

AVALIAÇÃO DAS TEMPERATURAS GERADAS PELA FRICÇÃO EM CORPOS DE METAL DURO REVESTIDOS COM UMA CAMADA DUAL LAYER DE TIN / (Ti,Al)N E SEM REVESTIMENTO

Douglas Maciel d'Auriol Souza, ddauriol@gmail.com¹

Marcelo Araujo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br²

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG. CEP: 31270-901

²Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG. CEP: 31270-901

Resumo: Estudar os mecanismos de desgaste com o objetivo de melhorar o desempenho das ferramentas de usinagem convencional é essencial para alcançar processos produtivos estáveis, competitivos e com alta repetibilidade. Atualmente a maioria das ferramentas de usinagem ofertadas no mercado possuem algum tipo de revestimento, com o objetivo de melhorar as características tribológicas. A temperatura é um catalizador para os mecanismos de desgaste. Este artigo traz uma análise do comportamento da temperatura de fricção gerada no ensaio de pino sobre disco, deslizando pinos de aço ABNT 1045 contra discos de metal duro sem revestimento e com uma cobertura PVC dual layer de TiN e (Ti, Al)N. Pretende-se avaliar o comportamento da camada de revestimento na transferência de calor para o pino. Até o momento foram coletados os dados referentes ao coeficiente de atrito, temperaturas e as imagens dos pinos e discos usando microscopia ótica. Estas informações evidenciaram o comportamento da temperatura no pino em relação ao coeficiente de atrito e revestimento dos discos. O revestimento dual layer de TiN e (Ti,Al)N aumentou o fluxo de calor para o pino de aço ABNT 1045 normalizado.

Palavras-chave: Nanocamadas, Revestimentos, TiN, (Ti,Al)N, Tribologia.

1. INTRODUÇÃO

Controlar o desgaste é essencial para se manter a estabilidade de máquinas, ferramentas e processos, seja na usinagem convencional, em motores de combustão interna ou elétricos, e até mesmo em próteses ortopédicas. Estudar os mecanismos de desgaste para melhorar o desempenho dos materiais é um dos objetivos da tribologia.

Na usinagem convencional, o desgaste é responsável por determinar o fim da vida útil da ferramenta, assim como influenciar no acabamento superficial da peça. A introdução do metal duro no mercado de ferramentas promoveu um enorme ganho de produtividade nas fábricas, além de permitir a produção de peças com melhores acabamentos superficiais sem a necessidade de processos posteriores. Estes ganhos de produtividade são devido ao aumento da velocidade de corte, entretanto, o aumento desta trouxe como consequência o aumento das temperaturas geradas no contato entre ferramenta e peça. Atualmente é difícil adquirir ferramentas que não possuam uma camada de revestimento cerâmico ou carbonetos e nitretos sobre o metal duro. Estes revestimentos de camada manométricas foram introduzidos nas ferramentas para protegê-las de mecanismos específicos de desgaste, como barreiras térmicas e químicas. O revestimento de ferramenta mais utilizado atualmente é o Nitrato de Titânio – TiN (Klocke, 2011), este pode ser depositado pelo processo de PVD - *Physical Vapour Deposition* (Deposição física por vapor) ou CVD - *Chemical Vapour Deposition* (Deposição química por vapor). Este revestimento pode vir aplicado isoladamente sobre a ferramenta ou acompanhado de outro material, como, por exemplo, o Nitreto de alumínio de titânio - (Ti,Al)N. Esta aplicação de várias camadas de cobertura permite aproveitar algumas características individuais sem a necessidade de geração de novos compostos.

A geometria da ferramenta de corte e os parâmetros usados na usinagem também possuem grande importância nos mecanismos de desgaste, principalmente nos termicamente ativados. A velocidade de corte possui influência direta na temperatura da zona terciária de cisalhamento, e é nesta região que ocorre o desgaste de flanco. Este artigo é o início dos experimentos para identificar os influenciadores do desgaste de flanco e do acabamento superficial na usinagem do aço ABNT 1045 normalizado torneado com um inserto de geometria modificada. Esta modificação tem a proposta de permitir o acesso do fluido de corte no plano de folga da ferramenta, e de limitar a influência do desgaste de flanco na rugosidade superficial da peça. A figura 1 apresenta a proposta da ferramenta e o fluxo da refrigeração proposto.

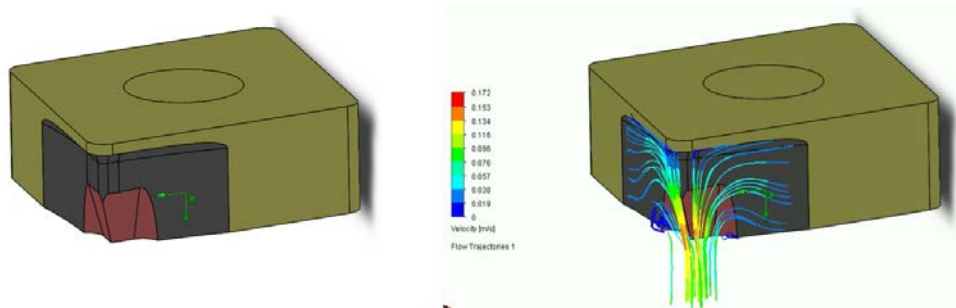


Figura 1 – Modelo 3D do inserto proposto e simulação do fluxo da refrigeração.

2. FLUXO DE CALOR POR FRICÇÃO NOS ENSAIOS DE PINO SOBRE DISCO

Durante o atrito entre duas superfícies, quase todo trabalho de fricção aparece em forma de calor. Próximo as estas superfícies, o aumento da temperatura influencia no coeficiente de atrito e na taxa de desgaste (Ashby; Abulawi; Kong, 1991).

Alguns parâmetros, tais como coeficiente de atrito, tempo de contato, área de contato real, são cruciais para o entendimento da variação de temperatura nas superfícies. Se todo calor de fricção fluísse uniformemente na área de contato entre duas superfícies em deslizamento, a temperatura que apareceria nestas superfícies poderia ser chamada de temperatura da massa (T_b), independentemente da geometria dos corpos. Entretanto, em razão das asperezas superficiais, as superfícies em fricção possuem uma área de contato real muito menor que a aparente, o que explica a extrema elevação da temperatura na interface. (Materials, 2001). A figura 2 apresenta a geometria normalmente utilizada em ensaios de pino sobre disco e o fluxo de calor entre os corpos. Observa-se que este fluxo deriva para os dois corpos, de modo que as temperaturas alcançadas dependem tanto do coeficiente térmico quanto da geometria dos materiais.

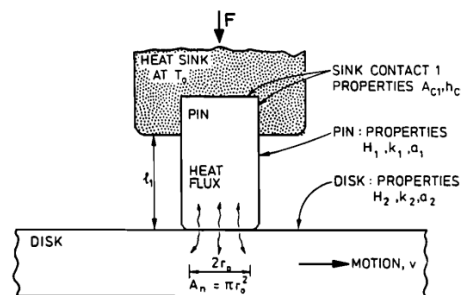


Figura 2 – Configuração padrão para ensaio de pino sobre disco e o fluxo de calor entre os corpos (Ashby; Abulawi; Kong, 1991)

O fluxo de calor total médio, q_{av} (em W / m^2), gerado pelo atrito entre as duas superfícies carregadas pode ser expresso como:

$$q_{av} = \mu \cdot p_{av} \cdot v_r \quad (1)$$

Onde μ é o coeficiente de atrito entre as superfícies, p_{av} é a pressão média e v_r a velocidade relativa.

O coeficiente de atrito (μ) é dependente da velocidade de deslizamento. Em baixas velocidades μ é fortemente dependente da rugosidade superficial das superfícies. Em altas velocidades, por sua vez, o coeficiente cai à medida que a velocidade aumenta (Hutchings, 2017).

3. TEMPERATURA NO PROCESSO DE USINAGEM

É importante conhecer e entender quais fatores influenciam na geração de calor e seu fluxo entre ferramenta, peça e cavaco (Machado *et al.*, 2009). As forças de usinagem que geram a deformação do material associadas ao atrito decorrente do deslizamento entre a ferramenta e a peça geram diversas fontes de calor ao longo da ferramenta. Este calor é percebido em três regiões distintas na área de formação do cavaco, sendo elas:

Zona primária de cisalhamento (Região A – Figura 3)

Zona secundária de cisalhamento (Regiões B e C – Figura 3)

Zona terciária de cisalhamento (Região D – Figura 3)

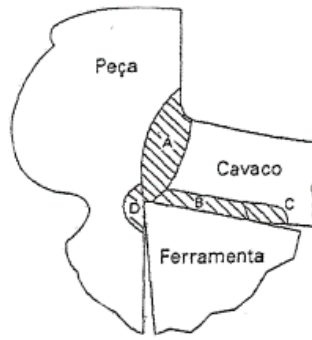


Figura 3 – Regiões onde o calor é percebido na formação do cavaco (Machado *et al.*, 2009)

A maior parte do calor gerado na zona primária é dissipada no cavaco. O aumento da velocidade de corte não possui muita influência sobre a temperatura nesta região, o que não se pode afirmar na zona terciária, onde as altas temperaturas aceleram o desgaste de mecanismos termicamente ativos (Machado *et al.*, 2009). A figura 4 apresenta as principais fontes de calor e a sua distribuição típica em usinagem de aço, na interface ferramenta, cavaco e peça (Klocke, 2011):

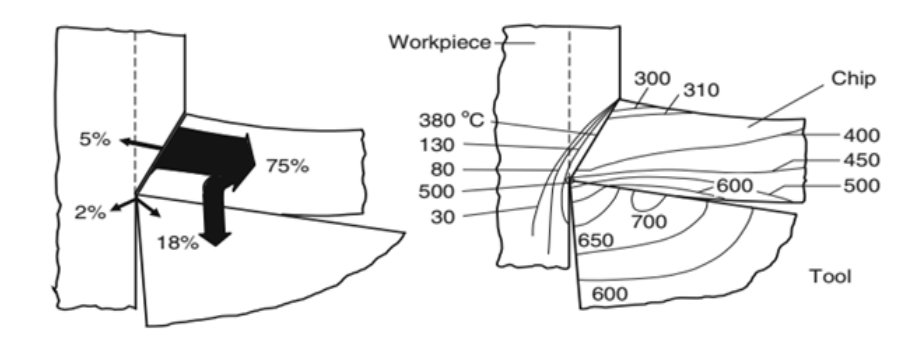


Figura 4 - Distribuição de calor e temperatura na peça, cavaco e ferramenta no processo de corte de aço, de acordo com para Kronenberg e Vieregge (Klocke, 2011)

A temperatura máxima não está diretamente sobre a aresta de corte, mas sim a uma certa distância, a qual irá depender das condições de corte e materiais.

4. MECANISMOS DE DESGASTE NAS FERRAMENTAS DE CORTE

Denomina-se vida de uma ferramenta o tempo que a mesma trabalha até a perda da capacidade de corte (Ferraresi, 1977). Tal perda se dá em função dos mecanismos de desgaste, de modo que somente por meio do estudo e entendimento desses mecanismos podem ser elaboradas ações que reduzam eficazmente a taxa de desgaste (Machado *et al.*, 2009).

As altas temperaturas e pressões na interface ferramenta-cavaco favorecem os mecanismos de desgaste, como a difusão, oxidação, adesão e abrasão. Estes mecanismos podem ocorrer sozinhos ou, mais frequentemente, em combinação (Astakhov, 2006). Por exemplo o desgaste por adesão normalmente vem acompanhado da oxidação dos *debris* (resíduo do desgaste). Estes podem, por sua vez, funcionar como lubrificantes sólidos e reduzir o desgaste adesivo, ou agir com partículas causadoras de desgaste abrasivo (Shaw, 2005). Durante a usinagem, em condições normais de corte, todos os mecanismos citados acima estarão presentes, embora um destes deva prevalecer (Machado *et al.*, 2009).

O desgaste de cratera é um dos principais desgastes que podem ser identificados em uma ferramenta de corte, juntamente com o desgaste de flanco e de entalhe. O desgaste de cratera é localizado na superfície de saída da ferramenta, já o de flanco se localiza na proximidade da aresta de corte e nas superfícies de folga primárias e secundárias, e são nestas mesmas superfícies que o desgaste de entalhe é percebido,

O desgaste abrasivo acontece quando partículas duras removem ou deslocam o material de uma superfície. Tais partículas podem estar soltas ou pertencerem a uma das superfícies. Quando a partícula está solta entre as duas superfícies em movimento, o desgaste abrasivo é denominado de três corpos; quando a partícula dura pertence a uma das superfícies, o desgaste é denominado de dois corpos. Klocke cita que o termo “em ranhura” é comumente utilizado para indicar o desgaste por abrasão, já que este se caracteriza pela formação de sulcos paralelos entre si e no sentido do fluxo do movimento. O desgaste abrasivo pode ser classificado como abrasão de dois corpos ou três corpos. Em ordem de grandeza, a abrasão de três corpos é menor que a abrasão de dois corpos. Na primeira, devido a variações no ângulo de ataque, apenas uma pequena proporção das partículas abrasivas causa desgaste (Gahr, 1987).

O mecanismo de adesão ocorre no nível microscópico, onde ligações atômicas são formadas na interface das superfícies em contato. Esses vínculos são deformados, reforçados ou arrancados durante o movimento relativo das superfícies (Klocke, 2011). Estas interações atômicas, que formam micro soldas entre os materiais, podem, por exemplo, surgir devido à difusão atômica em altas temperaturas. O desgaste de abrasão acompanha o desgaste por adesão devido ao desprendimento das partículas na adesão (Fox-Rabinovich, 2007). Importa ressaltar que geralmente em materiais cerâmicos a adesão é mais fraca. (Hutchings, 2017).

5. OS REVESTIMENTOS

Os revestimentos podem ser fabricados em uma variedade de composição, forma e processo. Podem possuir uma, duas ou multicamadas que por suas vezes podem ter desde estruturas simples e homogêneas até compósitos, ligas e gradientes (Khadem *et al.*, 2017). O avanço, realizado nos últimos anos, no desenvolvimento de novos materiais sintéticos, disponibilizou ao mercado novos revestimentos com inúmeras características tribológicas. Estes materiais são normalmente óxidos, nitritos ou carbonetos metálicos, materiais cerâmicos ou DLC (*Diamond-like carbono*). Pode haver também aplicações de lubrificantes sólidos como MoS₂, WS₂, PbO e grafite. Algumas das características tribológicas dos revestimentos podem ser associadas ao tipo de ligação atômica presente neles. A presença de ligações metálicas irá favorecer a adesão da cobertura ao substrato, enquanto as ligações covalentes aumentam a dureza, e as iônicas a inércia química e térmica (Khadem *et al.*, 2017).

O desempenho das ferramentas de usinagem revestidas é bem superior ao daquelas sem revestimento (Machado *et al.*, 2009), o que explica a sua enorme importância. As novas características tribológicas que os revestimentos proporcionam às ferramentas tem como objetivos principais alterar o mecanismo predominante no desgaste da ferramenta. Abaixo algumas coberturas usuais para recobrimento de ferramentas de corte (Shaw, 2005):

- TiN - Reduz atrito e a formação de aresta postiça.
- TiC- Aumento da dureza superficial.
- Al₂O₃ - Barreira térmica e química.
- (Ti,Al)N - Permitem trabalhar com altas velocidade e temperaturas.
- TiCN - Corte interrompido.
- DLC – Materiais não ferrosos.

Dentre os processos de deposição de revestimentos de material duro, os mais utilizados são o CVD e PVD. A escolha do processo irá depender tanto da característica tribológica esperada quanto do material do substrato.

A deposição por CVD envolve uma reação química entre uma fase gasosa e a superfície do substrato aquecido a aproximadamente 1000°C (Astakhov, 2006). A fase gasosa pode ser titânio e nitrogênio, por exemplo. Devido às suas temperaturas elevadas, a aplicação para ferramentas de aço rápido (*High Speed Steel - HSS*) não é possível.

Existem três métodos para deposição por CVD (Klocke, 2011):

- High temperature HT-CVD - (CVD em alta temperatura, 900-1100 ° C). Devido às suas altas temperaturas, promove uma excelente cobertura e adesão mesmo em geometrias complexas.
- MT-CVD (CVD de temperatura média, 700-900 ° C). Apresenta menores tensões térmicas assim como tensões residuais de tração, se comparado com o HT-CVD. A deposição é feita substituindo os gases utilizados na HT-CVD por acetonitrilo (CH₃-CN).
- The Plasma Activated CVD Process PA-CVD (CVD Ativada por plasma, 450-650 °C), pulso de plasma são emitidos na cara, possibilitando a reação química mesmo em baixas temperaturas.

A deposição do PVD se dá a uma temperatura de 500°C, onde as partículas metálicas se direcionam para o substrato formando uma camada cristalina (Astakhov, V. 2006). Este método permite controlar a espessura da camada com o controle do tempo (Klocke, F. 2011), e apresenta também a vantagem de não promover o arredondamento das quintas.

Algumas das vantagens do PVD sobre o CVD são:

- Baixas tensões térmicas e possibilidade de revestimentos em materiais mais sensíveis à temperatura, como ferramentas de HSS.
- Apresenta tensões residuais de compressão, as quais reduzem o risco de propagação de trincas térmicas ou mecânicas, comuns em corte interrompidos.
- Não permite uma completa cobertura na ferramenta.
- Permite deposição de coberturas que não existem normalmente em equilíbrio, como (Ti, Al)N.

Entre os revestimentos mais utilizados para ferramentas de usinagem estão o TiN e o (Ti, Al)N. Possuindo uma alta interação entre os átomos em sua estrutura, o TiN apresenta uma estabilidade termodinâmica maior quando comparado com TiC, o que aumenta sua resistência à difusão e adesão com outros materiais (Klocke, 2011). Se comparado novamente com o TiC, o TiN apresenta maior resistência ao desgaste de cratera (proveniente da difusão no plano de deslizamento), além de apresentar alto desempenho na usinagem de uma vasta gama de metais. A cor característica do TiN é dourada.

Sendo o revestimento de alto desempenho mais aplicado, o (Ti,Al)N é normalmente utilizado em usinagens difíceis e com altas temperaturas, assim como em materiais abrasivos (ferro fundido e aços ligados com alto nível de níquel por exemplo). O revestimento (Ti,Al)N possui uma variação de cor que vai do marrom ao preto-violeta, a depender da concentração de Al (20 à 60%) (Klocke, 2011). As fases metaestáveis do (Ti, Al)N se decompõem em estruturas mais

estáveis, como, por exemplo, o óxido de alumínio. Este, por sua vez, promove novas características à cobertura. Este fenômeno é chamado de Self-Adaptive Coatings (Revestimentos auto-adaptativos) (Fox-Rabinovich, 2007). Tal fenômeno pode ser ativado por calor (Klocke, 2011).

6. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para os experimentos foram preparados corpos de prova em aço ABNT 1045 normalizado com 15 mm de comprimento, Ø6 mm e um furo interno de Ø2,5 mm. Este furo tem o objetivo de reduzir a área de contato e ao mesmo tempo manter o formato plano do pino. Os discos foram preparados em metal duro classes P40 e K40 com 2 mm de espessura, e Ø20mm e Ø40mm, respectivamente. Um dos discos de metal duro K40 recebeu uma cobertura dual layer de TiN e (Ti,Al)N, o outro de (Ti,Al,S)N. A variação entre os revestidos e não revestidos serve para validar a influência desta variável no fluxo de calor para o pino de aço ABNT 1045 normalizado.

Os ensaios tribológicos foram realizados em um tribômetro MicroTest “pin on disk”, modelo MT/60/N1, utilizando uma rotação variando de 450 à 500 RPM, com carga normal de 20N à 35N e um diâmetro de pista entre 10 mm e 30 mm, conforme figura 1. Foram coletados os coeficientes de atrito, força, rotação e distância percorrida. Para isso, foi utilizado o Nanoveia Tribometer Software. Posteriormente, com o objetivo de reduzir ruídos, estes dados foram submetidos a um filtro Gaussiano 40. A tabela 1 apresenta a compilação dos testes realizados.

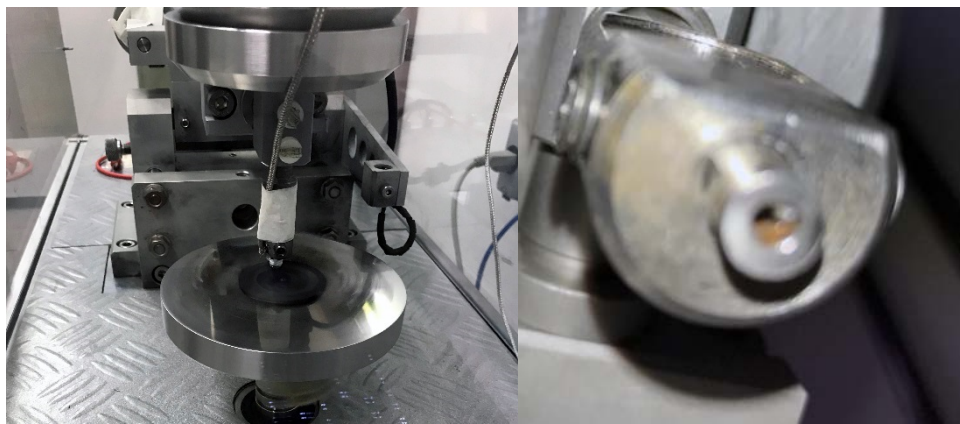


Figura 5 - Disco de metal duro K40 revestido com TiN/(Ti,Al)N durante o ensaio, carga de 35N e 450 RPM e termopar externo (a); fixação do termopar internamente ao pino (b)

Tabela 1 - Compilação dos testes realizados

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Carga Normal	20 N	35 N	35 N	35 N
RPM	500	500	450	450
Disco	MD P40	MD P40	MD K40 + TiN / (Ti,Al)N	MD K40 + TiN / (Ti,Al,S)N
Posição do Termopar	Interna	Interna	Externa	Externa

A coleta das temperaturas foi realizada usando um termopar tipo K com resolução de 0,25 °C, em uma frequência coleta de 2 Hz. A conversão da diferença de potencial (DDP) gerada em valor de temperatura e o envio dos dados para armazenamento foram feitos através de uma microcontroladora de placa única modelo Arduino UNO. Através de uma comunicação serial com um microcomputador pessoal, foi possível salvar os dados usando o software Putty. A filtragem dos ruídos foi realizada por um Gaussiano de 20 no software Matlab. Na imagem 5 é possível verificar fixação do termopar externamente (Figura 5a) e internamente (Figura 5b) ao pino de aço ABNT 1045, o qual foi mantido à 2mm da face de contato do pino.

Após os ensaios, os corpos de prova foram levados até um microscópio ótico modelo Union Versamet 3, onde foram realizadas imagens com 50x, 100x, 200x e 500x. Utilizou-se o software ImageJ para retirada de medidas lineares e cálculos de área de contato.

7. Resultado e Discussão

Os figuras 6 e 8 apresentam o coeficiente de atrito e as temperaturas coletadas ao longo do tempo para o ensaio 1. A curva de coeficiente de atrito apresenta o comportamento de suposta quebra de uma camada de óxido seguida de geração de *debris* (Blau, 2011). Percebe-se que a curva gerada pela coleta das temperaturas apresentou um atraso na resposta à mudança do coeficiente de atrito. Sabe-se que a temperatura gerada pela fricção é diretamente dependente do coeficiente

de atrito em baixas velocidades (Ashby; LIM, 1990). Este atraso pode ser justificado pela posição do termopar em relação à fonte geradora de calor. Na figura 6 é possível perceber que o contato do pino sobre o disco não se deu em toda a superfície, mas ficou localizado a uma restrita área de 3,00 mm². Desta forma, caso o termopar estivesse posicionado do lado oposto ao desta região de contato haveria um atraso na resposta devido ao fluxo de calor dentro do material.

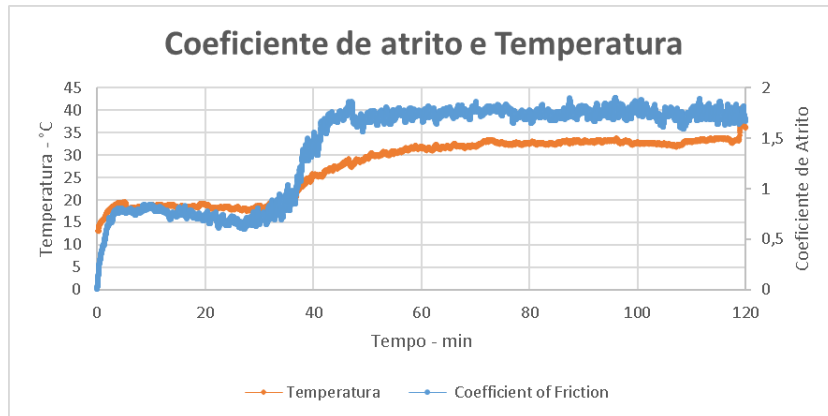


Figura 6 – Coeficiente de atrito e temperaturas para pino de Aço ABNT 1045 normalizado e disco de metal duro sem revestimento com termopar interno e carga de 20N.

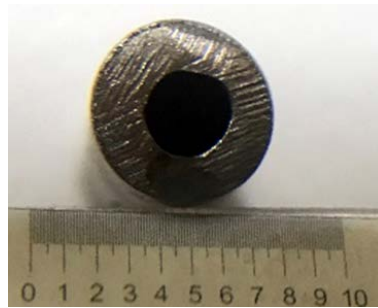


Figura 7 – Área de contato do pino: região lisa na parte inferior da imagem, se limitou a aproximadamente 3,00 mm². As ranhuras mais persentes são provenientes do processo anterior de preparação do material.

O aumento da carga de 20N para 35N entre os experimentos 1 e 2 acarretou a mudança do comportamento da curva do coeficiente de atrito (figura 8), onde sugere-se que com a carga de 35N a camada de óxido foi quebrada rapidamente e o coeficiente de atrito se estabilizou em 0,8 (figura 9). Após 7 min de teste um fenômeno promoveu uma nova alteração no coeficiente de atrito. Após 25 min de teste houve a interrupção do ensaio por medida de segurança, já que o equipamento detectou um valor de coeficiente acima de 3. A elevação do coeficiente foi ocasionada pela soltura do suporte das cargas no tribômetro, a qual se deu em consequência do excesso de vibração do ensaio. A soltura gradativa da carga promoveu a elevação do coeficiente de atrito e aumentou o desvio das coletas, uma vez que a carga provavelmente oscilou o vetor de força sobre o pino.

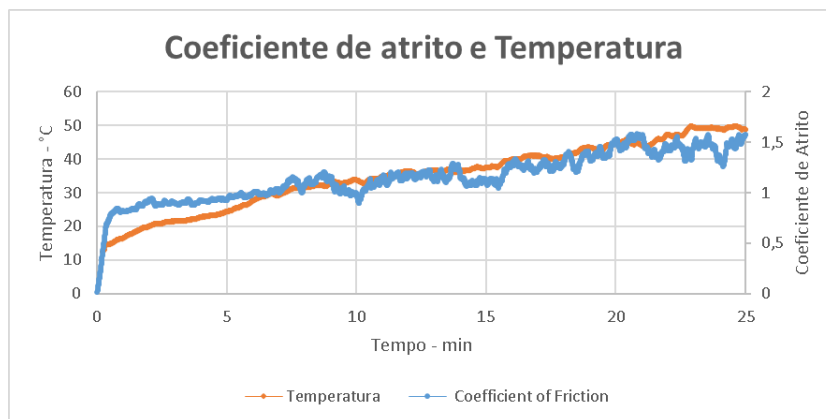


Figura 8 - Coeficiente de atrito e temperaturas para pino de Aço ABNT 1045 normalizado e disco de metal duro sem revestimento com termopar interno, carga de 35 N.

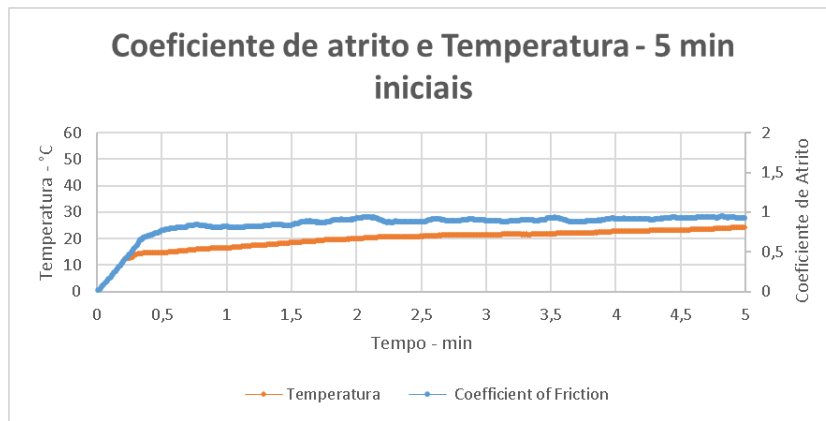





Figura 9 - Coeficiente de atrito e temperaturas para pino de Aço ABNT 1045 normalizado e disco de metal duro sem revestimento com termopar interno, carga de 35 N nos 5 minutos iniciais.

O atraso na resposta da temperatura ao coeficiente de atrito se manteve no ensaio 2, razão pela qual no experimento seguinte o termopar será instalado na região externa do pino. Para evitar influência do resfriamento causado pelo deslocamento do ar proveniente do giro da mesa do tribômetro foi colocado uma fita de PVC envolvendo o pino na região do termopar. A fixação do pino também foi alterada, de modo a maximizar a área de contato. Foi utilizado um pino com um dos lados abaulado, permitindo assim ajustar a acomodação dos planos em contato. Esta alteração obteve resultado, já que a área de contato aparente aumentou de 7,5 mm² para 12,9 mm², um aumento de 72% entre os testes 2 e 3 (tabela 2).

Tabela 2 - Compilação dos testes realizados

		
Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
3,0 mm ²	7,5 mm ²	12,9 mm ²

É perceptível a mudança do comportamento da coleta da temperatura do ensaio 3 para os ensaios 1 e 2. No ensaio 3 o atraso na resposta reduziu para 0,1 min (figura 10), e é possível evidenciar que o termopar está próximo à superfície de contato do pino, o que explica a redução do tempo de resposta. A redução do coeficiente de atrito está relacionada ao revestimento de TiN / (Ti,Al)N presente no disco, pois esta camada possibilita a formação do tribofilme de Al₂O₃ na superfície que irá reduzir a condutividade térmica do disco e aumentar o fluxo para o pino de aço ABNT 1045. A temperatura coletada pelo termopar no pino durante os ensaios 2 e 3 foram apresentados no figura 11, onde evidencia-se que a elevação da temperatura está relacionada ao aumento da velocidade e ao revestimento presente do disco. Mesmo com o aumento da área de contato entre os ensaios, a elevação da temperatura chegou a 100%.

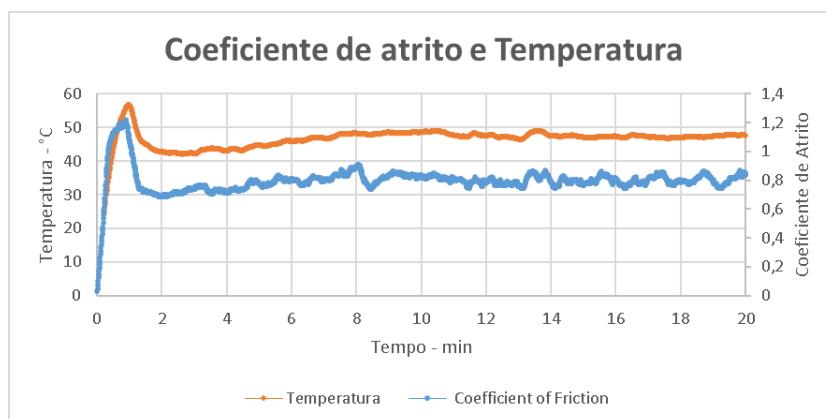


Figura 10 - Coeficiente de atrito e temperaturas para pino de Aço ABNT 1045 normalizado e disco de metal duro revestido com TiN / (Ti,Al)N com termopar exteno, carga de 35 N.

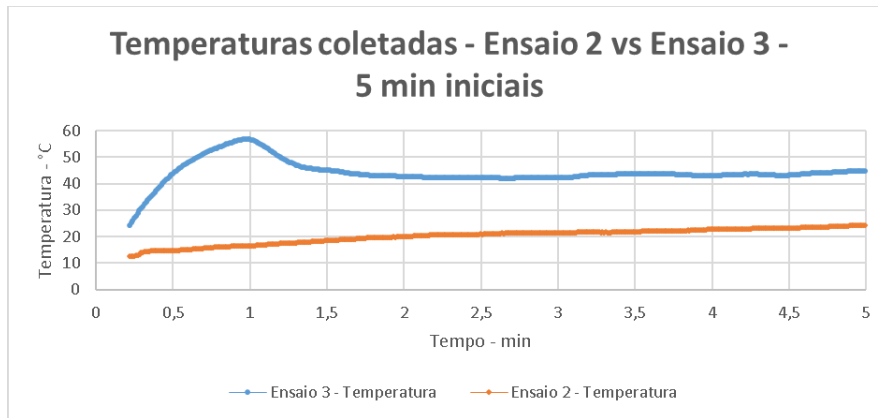


Figura 11 - Temperaturas coletadas durante o ensaio de pino sobre disco.

O perfil do coeficiente de atrito apresentado na figura 10 sugere a formação de *debris* e/ou transferência excessiva de material (Blau, 2011). Os próximos passos incluem a realização do ensaio 4, no qual será usado o disco de metal duro K40 revestido com (Ti,Al,S)N, e a repetição dos ensaios 2 e 3. Por último, será efetuado o ensaio de difração de raios X a fim de validar a formação do tribofilme de Al₂O₃ e identificar a composição dos *debris* gerados nos ensaios.

8. CONCLUSÕES

- A não uniformidade do contato entre o pino e a placa altera a distância da fonte geradora de calor para o termopar, provocando atraso na leitura.
- O revestimento dual layer de TiN e (Ti,Al)N aumentou o fluxo de calor para o pino de aço ABNT 1045 normalizado.
- O aumento da carga de 20N para 35N entre o ensaio 1 e 2, provocou maiores temperaturas, conforme equação de fluxo de calor.

9. REFERÊNCIAS

- Ashby, M. F., J. Abulawi, e H. S. Kong. 1991. "Temperature maps for frictional heating in dry sliding". Tribology Transactions 34(4): 577–82.
- Ashby, M. F., e S. C. Lim. 1990. "Wear-mechanism maps". Scripta Metallurgica et Materiala 24(5): 805–10.
- ASTAKHOV, VIKTOR P. 2006. Tribology of Metal Cutting.
- Blau, P.J. 2011. 17 Science and Engineering Ethics Friction Science and Technology.
- Ferraresi, Dino. 1977. "Fundamentos da usinagem dos metais". São Paulo: Edgard Blücher 1: 751.
- Fox-Rabinovich, German S. 2007. Self-Organization During Friction. Taylor & Francis Group, LLC.
- Gahr, Karl-Heinz Zum. 1987. Microstructure and Wear of Materials (Zum Gahr).
- Hutchings, I.M. 2017. "Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials". : 2017.
- Khadem, Mahdi, Oleksiy V. Penkov, Hee Kyung Yang, e Dae Eun Kim. 2017. "Tribology of multilayer coatings for wear reduction: A review". Friction 5(3): 248–62.
- Klocke, Fritz. 2011. Manufacturing Processes 1. RWTH Aachen University.
- Machado, Alisson Rocha, Alexandre Mendes Abrão, Reginaldo Teixeira Coelho, e Marcio Bacci Silva. 2009. Teoria da usinagem dos materiais.
- Materials, The. 2001. "The Materials Information Company". Technology 2: 3470.
- Shaw, Milton C. 2005. METAL CUTTING PRINCIPLES Second Edition.

10. RESPONSABILIDADE AUTURAL

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

EVALUATION OF THE FRICTION TEMPERATURES IN CARBIDE COATED WITH TIN / (TI, AL) N AND WITHOUT COATING

Douglas Maciel d'Auriol Souza, ddauriol@gmail.com¹
 Marcelo Araujo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br²

¹Graduate Program in Mechanical Engineering, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG. POST CODE: 31270-901

² Mechanical Engineering Department, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG. POST CODE: 31270-901

Abstract. *To study the mechanisms of wear in order to improve the performance of conventional machining tools is essential to achieving stable, competitive and high-repeatable productive processes. Currently most cutting tools offered in the market have some type of coating, with the objective of improving the tribological characteristics. The temperature is a catalyst for tool wear. This paper presents an analysis of the behavior of the friction generated in the pin-on-disk, sliding the ABNT 1045 steel pins against uncoated carbide discs and coated with TiN and (Ti, Al) N by PVD. It is intended to evaluate the behavior of the coating layer on heat transfer to the pin. So far, data on the coefficient of friction, temperatures and images of pins and disks were collected by light microscope. This information showed the temperature behavior of the pin relative to the friction coefficient of the discs and coating. The coating with TiN and (Ti, Al) N increased the heat flux for normalized ABNT 1045 steel pin.*

Keywords: Nanolayers, coatings, TiN, (Ti, Al) N, Tribology