normal aplicada sobre o pino foi fixada em 15N para todos os testes, e o tempo escolhido para cada ensaio foi de 20 minutos. A Tabela 2 mostra esses valores.

Tabela 2. Dados experimentais para os testes de deslizamento.

	Velocidade Angular (rad/s)	Diâmetro da pista (mm)	Vel. linear (m/min)	Carga normal (N)	Dist. Percorrida (m)
Teste 1	15,707	40	18,8	15	376
Teste 2	31,415	40	37,7	15	754
Teste 3	52,359	40	62,8	15	1256

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para o coeficiente de atrito nas três velocidades de deslizamento estudadas estão apresentados nas Fig. 2 a Fig. 5. As Figuras 2, 3 e 4 mostram os resultados do coeficiente de atrito em função do tempo para as três rotações separadamente e com suas respectivas réplicas, enquanto a Fig. 5 exibe os três resultados de coeficiente de atrito no intervalo de tempo definido.

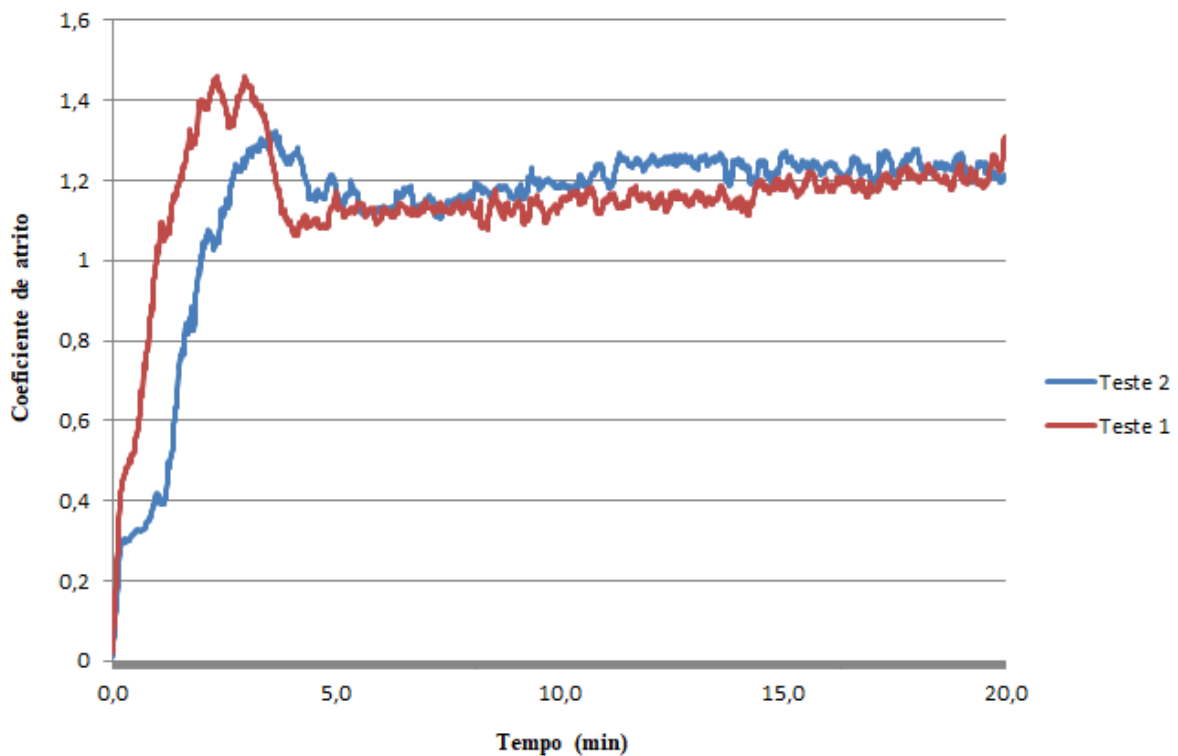


Figura 2: Coeficiente de atrito versus tempo para velocidade angular de 15,707 rad/s

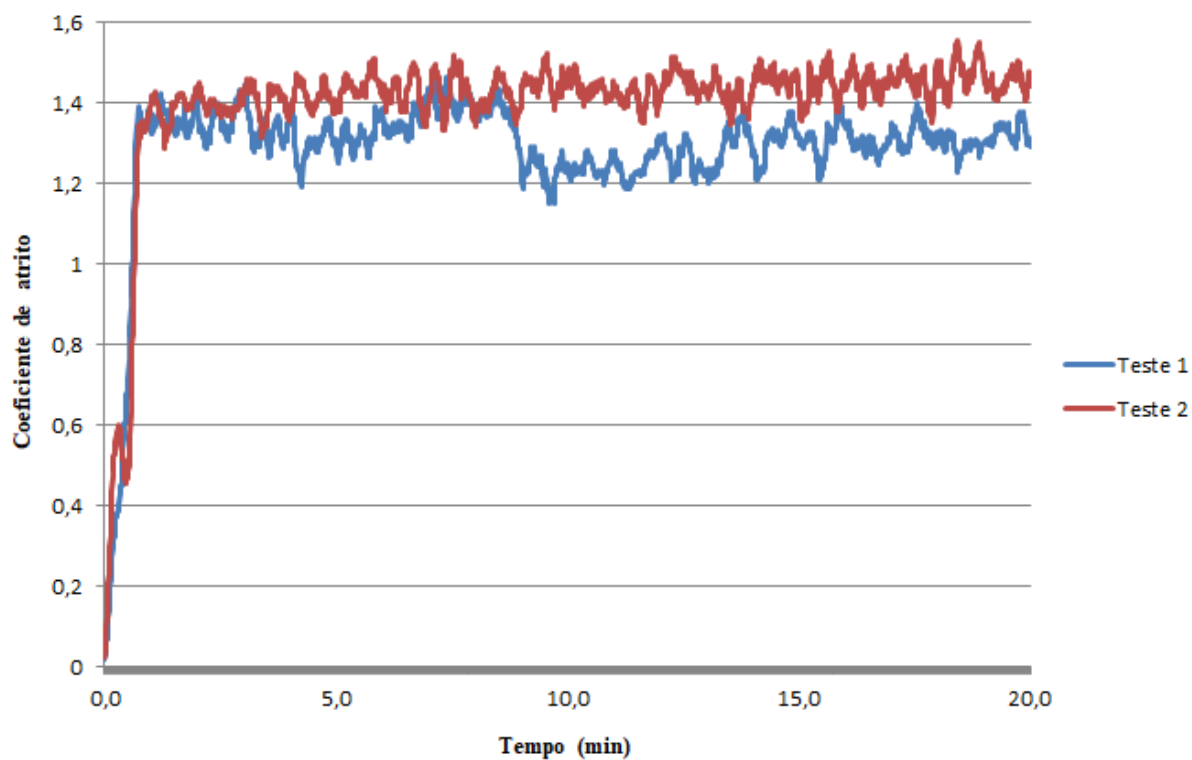


Figura 3: Coeficiente de atrito versus tempo para velocidade angular de 31,415 rad/s

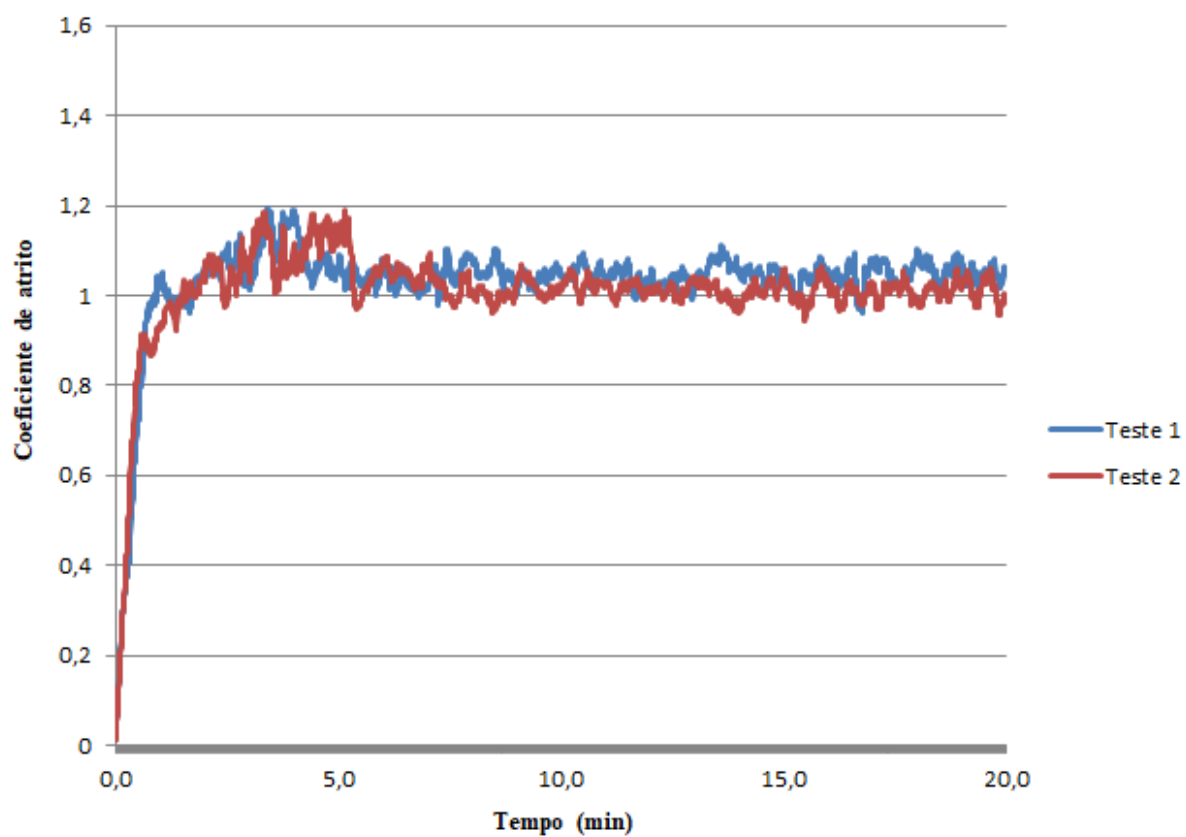


Figura 4: Coeficiente de atrito versus tempo para velocidade angular de 52,359 rad/s

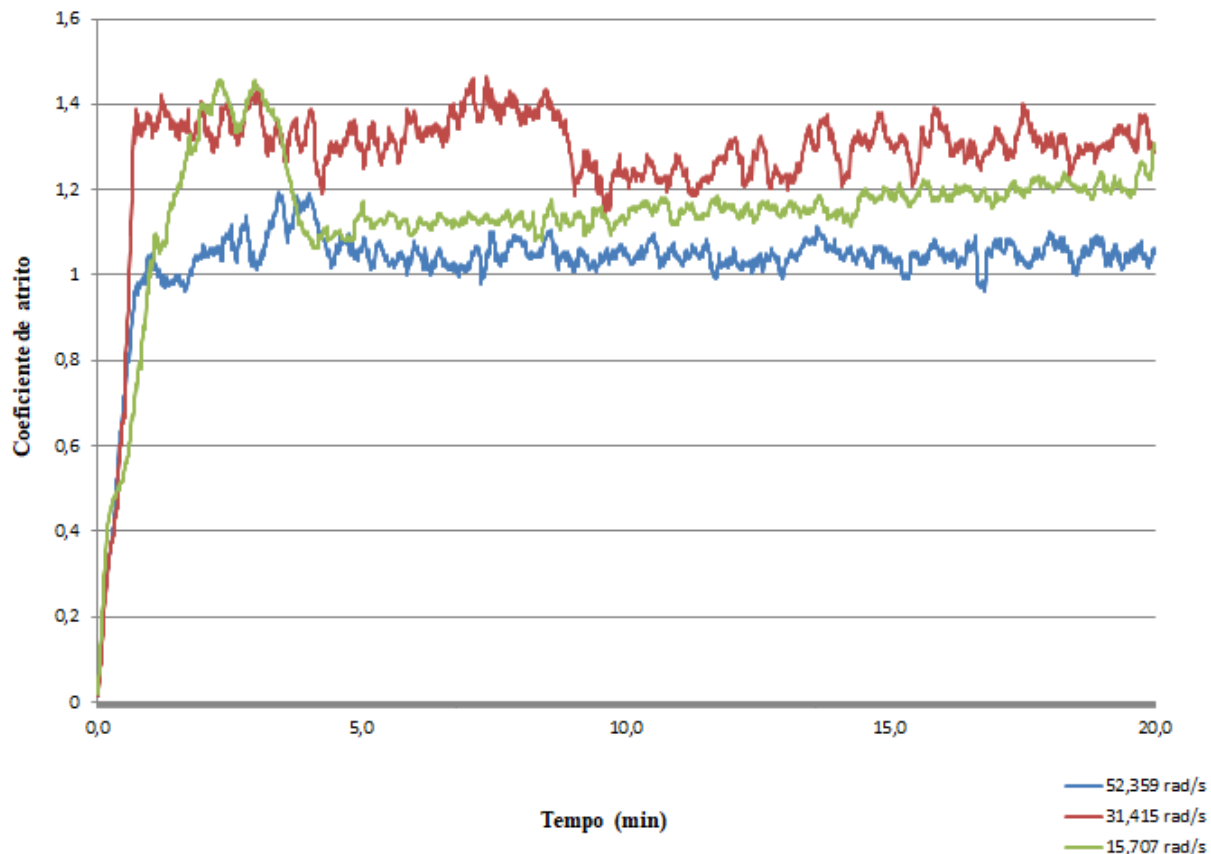


Figura 5: Coeficiente de atrito versus tempo para velocidades angulares de 15,707, 31,415 e 52,359 rad/s

A partir dos resultados obtidos para os coeficientes de atrito, considerações acerca do comportamento do experimento foram feitas. O estudo das várias formas apresentadas pelo atrito para diferentes materiais em contato, nas mais diversas situações possíveis, pode ser dividido em duas etapas: *running in* e *steady state*.

De acordo com Blau et al. (2009), o período inicial do processo de deslizamento entre os corpos – *running in* – caracteriza-se tanto por uma mudança geométrica das superfícies em contato, como por alterações de ordem físico-mecânicas. De maneira geral, o processo *running in* pode ser entendido como a conformação das superfícies na interface de contato, podendo ser mais ou menos severa de acordo com a operação. Por outro lado, o estágio de curso estável, do inglês *steady state*, é descrito pelo autor como a etapa do processo em que a força de atrito e o desgaste atingem um estágio de constância, onde os vários fatores capazes de influenciar o atrito entram em equilíbrio.

Observando a Fig. 5, pode-se notar diferentes estágios de atrito inicial e de equilíbrio (*running in* e *steady state*) para cada velocidade escolhida. Dessa maneira, é razoável afirmar que durante o contato entre materiais, espera-se que o curso estável (*steady state*) mantenha-se por um longo período de tempo, possibilitando um controle maior do processo e sua estabilização. Em se tratando de ferramentas de corte na usinagem, um maior *steady state* equivale a uma maior vida útil para a ferramenta e um melhor acabamento para a superfície da peça usinada.

Ainda analisando os resultados apresentados pela Fig. 5, percebe-se que a velocidade angular intermediária de 31,415 rad/s atingiu os maiores valores para coeficiente de atrito, variando em uma faixa de valores entre 1,30 e 1,40. Além disso, para essa condição nota-se uma maior constância dos valores do coeficiente de atrito durante todo o intervalo analisado. Consequentemente, os valores mais altos para o coeficiente de atrito obtidos para a condição de 31,415 rad/s sugerem um maior contato metálico entre o pino de metal duro e o aço ABNT D2, o que contribui para um maior desgaste do disco de aço ABNT D2.

Por outro lado, é possível verificar que o menor coeficiente de atrito é conseguido durante a condição de deslizamento com velocidade angular máxima de 52,359 rad/s, apresentando valores entre 1,01 e 1,03. Esse menor coeficiente de atrito favorece uma menor taxa de desgaste do aço ABNT D2 durante o processo de deslizamento. Tal situação de menor coeficiente de atrito e, consequentemente menor desgaste por distância percorrida, pode ser explicado pela formação de um tribofilme que, segundo Rabinovich, forma-se devido a uma reação triboquímica na interface dos materiais em contato que ocorre entre os elementos alumínio e titânio presentes no revestimento (AlTiN) com o oxigênio, sob condições extremas de temperatura e pressão, resultando em compostos que agem como barreira térmica (Al_2O_3) e lubrificante sólido (TiO_2), respectivamente.

Além da apresentação dos estágios do comportamento do atrito citados anteriormente, pode-se classificar em oito as diferentes formas de comportamento para o atrito, justificando-as a partir dos materiais envolvidos, velocidade de

deslizamento e carga normal, bem como condições de lubrificação. A Figura 6 indica oito formas comumente encontradas para o comportamento inicial do atrito Blau et al. (2009).

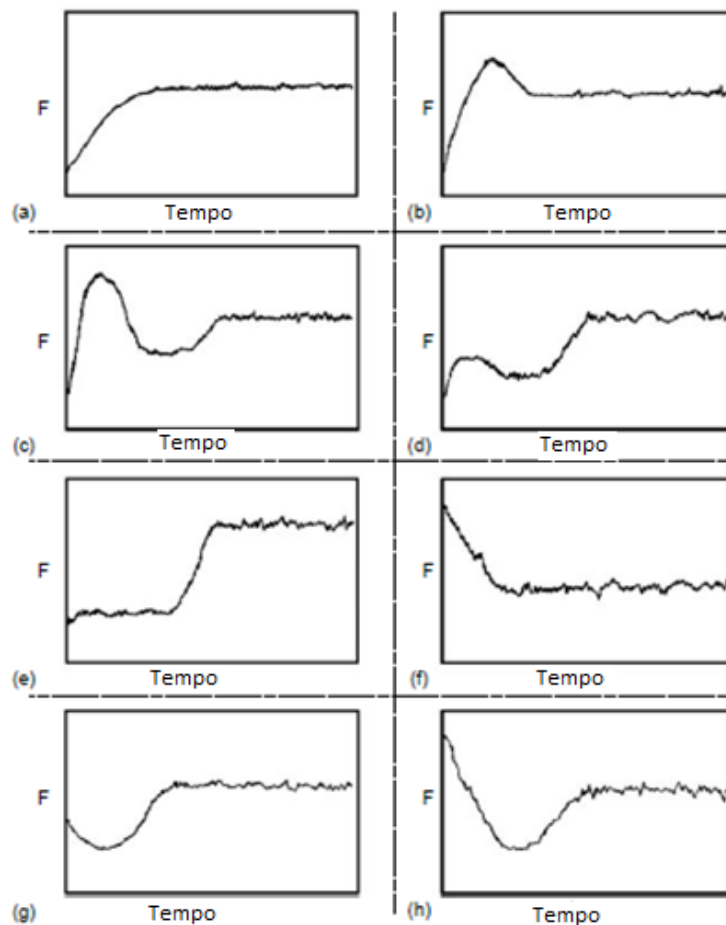


Figura 6. Oito formas comuns do comportamento inicial do atrito (BLAU, 2009).

Comparando os dados coletados para as três rotações com a Fig. 6, nota-se que há semelhança em alguns padrões de comportamento do coeficiente de atrito, podendo servir como base para a interpretação dos mecanismos de desgaste agindo no processo.

O comportamento do coeficiente de atrito para os testes cujas rotações foram 15,707 e 52,359 *rad/s*, assemelha-se àquele apresentado pela Fig. 6b, com um acentuado *running in* que decresce e estabiliza entrando no estado de equilíbrio. De acordo com Blau et al. (2009), esse tipo de comportamento remete a um desgaste muito alto inicialmente, com a consequente remoção das maiores asperezas até que a superfície se torne mais suave, e entre no regime em equilíbrio.

O processo de desgaste de uma superfície a partir da descrição da Eq. (1) de desgaste de Archard, em que o volume desgastado por unidade de distância deslizada é função da carga normal aplicada e da dureza do material mais macio. A Equação (1) de desgaste de Archard é apresentada a seguir:

$$Q = \frac{KW}{H} \quad (1)$$

Onde:

Q: quantidade desgastada por unidade de área

K: Coeficiente de desgaste do material

W: Carga normal (N)

H: Dureza do material mais macio

O coeficiente de desgaste K é adimensional e apresenta valor sempre menor do que um, sendo muito utilizado para indicar a severidade de determinado sistema tribológico. Quanto maior o valor de K, maior o desgaste entre as superfícies.

Embora a Eq. (1) leve em consideração apenas a carga normal aplicada e a dureza do material mais macio, de acordo com Hutchings et al. (1992) a velocidade de deslizamento tem influência no desgaste dos materiais, já que ela afeta a taxa de dissipação da energia gerada pelo atrito e, consequentemente, afeta o valor da temperatura na interface entre as superfícies.

Dessa maneira, considerando que nos experimentos realizados não houve variação de carga normal aplicada sobre o pino, e a área de contato inicial do pino foi a mesma, o único parâmetro variável no processo estudado foi a velocidade de deslizamento.

Tabela 3. Medições de massa para os discos utilizados no experimento.

Discos Pré testes					Discos Pós testes			
Disco 1(Face 1)	Velocidade Angular (Rad/s)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão	Disco 1(Face 1)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão
Pesagem 1	15,707	165,5114	165,5114	5,00E-05	Pesagem 1	165,5123	165,5125	2,22E-04
Pesagem 2		165,5114			Pesagem 2	165,5124		
Pesagem 3		165,5114			Pesagem 3	165,5126		
Pesagem 4		165,5115			Pesagem 4	165,5128		
Disco 1(Face 2)	Velocidade Angular (Rad/s)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão	Disco 1(Face 2)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão
Pesagem 1	15,707	165,5123	165,5125	2,22E-04	Pesagem 1	165,5111	165,5112	1,00E-04
Pesagem 2		165,5124			Pesagem 2	165,5112		
Pesagem 3		165,5126			Pesagem 3	165,5112		
Pesagem 4		165,5128			Pesagem 4	165,5112		
Disco 2(Face 1)	Velocidade Angular (Rad/s)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão	Disco 2(Face 1)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão
Pesagem 1	31,415	166,0961	166,0962	1,71E-04	Pesagem 1	166,0823	166,0825	2,36E-04
Pesagem 2		166,096			Pesagem 2	166,0823		
Pesagem 3		166,0962			Pesagem 3	166,0825		
Pesagem 4		166,0964			Pesagem 4	166,0828		
Disco 2(Face 2)	Velocidade Angular (Rad/s)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão	Disco 2(Face 2)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão
Pesagem 1	31,415	166,0823	166,0825	2,36E-04	Pesagem 1	166,0318	166,0315	2,75E-04
Pesagem 2		166,0823			Pesagem 2	166,0316		
Pesagem 3		166,0825			Pesagem 3	166,0312		
Pesagem 4		166,0828			Pesagem 4	166,0313		
Disco 3(Face 1)	Velocidade Angular (Rad/s)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão	Disco 3(Face 1)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão
Pesagem 1	52,359	165,6471	165,6472	9,57E-05	Pesagem 1	165,64	165,6400	2,36E-04
Pesagem 2		165,6471			Pesagem 2	165,6403		
Pesagem 3		165,6472			Pesagem 3	165,6398		
Pesagem 4		165,6473			Pesagem 4	165,6398		
Disco 3(Face 2)	Velocidade Angular (Rad/s)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão	Disco 3(Face 2)	Massa (grama)	Média (grama)	Desvio Padrão
Pesagem 1	52,359	165,64	165,6400	2,36E-04	Pesagem 1	165,6421	165,6420	1,73E-04
Pesagem 2		165,6403			Pesagem 2	165,6421		
Pesagem 3		165,6398			Pesagem 3	165,6418		
Pesagem 4		165,6398			Pesagem 4	165,6418		

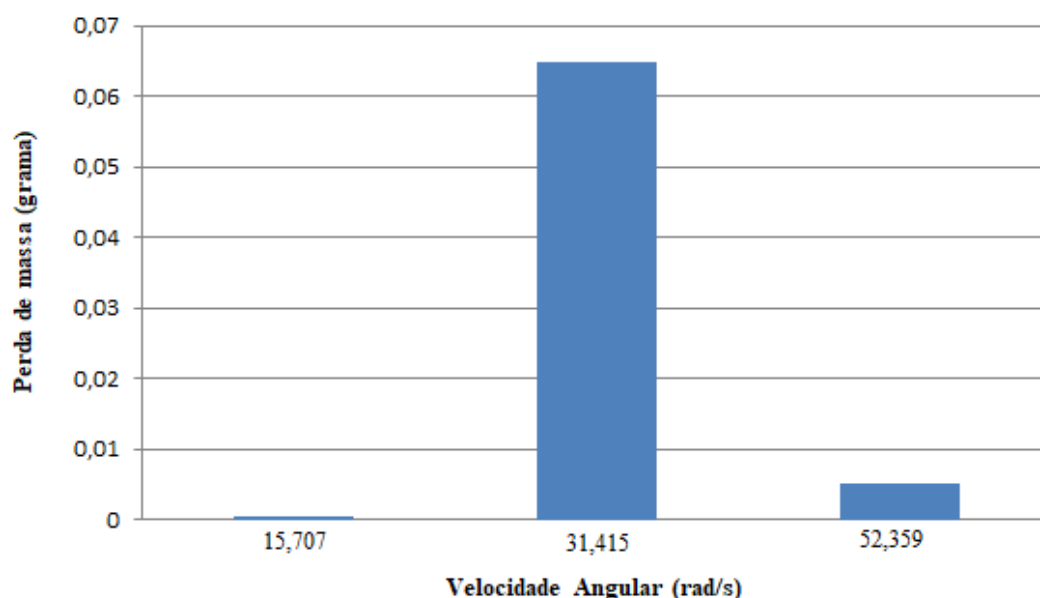


Figura 7: Perda de massa por velocidade angular

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos para os pesos dos discos antes e depois do estudo. Os valores obtidos para os pinos demonstraram que não houve perda de material nas condições analisadas e no tempo observado. Com isso pode-

se comprovar a eficácia do revestimento TiAlN que proporcionou uma maior resistência ao desgaste dos pinos durante o deslizamento contra os discos do aço ferramenta ABNT D2 para as rotações de 15,707 e 52,359 rad/s .

Para as rotações de 15,707 rad/s e 52,359 rad/s no intervalo de tempo de 20 minutos, os desgastes sofridos pelos discos de aço ABNT D2 foram da ordem $1,00 \times 10^{-4}$ e $1,73 \times 10^{-4}$, respectivamente, apresentando desgaste inferior ao verificado para a rotação de 31,415 rad/s . Esta, por sua vez, apresentou desgaste da ordem de $2,75 \times 10^{-4}$, sendo o maior valor dentre todas as condições, o que evidencia a relação existente entre coeficiente de atrito e taxa de desgaste.

Entretanto, faz-se necessário destacar que embora a condição de 52,359 rad/s tenha apresentado um desgaste maior que a condição de 15,707 rad/s no intervalo de 20 minutos, é razoável sugerir que para uma mesma distância percorrida, a condição de 52,359 rad/s fornece menores taxas de desgaste, sendo confirmado pelos menores valores de coeficiente de atrito conseguidos pela formação do tribofilme pelo revestimento do pino.

Conforme verificado na Tabela 3, os discos utilizados nos testes de desgaste não sofreram perda significativa de material, exceto aqueles utilizados nos testes com rotação definida em 31,415 rad/s . De acordo com Ferraresi et al. (1977), verifica-se que materiais com a mesma classificação dada pela norma DIN ou ASA, submetidos aos mesmos tratamentos térmicos, podem originar nos insertos de metal duro, neste caso os pinos, desgastes completamente diferentes, quando provenientes de siderúrgicas diferentes. Ainda para este autor a variação em certos casos da vida da ferramenta para materiais com a mesma especificação, trabalhando em idênticas condições de usinagem há prováveis inclusões de óxidos na peça que formariam uma película protetora. Embora o autor faça essa afirmação para o processo de usinagem, a remoção de material dos discos utilizados no experimento com 31,415 rad/s se assemelha ao modelo descrito, levando ao aumento do coeficiente de atrito na interface ferramenta/peça se comparado com os demais experimentos realizados. Conforme mostra a Fig. 6, a curva referente ao experimento de 31,415 rad/s se enquadra no modelo A, que segundo Blau et al. (2009), uma possível explicação para tal comportamento é o desgaste inicial de uma camada de contaminantes (que possuem resistência ao cisalhamento menor do que o material) presentes na superfície, seguido de um valor constante do coeficiente de atrito após a remoção.

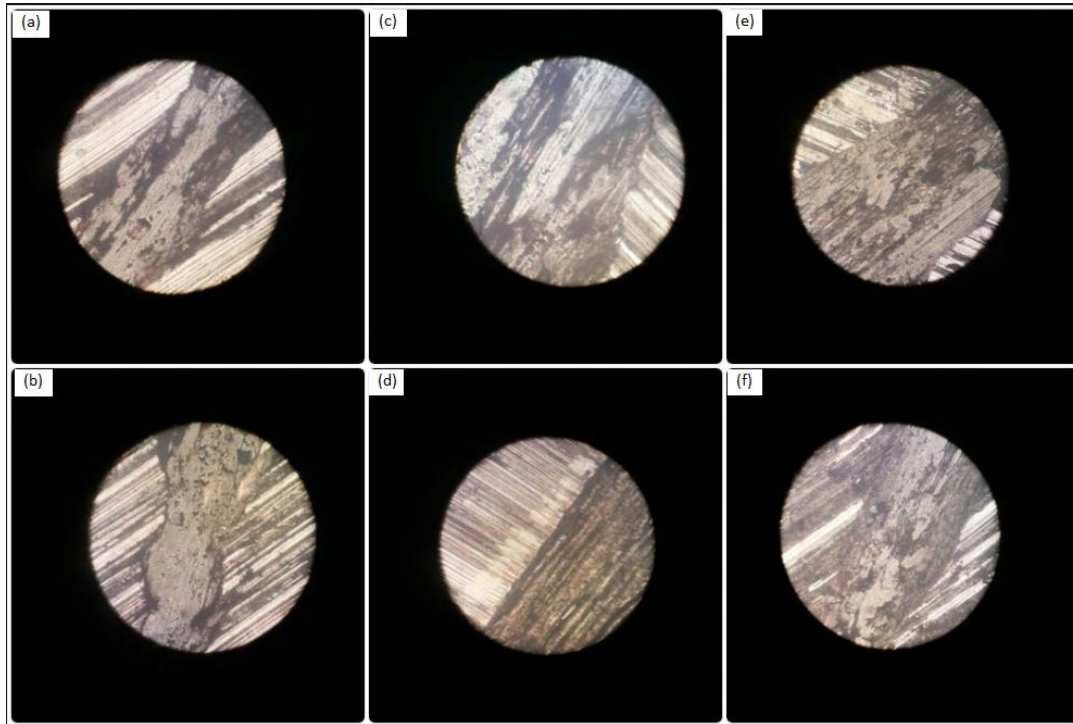


Figura 8. Trilhas de desgaste (a) 15,707 rad/s (b) réplica 15,707 rad/s (c) 31,415 rad/s (d) réplica 31,415 rad/s (e) 52,359 rad/s (f) réplica 52,359 rad/s

Observando a Fig. 8, que traz imagens dos discos desgastados feitas pelo microscópio acoplado ao microdurometro, é plausível sugerir que houve desgaste dos discos de aço ABNT D2 pelo pino de metal duro. Os sulcos formados na trilha de desgaste sugerem que houve um processo de formação e transferência de óxido na interface de contato que, consequentemente, favorecem tanto o desgaste por adesão quanto por abrasão. Durante o deslizamento, há um processo de formação e destruição das junções de asperezas, que ocasiona em desgaste por um ou ambos os materiais. Esse processo de desgaste pode ser entendido como a geração de partículas de desgaste, que removidas do material e presas na interface, poderão atuar como partículas abrasivas, aumentando ainda mais o desgaste.

As Figuras 8a e 8b, apresentam as trilhas de desgaste dos discos usados para o teste de 15,707 rad/s . Pela análise do coeficiente de atrito dos testes e da perda de massa pelos discos, fica claro que esta velocidade de deslizamento proporcionou um desgaste leve. Observando o comportamento do coeficiente de atrito para a rotação de 15,707 rad/s apresentado pela Fig. 2, e somando-se a isso a explicação dada por Blau et al. (2009) para o comportamento do coeficiente

de atrito apresentado pela Figura 6b, pode-se inferir que inicialmente houve um desgaste acelerado culminando na remoção das maiores asperezas (irregularidades) do aço ferramenta ABNT D2, com consequente suavização da superfície, contribuindo para uma menor taxa de desgaste. Da mesma forma, as trilhas de desgaste exibidas nas Figs. 8e e 8f obtidas durante o processo de deslizamento com rotação de 52,359 rad/s , e cujo coeficiente de atrito indicado na Fig. 5 assemelha-se também àquele denotado pela Fig. 6b, apontam para um desgaste leve.

Diferentemente dos resultados obtidos pelas condições de deslizamento para 15,707 e 52,359 rad/s , as Figs. 8c e 8d sugerem a presença de sulcos ou cavidades nas trilhas de desgaste geradas pela condição a 31,415 rad/s , possivelmente devido à ação de partículas abrasivas, caracterizando-se como um tipo de desgaste severo, se comparado aos demais. Entretanto, deve-se destacar que os resíduos não foram coletados para uma análise mais minuciosa e, portanto, afirmar de maneira arbitrária qual a severidade do processo de desgaste seria imprudente. Para uma análise mais completa, pretende-se fazer posteriormente o estudo das partículas geradas, e também das superfícies por meio de microscópio eletrônico de varredura (MEV), assim como a caracterização química dos materiais com o uso de espectroscopia de raios-X de energia dispersiva (EDS).

4. CONCLUSÃO

Por meio do experimento de deslizamento pode-se comprovar que o revestimento AlTiN utilizado nos pinos proporcionou uma melhor resistência ao desgaste contra discos do aço ferramenta ABNT D2. Os pinos não exibiram perda significativa de massa e, devido ao revestimento, apresentaram excelente integridade superficial.

A análise dos discos utilizados nos experimentos com velocidades de 15,707 rad/s e 52,359 rad/s sugere que nos dois testes a curva de desgaste seguiu o formato descrito na Figura 6b, com um acentuado *running in* que decresce e estabiliza entrando no estado de equilíbrio.

A variação dos valores do coeficiente de atrito, passando de cerca de 1,4 na condição a 15,707 rad/s para aproximadamente 1,2 no deslizamento a 52,359 rad/s , pode estar relacionado ao aumento da temperatura na interface provocado pela maior velocidade de deslizamento. Portanto, é possível que uma camada de óxidos tenha sido formada na interface disco/pino proporcionando assim uma diferença de coeficiente de atrito entre os dois casos.

Para o experimento realizado com velocidade de 31,415 rad/s , observou-se uma perda significativa de massa nos discos quando comparados às perdas geradas pelas demais condições. Durante o deslizamento, houve desprendimento de partículas de desgaste, ou debris, que removidas do material e presas na interface, atuaram como partículas abrasivas, aumentando ainda mais o desgaste das chapas estudadas. Esse fato é evidenciado pelos sulcos paralelos observados na Figura 8d.

O presente estudo sugere que para o deslizamento de metal duro revestido em AlTiN contra o aço ferramenta ABNT D2, com carga normal de 15N e os demais parâmetros supracitados, a velocidade ideal será de 52,359 rad/s . De acordo com os resultados obtidos para as três condições avaliadas, a rotação de 52,359 rad/s apresentou menor coeficiente de atrito durante o tempo de experimento observado. Esse fato pode ser explicado pela formação de uma película de óxidos (tribofilme) formada na interface dos materiais devido ao aumento de temperatura e pressão, que serve tanto como barreira térmica quanto lubrificante sólido devido a sua menor resistência ao cisalhamento.

Além disso, no caso de uma operação de usinagem, um dos principais fatores é a integridade superficial da peça usinada. Assim, como dentre as três rotações estudadas neste teste aquela que apresentou menor coeficiente de atrito e também menor oscilação dos valores (maior constância) foi a rotação de 52,359 rad/s , neste caso, ela mostra-se mais vantajosa em relação às outras.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais pelo suporte e estrutura oferecida para a realização dos experimentos, ao Rodrigo Glaycon pela usinagem e fornecimento dos pinos de metal duro, à CR Usinagem pela usinagem dos discos ABNT D2, ao Guilherme pelo apoio no serviço de revestimento, e aos alunos Anderson Júnior dos Santos e Douglas d'Auriol por todo auxílio concedido durante os ensaios em laboratório.

6. REFERÊNCIAS

- Blau, P. J., 2009, "Friction science and technology: from concepts to applications", 2 ed. New York: Society of Tribologists and Lubrication Engineers, 420 p.
- Ferraresi, D., 1977, "Fundamentos da usinagem dos metais", São Paulo: Blucher.
- Hutchings, I.M., 1992, "Tribology: Friction and wear of engineering materials", London: Holder Headline Group, 271p.
- Machado, Á.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., Da Silva, M.B., 2015, "Teoria da usinagem dos materiais", 1. Ed. São Paulo - Sp: Edgard Blucher.
- Rabinowicz, E., 1995, "Friction and Wear of Materials", John Wiley and Sons, New York.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

"O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho".

WEAR BEHAVIOR BETWEEN AISI D2 TOOL STEEL AND TiAlN COATED TUNGSTEN CARBIDE GRADE K10

Vinícius Cangussu¹, viniciusmelocangussu@gmail.com
Jorge Duarte¹, jorgecduarte1@gmail.com
Alexandre Mendes Abrão¹, abrao@demec.ufmg.br
Geraldina Cristina Durães de Godoy¹, gcgodoy@demet.ufmg.br
Marcelo Araújo Câmara¹, marcelocamara@demec.ufmg.br

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) da Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, CEP: 31.270-901.

Abstract: *The present study was carried out with the purpose of analyzing non - lubricated sliding process between two surfaces of different materials, aiming to obtain results to support the prediction of wear behavior for the tribological pair involved. For this purpose, the wear tests were performed on a pin-on-disk type equipment known as a tribometer. In this way, it was necessary to simulate the interaction between TiAlN coated tungsten carbide (ISO grade K10) with AISI D2 tool steel, produced in pin and disk forms, respectively. Thus, it is expected to obtain information related to the friction and wear of the materials from the variation of the sliding speed, which will also base the behavior of these materials in a machining operation such as milling. The obtained results for the three selected rotational speeds - 15,707, 31,415 and 52,359 rad/s - show that the greatest wear in the 20-minute sliding interval occurs for the 31,415 rad/s condition, while the speed of 52,359 rad/s provided the lowest coefficient of friction among them, with consequent lower wear rate per sliding distance.*

Keywords: Tribometer, Friction, Wear, Tungsten carbide grade K10, Tool steel AISI D2.