

# COMPARAÇÃO ENTRE OS DESENVOLVIMENTOS DE DESGASTE E AVARIAS EM FERRAMENTAS DE CORTE DA CLASSE ISO P45 REVESTIDAS COM TiN/TiCN E ISO P25 SEM REVESTIMENTO DURANTE O FRESAMENTO FRONTAL DO AÇO ABNT 1045

**Anderson Clayton Alves de Melo**

Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Rua Aristides Novis, 02, 5º andar, Federação, Salvador/BA, CEP.: 40.210-630, [acamel@ufba.br](mailto:acamel@ufba.br)

**Álison Rocha Machado**

Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, CEP.: 38.408-100, Uberlândia/MG, [alisonm@mecanica.ufu.br](mailto:alisonm@mecanica.ufu.br)

**Resumo.** São apresentados resultados do desenvolvimento de desgaste e avarias em ferramentas de metal duro ISO P45 revestidas com TiN/TiCN e ISO P25 sem revestimento durante o fresamento frontal de barras de aço ABNT 1045 com e sem o uso de fluido de corte. As ferramentas foram testadas usando diferentes parâmetros de corte (velocidade de corte e percurso de avanço). As análises do desgaste e das avarias foram feitas através de microscopias eletrônica de varredura e ótica. Observou-se a existência de uma forte dependência entre o desempenho das classes estudadas e os parâmetros de corte usados. Os melhores resultados foram obtidos com o uso da ferramenta P25 ao invés da P45 revestida.

**Palavras-chave:** Ferramentas de metal duro, desgaste, avarias, fresamento frontal.

## 1. INTRODUÇÃO

Os problemas de desgastes e avarias em ferramentas de corte nos processos de usinagem sempre foram motivos de preocupação, tanto por parte de pesquisadores da área, quanto dos profissionais da indústria metal-mecânica. Apesar do custo com ferramentas de corte se constituir apenas numa pequena percentagem do custo total de fabricação de uma peça, a preocupação persiste, pois se estas sofrem desgastes acelerados e/ou avarias freqüentes, existirá também a freqüente necessidade de parada do processo para a troca destas, e isto significa custos adicionais e perda de produtividade. Desta forma, estudos constantes dos mecanismos e processos de desgaste e avarias nas ferramentas de corte tornam-se necessários.

A definição clássica de desgaste, independente da situação, mas aqui especificamente nas ferramentas de corte, é a perda ou deslocamento de massa de materiais causados por algum tipo de fenômeno tribológico, Machado & da Silva<sup>(1)</sup>. Hutchings<sup>(2)</sup>, em seu livro clássico sobre tribologia, define desgaste como sendo a destruição de uma ou de ambas superfícies que compõem um sistema tribológico, geralmente envolvendo perda progressiva de material. Os desgastes naturais em ferramentas de corte são os de flanco, incluindo o entalhe na ponta ou na altura final da profundidade de corte, e o desgaste de cratera. Estes desgastes podem se desenvolver por ação de um ou vários mecanismos, que diversos autores, entre eles Trent & Wright<sup>(3)</sup>, classificam em deformações plásticas, difusão, adesão ou *attrition*, abrasão e desgaste por oxidação. Todos esses mecanismos levam

à perda ou ao deslocamento de massa de maneira contínua, ao longo de um tempo relativamente expressivo, e não instantaneamente. Ao contrário dos mecanismos citados, as avarias ocorrem de maneira brusca, inesperada e normalmente envolvendo uma quantidade de massa maior. Elas podem ser distinguidas por: fratura (ou quebra) e lascamento, que têm origem mecânica e “fadiga térmica”, causada pela flutuação cíclica da temperatura. Segundo Santos<sup>(4)</sup>, a quebra é mais comum em ferramentas com baixa tenacidade, como as cerâmicas e os ultraduros, já a lasca depende também da tenacidade da ferramenta, mas pode ocorrer até mesmo em ferramentas de aço-rápido. No caso da trinca, não existe a perda de material, mas sua presença pode comprometer a continuidade do processo de corte pela sua transformação em sulco (no caso de trincas de origem térmica), pela promoção de uma lasca ou até mesmo a quebra da ferramenta de corte. As trincas são comumente observadas em ferramentas de metal duro e cermets, podendo também aparecer em ultraduros e aço-rápido, enquanto que as cerâmicas, normalmente, são frágeis demais para conseguirem absorver a deformação plástica necessária para impedir a sua propagação. Assim, normalmente, uma trinca na ferramenta cerâmica é levada às conseqüências mais graves, isto é, promove instantaneamente a lasca ou a quebra da ferramenta. Melo<sup>(5)</sup>, em sua tese de doutorado, estudou a formação de trincas térmicas em ferramentas de metal duro e verificou que a quantidade, a velocidade e a forma com que estas evoluem a sulcos e, conseqüentemente, ao desgaste da ferramenta, dependem fortemente dos parâmetros de corte, das condições de corte, da composição e microestrutura da ferramenta.

Dentre os materiais de ferramentas existentes atualmente, o metal duro ocupa lugar de destaque, pois grande parte das ferramentas de corte usadas hoje na indústria é de metal duro e cerca de 90% são revestidas. A idéia inicial de se aplicar um revestimento ao metal duro, foi a de garantir uma ferramenta com um substrato tenaz e uma superfície capaz de suportar as adversas solicitações tribológicas durante o corte. Hoje existe uma infinidade de tipos de revestimentos. Dentre estes, destacam-se o TiN e o TiCN, que têm como característica marcante o baixo coeficiente de atrito (cerca de 0,4 contra o aço a seco<sup>(6)</sup>) proporcionado durante a usinagem. Observa-se que, nem sempre, uma ferramenta revestida desempenhará um melhor papel durante a usinagem quando comparada com outra sem revestimento. Isto dependerá não somente das qualidades intrínsecas da ferramenta, como também das condições de corte<sup>(5)</sup>. Este artigo mostra resultados comparativos do desempenho de duas ferramentas de corte de metal duro, com e sem revestimento, obtidos através de uma série de testes de fresamento frontal do aço ABNT 1045, onde foram variados a velocidade de corte e o percurso de avanço, com e sem o uso de fluido de corte.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram testados dois tipos de ferramentas de metal duro, fabricadas pela Sandvik-Coromant com a mesma geometria, ISO SEMN 1204AZ. As especificações destas, segundo a ISO e algumas de suas características estão mostradas na tabela 1.

Tabela 1. Ferramentas de corte usadas nos testes de fresamento (obs.: percentagens em peso).

Ferramenta	WC (%)	TiC+TaC+NbC (%)	Co (%)	Condutividade térmica (W/m.K)	Tamanho médio dos carbonetos (µm)	Revestimento (CVD)
P25	46,6	40,9	12,5	40	3	-
P45	86,6	-	13,4	100	12	TiN/TiCN (2,5 µm)

A figura 1 mostra fotografias da microestrutura das ferramentas estudadas, obtidas através de microscopia eletrônica de varredura. Observa-se o maior tamanho dos grãos de carbonetos (WC) da ferramenta P45.

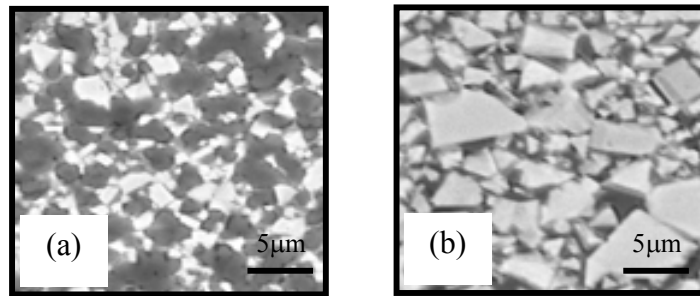


Figura 1. Microestrutura das ferramentas testadas obtidas através de elétrons retro-espalhados das ferramentas, (a) P25 e (b) P45.

Os testes foram realizados em fresamento frontal, fazendo uso de uma fresa R260 22-080-15 (diâmetro externo de 80mm), que ao ter sobre si o inserto instalado, a seguinte geometria de corte fora estabelecida:  $\chi_r = 45^\circ$ ;  $\lambda_s = 17^\circ$ ;  $\gamma_o = 9^\circ$  e  $\alpha_o = 20^\circ$ .

Apenas um inserto por ensaio foi colocado na fresa, apesar da mesma ter capacidade para suportar até 6 insertos (figura 2a). Isto foi feito com o intuito de reduzir o consumo de material da peça e de ferramentas.

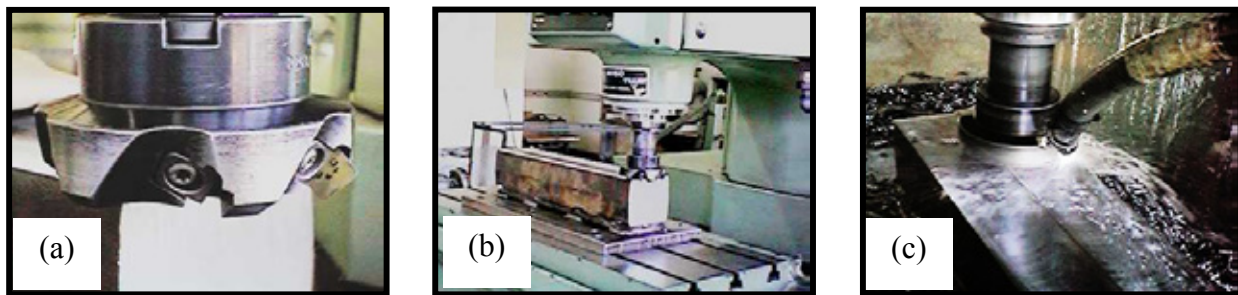


Figura 2. (a) Fresa usada nos ensaios mostrando um único inserto montado em uma de suas sedes; (b) Barra de aço ABNT 1045 montada na mesa da fresadora durante a realização dos ensaios; (c) Aplicação de fluido de corte durante os ensaios.

A máquina utilizada foi uma fresadora CNC da marca ROMI, modelo INTERACT 4, com potência máxima de 16kW (figura 2b).

Nos ensaios de fresamento foram usadas barras de aço ABNT 1045 com 500mm de comprimento e seção transversal de 110x110mm (figura 2b), cuja dureza foi medida e obteve-se o valor médio de 273 HV. A tabela 2 apresenta a composição química do aço usado, segundo o fabricante.

Tabela 2. Composição química do aço ABNT 1045 usado nos ensaios.

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Al
%	0,49	0,71	0,19	0,024	0,033	0,18	0,17	0,04	0,22	0,01	0,034

Os testes foram realizados a seco e com o uso de fluido de corte. Neste caso, o fluido utilizado foi o sintético DMS 3000 da Shell, preparado numa concentração de 3% e aplicado à ferramenta de corte numa vazão de 3,2 litros/min no momento da saída da ferramenta da peça de trabalho (figura 2c).

Inicialmente foram feitos testes de fresamento com o objetivo de verificar a influência da velocidade de corte e do percurso de avanço sobre o desgaste e avarias nas ferramentas testadas.

Ressalta-se que os ensaios com fluido de corte foram realizados paralelamente aos ensaios a seco e com os mesmos parâmetros de corte usados nestes.

Fixada uma classe e a condição de corte (primeiramente a seco e depois com fluido), o inserto específico foi testado variando-se a velocidade de corte sendo, neste caso, um valor para cada uma das quatro arestas. A tabela 2 resume os ensaios que foram realizados.

Tabela 2. Resumo dos ensaios de fresamento frontal realizados (com e sem fluido de corte).

Ferramenta	$v_c$ (m/min)		$f_z$ (mm/dente)	$a_p$ (mm)
P25	Aresta 1	100	0,15	2,0
	Aresta 2	170		
P45	Aresta 3	240		
	Aresta 4	310		

Desta forma, os testes foram divididos em baterias de ensaios de fresamento e correspondentes análises no microscópio eletrônico de varredura. Cada bateria correspondeu ao fresamento da barra de aço com cada uma das quatro arestas de corte de cada ferramenta, através de um percurso de avanço ( $L_f$ ) de 500mm e penetração de trabalho ( $a_e$ ) de 55mm. Foram executadas, desta forma, três baterias de testes (3 passadas), o que correspondeu a um percurso de avanço de 1.500 mm. Ao final de cada passada, mediam-se os desgastes de flanco médio ( $VB_B$ ) e/ou máximo ( $VB_{Bmáx}$ ) na aresta ensaiada utilizando-se um microscópio ferramenteiro.

Finalizada cada bateria de testes (correspondente a  $L_f=500$  mm), as ferramentas foram levadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) para que fossem feitas análises do desgaste e das avarias. Neste último caso, foi contada a quantidade de trincas de origem térmica desenvolvida (foram consideradas todas aquelas observáveis com um aumento de 400X).

A idéia inicial era continuar este procedimento até que se chegasse a um desgaste de flanco médio de 0,4 mm e/ou a um desgaste de flanco máximo de 0,7 mm (estabelecidos como critério de fim de vida) em cada uma das arestas testadas. Com isto, seria observada a evolução do desgaste e das avarias dentro de toda a faixa de utilização das arestas de corte. Porém, ao final das análises correspondentes a terceira bateria de testes, verificou-se que a evolução do desgaste de flanco para o corte a seco estava ocorrendo de maneira bastante lenta, principalmente com relação à ferramenta da classe P25. Além disso, com relação à quantificação do número de trincas térmicas, atentou-se, neste momento, pela necessidade de se repetir ensaios com o objetivo de se obter resultados estatisticamente significativos. Estes dois motivos e ainda a quantidade limitada de material disponível para os ensaios, levou à modificação, a partir deste ponto, da metodologia experimental. Observando os resultados (de avarias e desgastes) nas arestas de corte ensaiadas usando-se fluido de corte, constatou-se que esta prática, definitivamente, não é adequada para o corte interrompido com ferramentas de metal duro, como já observado por Vieira *et al.*<sup>(7)</sup>, pois até mesmo ao final da primeira passada ( $L_f = 500$  mm), algumas arestas já haviam ultrapassado os critérios de fim de vida estabelecidos. Desta forma decidiu-se encerrar, neste momento, os ensaios com fluido de corte e guardar seus resultados para análise posterior. Decidiu-se ainda, utilizando novas ferramentas e repetir por três vezes cada uma das baterias inicialmente realizadas a seco, com o objetivo de se obter uma representação estatística dos resultados quantitativos (relativos à quantidade de trincas térmicas). Com relação ao acompanhamento da evolução do desgaste e das avarias, resolveu-se prosseguir os ensaios a seco com as ferramentas utilizadas nas três baterias de testes iniciais. Neste caso, optou-se pela continuidade dos ensaios com as arestas das ferramentas das duas classes (P25 e P45) correspondentes a  $v_c = 170$  e 310 m/min. Para agilizar estes ensaios, mudou-se o critério de parada de cada bateria de testes, que até então vinha sendo feito com base no percurso de avanço (a cada 500 mm), para um critério de parada com base no desgaste de flanco. Desta forma, foram executadas três baterias de testes de fresamento: 1<sup>a</sup> até  $VB_B \cong$

0,13 mm, 2<sup>a</sup> até  $VB_B \cong 0,26$  mm e 3<sup>a</sup> até  $VB_B \cong 0,4$  mm, correspondente ao fim de vida. Salienta-se que durante os ensaios, algumas arestas chegaram ao final de vida antes mesmo da segunda ou terceira bateria.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos da figura 3 mostram a variação na densidade média de trincas térmicas em função da velocidade de corte e do percurso de avanço após as três primeiras passadas, correspondentes a  $L_f = 500, 1.000$  e  $1.500$  mm, para as ferramentas das classes P25 (figura 3a) e P45 (figura 3b).

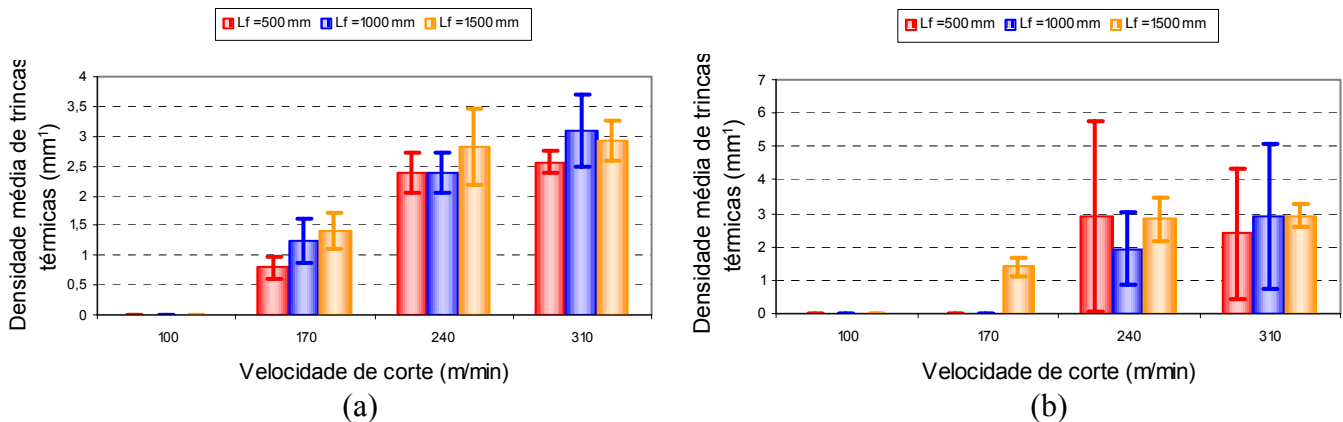


Figura 3. Densidade média de trincas térmicas (número de trincas dividido pela largura de corte) em função da velocidade de corte para as ferramentas (a) P25 e (b) P45, após percurso de avanço de: 500, 1.000 e 1.500 mm ( $f_z = 0,15$ mm/dente;  $a_p = 2,0$ mm).

Nota-se uma tendência de aumento na quantidade de trincas térmicas com o aumento da velocidade de corte. Isto fica mais nítido e estatisticamente confiável na análise do gráfico 3a, correspondente à ferramenta P25, onde os desvios-padrão foram menores do que aqueles observados para a ferramenta P45 (figura 3b). A grande dispersão verificada na análise desta última ferramenta é atribuída a presença de trincas no revestimento (além das geradas no substrato, figura 4b), que se apresentavam com uma frequência caótica, em termos de quantidade, para cada repetição do ensaio. A figura 4a mostra a evidência dessas trincas.

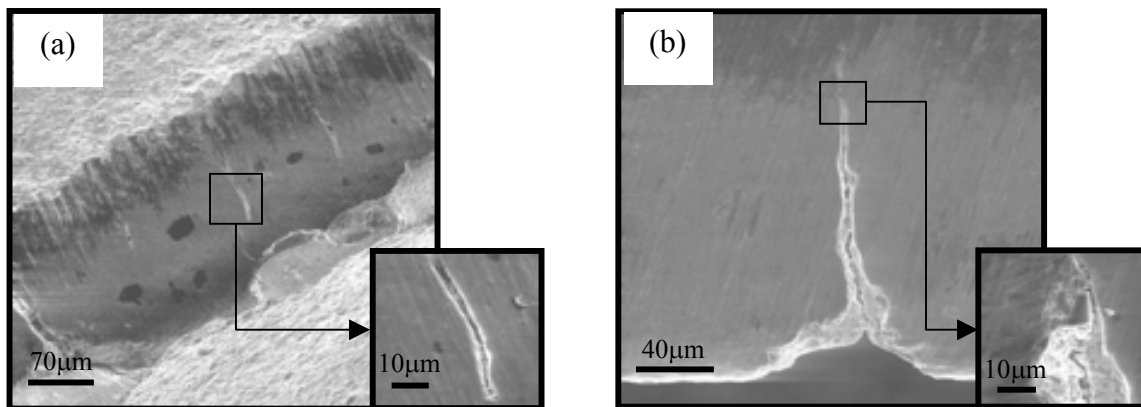


Figura 4. (a) Trincas térmicas no revestimento da ferramenta P45 após fresamento a seco através de um percurso de avanço de 1.500mm ( $v_c = 310$ m/min;  $f_z = 0,15$ mm/dente;  $a_p = 2,0$ mm); (b) Trinca gerada no substrato e evidência do destacamento de pequenas placas do revestimento durante o corte.

O fato da quantidade de trincas térmicas aumentar com o aumento da velocidade de corte é atribuído ao aumento da variação de temperatura a cada ciclo ( $\Delta T$ ), que é a diferença entre a temperatura na superfície de saída, próximo à aresta de corte, no instante em que a ferramenta deixa a peça e a temperatura neste mesmo local da ferramenta, logo antes da mesma reentrar na peça. O aumento da variável  $\Delta T$  com o aumento da velocidade de corte já foi verificado por Bhatia *et al.*<sup>(8)</sup>. Neste caso, a elevação de  $\Delta T$  aumentaria, como consequência, as tensões necessárias para a nucleação das trincas térmicas.

Uma outra observação importante que se pode fazer com relação aos gráficos da figura 3, é que existe uma certa tendência de aumento na quantidade de trincas térmicas com o aumento do percurso de avanço. Este fato pode ser melhor observado para a ferramenta P25, que apresentou os menores desvios-padrão. Neste caso, isto acontece porque aumenta-se a quantidade de eventos propícios para a formação das trincas (há um aumento do número de ciclos termo-mecânicos). Tal fato já foi observado por Lehewald<sup>(9)</sup> e citado por Ferraresi<sup>(10)</sup>.

A tabela 3 mostra os percursos de avanço através dos quais algumas arestas, com seus respectivos parâmetros de corte, usinaram a barra de teste até o fim de suas vidas. Neste caso, o objetivo foi comparar o desempenho das duas classes testadas, com base no desgaste de flanco.

Tabela 3. Comparação de desempenho entre as classes testadas.

		Fim de vida	
		Classe P25	Classe P45
$v_c$ (m/min) ( $f_z=0,15$ mm/dente; $a_p = 2,0$ mm)	170	Após $L_f = 23.500$ mm (Falha catastrófica)	Após $L_f = 5.000$ mm ( $VB_{Bmáx} = 1,19$ mm)
	240	Após $L_f = 13.000$ mm ( $VB_{Bmáx} = 0,93$ mm)	Após $L_f = 2.500$ mm ( $VB_{Bmáx} = 1,48$ mm)

Nota-se que a classe P25 foi a que apresentou os melhores resultados, usinando através de percursos de avanço bem superiores aos observados para a classe P45. A única desvantagem, neste caso, foi que a maioria das arestas chegou ao fim de vida de forma repentina (falha catastrófica).

Analisando-se os resultados quantitativos desta pesquisa, verifica-se que as ferramentas da classe P25 mostraram menor inércia e maior susceptibilidade à formação das trincas térmicas. Porém, pela tabela 3, foram as que apresentaram maiores vidas. Isto parece contraditório, mas pode ser explicado pelo fato de que nesta classe encontra-se uma quantidade relativamente grande de carbonetos complexos (40,9% em peso – tabela 1) e é sabido que o aumento na quantidade desses carbonetos provoca aumento na quantidade de trincas térmica e redução no desgaste de flanco [Ekemar *et al.*<sup>(11)</sup>]. A maior vida das ferramentas desta classe em relação à P45, pode ser ainda explicada pelo fato de que o tamanho médio dos grãos de carbonetos na classe P25 é menor do que na classe P45, o que reduz significativamente a ação do mecanismo de desgaste por *attrition*.

O menor desempenho da ferramenta P45, a princípio, foi uma surpresa, visto que esta classe apresenta um revestimento adequado para resistir ao desgaste (TiN/TiCN) e um substrato tenaz, capaz de resistir aos choques mecânicos inerentes do processo de fresamento. Porém, como foi visto anteriormente, esta ferramenta apresenta alta resistência ao desgaste nos primeiros minutos de usinagem, nos quais o revestimento atua protegendo-a, com o passar do tempo, geram-se tanto trincas térmicas no revestimento quanto no substrato, as quais promovem a exposição deste aos efeitos negativos do processo de corte. A figura 5 mostra a foto de uma aresta de corte da ferramenta P45, onde se verifica a ausência de revestimento após um certo período de usinagem.

Como nesta classe não existe a presença de carbonetos complexos e o tamanho médio dos carbonetos é maior, existem as condições favoráveis para a evolução rápida do desgaste, tanto por abrasão, quanto por *attrition*. No caso do desgaste por abrasão, este ainda pode ser agravado pela presença de pequenas placas do revestimento que se soltam durante o processo (figura 4b).

A figura 6 mostra uma seqüência de evolução de uma trinca térmica gerada em uma ferramenta P45 até a sua transformação em uma grande quantidade de desgaste de flanco.

A figura 7 mostra fotos de arestas de corte das ferramentas P25 e P45, após usinarem por diferentes percursos de avanço. Observe que a ferramenta P45 chegou ao final de vida muito mais rapidamente do que a P25.

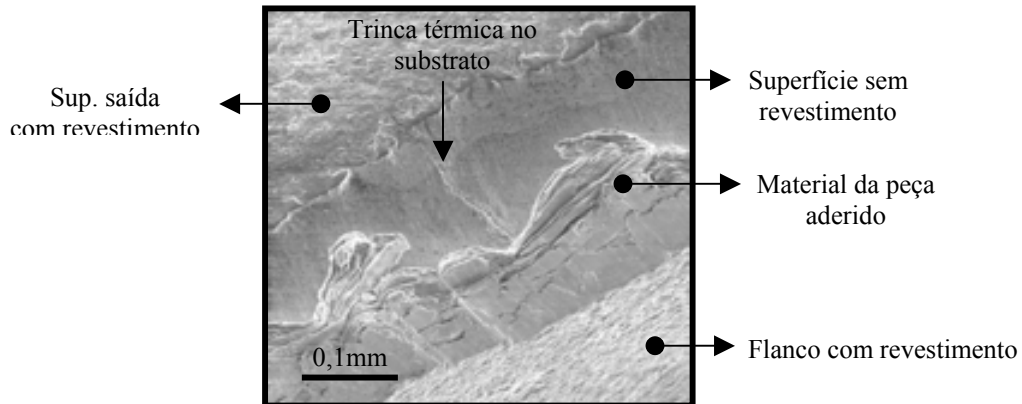


Figura 5. Superfície de saída de uma ferramenta P45 com revestimento devido à ação termo-mecânica do processo de fresamento após  $L_f=4.500\text{mm}$  ( $v_c=170\text{m/min}$ ;  $f_z=0,15\text{mm/dente}$  e  $a_p=2,0\text{mm}$ ).

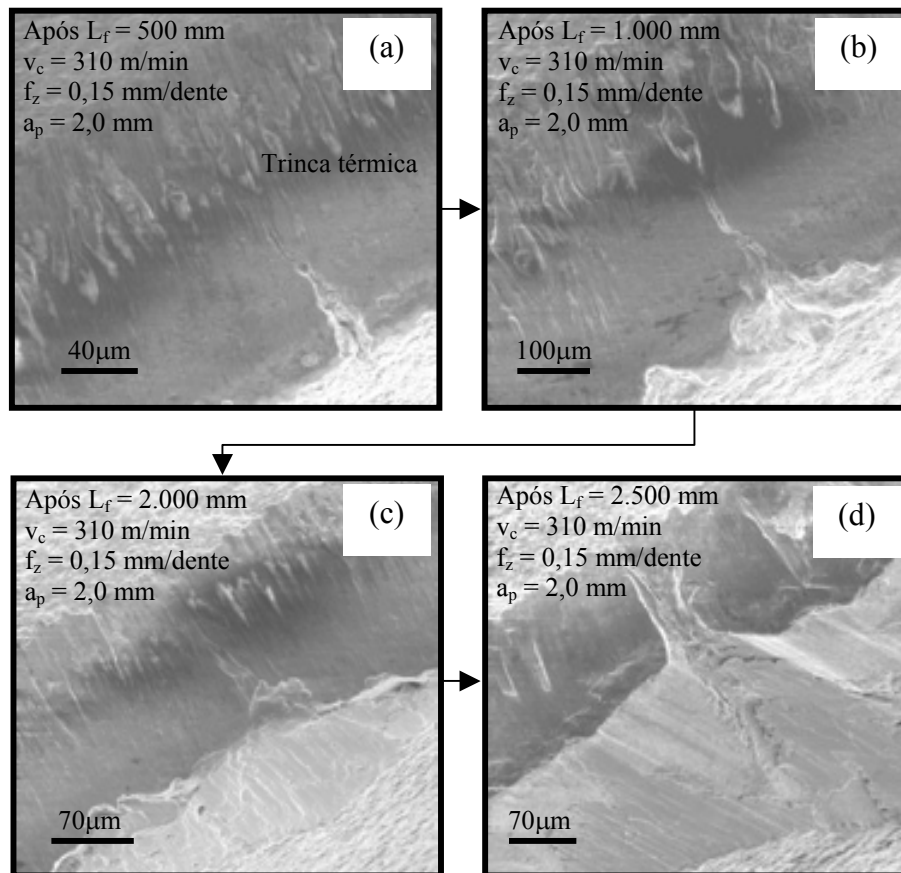


Figura 6. Evolução de uma trinca térmica verificada na ferramenta P45 após um percurso de avanço de: (a) 500mm; (b) 1.000mm; (c) 2.000mm; (d) 2.500mm [ $v_c=310\text{m/min}$ ;  $f_z=0,15\text{mm/dente}$ ;  $a_p=2,0\text{mm}$ ].



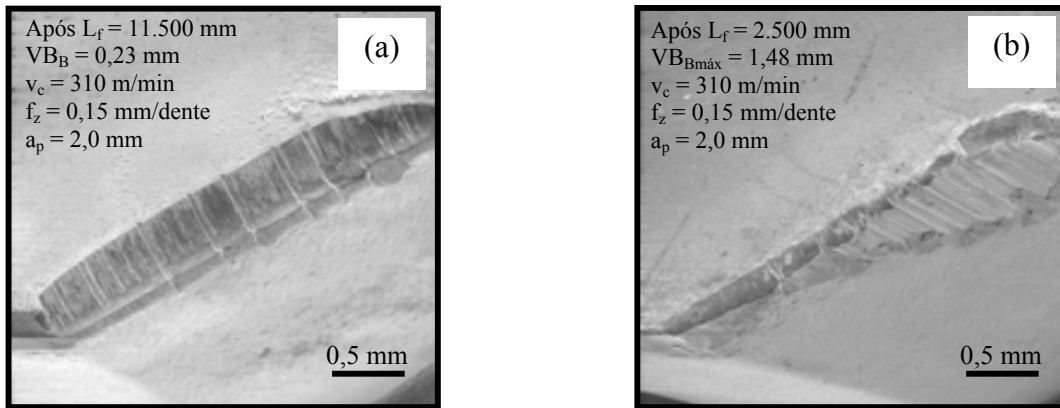


Figura 7. Aresta de corte da ferramenta (a) P25 e (b) P45 após usinagem a seco através de um percurso de avanço de 11.500mm e 2.500mm, respectivamente ( $v_c=310$ m/min;  $f_z=0,15$ mm/dente;  $a_p=2,0$ mm).

Com relação aos testes realizados com fluido de corte, observou-se, de uma maneira geral, que o uso desta prática causou grandes danos às ferramentas testadas. Todas as arestas ensaiadas nesta condição, apresentaram baixo tempo de vida útil em relação àquelas ensaiadas a seco. Neste caso, notou-se que a influência da variação da velocidade de corte assemelhou-se àquela verificada no corte a seco. Desta forma, o fluido de corte agiu como um agente intensificador do  $\Delta T$ , acelerando o processo de geração de avarias nas ferramentas testadas. As fotos abaixo (figura 8) mostram a influência do uso de fluido de corte nas duas ferramentas testadas.

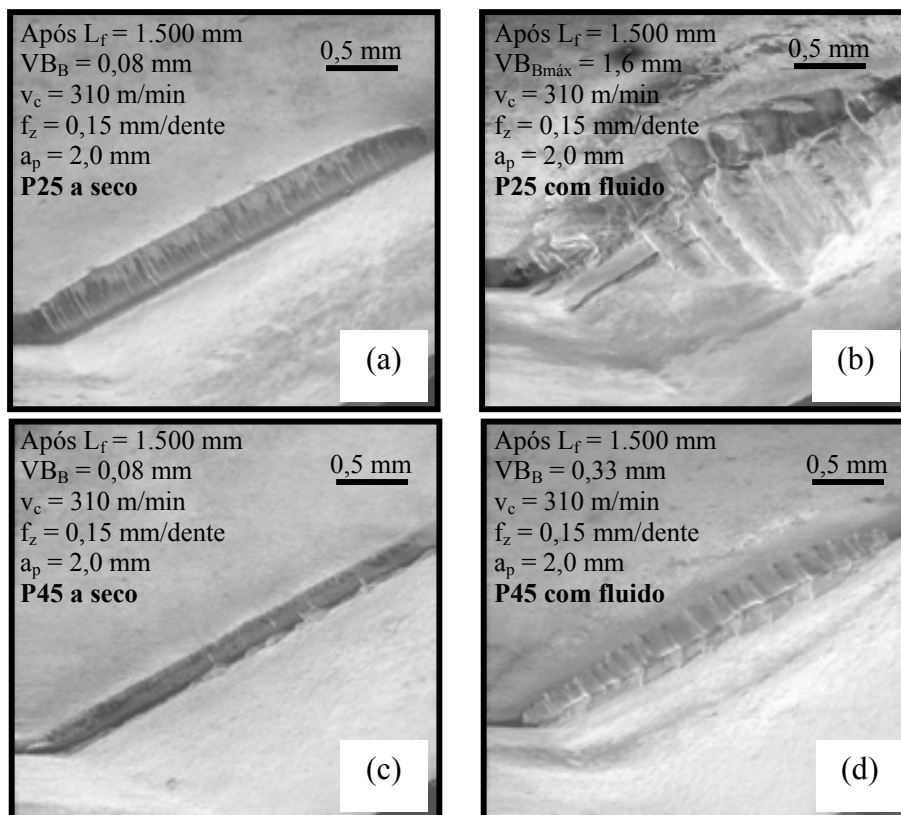


Figura 8 – Arestas de corte das ferramenta P25 (a e b) e P45 (c e d) ensaiada através de um percurso de avanço de 1.500 mm a seco e com fluido de corte ( $v_c = 310$  m/min;  $f_z = 0,15$  mm/dente;  $a_p = 2,0$  mm).



Os gráficos da figura 9, abaixo, mostram os desgastes de flanco médio obtidos após um percurso de avanço de 1.500mm nas duas classes testadas em função da velocidade de corte com e sem o uso de fluido de corte.

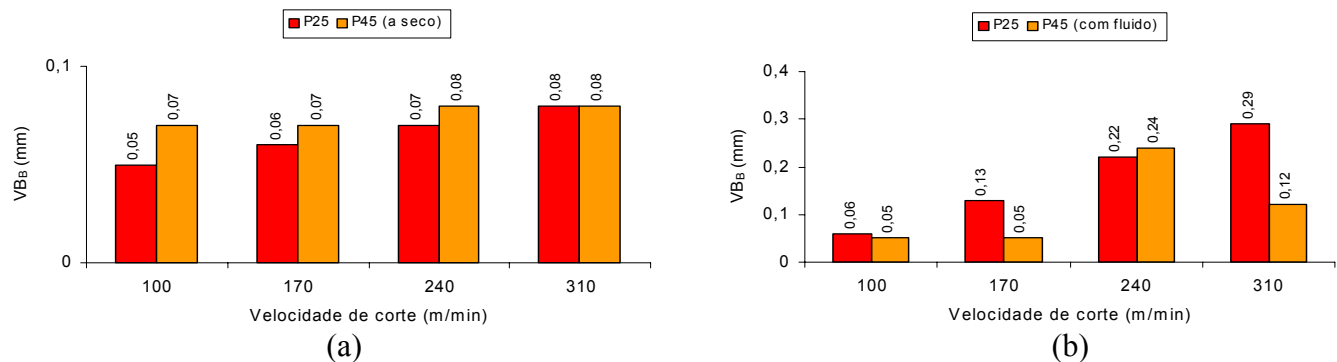


Figura 9. Desgaste de flanco médio nas ferramentas P25 e P45 após fresamento através de  $L_f = 1.500\text{mm}$ , a seco (a) e com fluido (b) em função da velocidade de corte.

De uma forma geral, observa-se que o desgaste de flanco médio aumenta com o uso de fluido de corte, o que pode ser atribuído à intensificação dos gradientes térmicos na superfície de saída da ferramenta de corte, o que promove o aumento da quantidade de trincas térmicas e, conseqüentemente, de outras avarias e do desgaste. Observa-se também melhor comportamento da ferramenta P25 no corte a seco. Já no corte com fluido, a ferramenta P45 apresenta melhores resultados.

#### 4. CONCLUSÕES

O aumento da velocidade de corte e do percurso de avanço conduziu ao aumento do desgaste e das avarias nas ferramentas de corte testadas, tanto a seco, quanto com fluido. O uso de fluido de corte provocou queda na vida das ferramentas testadas, em relação aos resultados a seco. Neste caso, o melhor desempenho foi verificado para a ferramenta P45. De uma forma geral, para as condições de corte estudadas, o uso da ferramenta P25 para se fresar a seco o aço ABNT 1045 seria a escolha da condição de corte mais apropriada economicamente, apesar deste tipo de ferramenta falhar, na maioria das vezes, de forma catastrófica.

#### 8. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer as seguintes empresas/instituições: Sandvik-Coromant, Shell Lubrificantes, Faculdade de Engenharia Mecânica da UFU, Departamento de Engenharia Mecânica da UFBA, FAPEMIG e FAPESB.

#### 9. REFERÊNCIAS

1. MACHADO, A. R. e da SILVA, M. B. **Usinagem dos Metais**. Apostila didática, Universidade Federal de Uberlândia, 2004, 257 pgs.
2. HUTCHINGS, I. M. **Tribology – Friction and Wear of Engineering Materials**. Published by Edward Arnold, London, ISBN 0 340 56184 X, 1992. 273 pgs.
3. TRENT, E. M. & WRIGHT. **Metal Cutting**. 4<sup>th</sup> Edition, Butterworths-Heinemann, ISBN 0-7506-7069-X, 2000. 446 pgs.
4. SANTOS, J. A. B. O. **Estudo da aplicação de revestimentos superficiais em fresas caracóis**. 2004. Dissertação de mestrado, PUC-MG, Belo Horizonte. 164 pgs.

5. MELO, A. C. A. **Estudo das trincas de origem térmica geradas em ferramentas de metal duro durante o fresamento frontal**. 2001. Tese de doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG. 173 pgs.
6. CATÁLOGO DA BALZERS BALINIT DO BRASIL LTDA. **Propriedades dos revestimentos BALINIT®**.
7. VIEIRA, J. M., MACHADO, A. R. and EZUGWU. **Performance of cutting fluids during face milling of steels**. Journal of Materials Processing Technology, vol. 116, 2001. pp 244-251.
8. BHATIA, S. M., PANDEY, P. C. and SHAW, H. S. **Failure of cemented carbide tools in intermittent cutting**. Precision Engineering, 1979. pp 148-152.
9. LEHEWALD, W. **Untersuchungen über die Entstehung von Rissen und Schneidausbrüchen beim Stirnfräsen von Stahl mit Hartmetal**. Industrie-Anzeiger, Essen (46), 1963. pp 981-988.
10. FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. Editora Edgard Blücher Ltda., vol. 1, 1977. 751 pgs.
11. EKEMAR, C. S. G., IGGSTRÖM, S. A. O. and HÉDEN, G. K. A. **Influence of some metallurgical parameters of cemented carbide on the sensitivity to thermal fatigue cracking at cutting edges**. Materials for Metal Cutting, Proc. Conf. of BIRSA, 1970, Scarborough.

## COMPARISON BETWEEN THE DEVELOPMENTS OF WEAR AND DAMAGE ON COATED AND UNCOATED CUTTING TOOLS DURING FACE MILLING

**Anderson Clayton Alves de Melo**

*Department of Mechanical Engineering, Federal University of Bahia, Aristides Novis street, 02, 5<sup>o</sup> floor, Federação, 40.210-630, Salvador/BA, [acamel@ufba.br](mailto:acamel@ufba.br)*

**Álison Rocha Machado**

*Machining Research and Education Laboratory, Federal University of Uberlândia, 38.408-100, Uberlândia/MG, Brazil, [alissonm@mecanica.ufu.br](mailto:alissonm@mecanica.ufu.br)*

**Abstract.** *The development of the wear and damage on coated ISO P45 and uncoated ISO P25 tools after face milling ABNT 1045 steel bars with and without cutting fluids are investigated in this paper. Several cutting parameters (cutting speed and cutting length) were used. Analysis of the worn tools was carried out by optical and electronic microscopic (MEV). The results showed that the performance of the tools is strongly dependent on the cutting parameters, and better results were observed when using the P25 tools rather than their counter partner P40.*

**Keywords.** *Cemented carbide tools, tool wear, comb cracks, tool damages, face milling.*