

CARACTERIZAÇÃO TRIBOLÓGICA DE AÇOS PARA CUTELARIA: UMA NOVA METODOLOGIA PARA DETERMINAR A RESISTÊNCIA À PERDA DE CORTE ¹

José Daniel Biasoli de Mello²

Paulo Sérgio de Sairre Bálamo³

Resumo

Analisa-se o comportamento tribológico de aços inoxidáveis utilizados em cutelaria. Foi determinado que a deformação plástica é o mecanismo que causa a perda de corte enquanto que a vida do gume é governada pelo desgaste abrasivo durante o amolamento e o desgaste por deslizamento durante a utilização. Propõe-se uma nova metodologia, baseada na energia necessária para deformar plasticamente o gume, para caracterizar a resistência à deformação do gume. Facas profissionais foram testadas, em condições rigorosamente controladas, em três diferentes estabelecimentos de processamento de carne e os mecanismos de perda de corte foram caracterizados por Microscopia Eletrônica de Varredura. A energia de flexão foi determinada pela variação da energia potencial associada ao impacto de um pendulo especialmente desenvolvido contra um corpo de prova extraído de uma faca real. Adicionalmente, aços martensíticos e ferríticos com diferentes teores de carbono e cromo foram submetidos a ensaios de micro abrasão e desgaste por deslizamento alternado. A técnica proposta é muito simples e barata reproduzindo remarcavelmente bem os mecanismos que causam perda de corte das facas bem como permite o *ranqueamento* de diferentes aços normalmente utilizados na cutelaria industrial. Muito embora a composição química tenha afetado consideravelmente a microestrutura e dureza das ligas o comportamento em abrasão não foi afetado por estes fatores. Semelhante efeito foi observado sobre o coeficiente de atrito. A taxa de desgaste por deslizamento, no entanto, variou significativamente.

Palavras-chave: Tribologia; Cutelaria; Desgaste.

¹ Trabalho submetido ao 60 Congresso Anual da ABM - Belo Horizonte MG, Julho 2005

² Professor Titular, Laboratório de Tribologia e Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Bloco 1R, 38400-902, Uberlândia MG,

³ Dr. em Engenharia Mecânica, Acesita S A, Praça 1° de Maio, 9, Timóteo MG.

INTRODUÇÃO

Os materiais empregados em cutelaria devem possuir gume cortante de grande dureza, boa resistência ao desgaste e corrosão. De uma maneira geral a resistência à corrosão é garantida pelo uso de aços inoxidáveis cujo alto teor em cromo garante a boa performance neste aspecto.

A microestrutura destes aços pode ser variada desde completamente ferrítica, até austenítica ou martensítica. Este efeito, obtido por adequação da composição química e/ou tratamentos térmicos, além de afetar a dureza e, em consequência a tenacidade, tem consequências não bem conhecidas sobre a resistência ao desgaste destas ligas.

Alguns tipos de aços inoxidáveis martensíticos conseguem atender a estas exigências além de oferecer resistência à corrosão e tenacidade. O aço inoxidável mais empregado em cutelaria é o 420A, combinando resistência à corrosão, alta dureza e facilidade de fabricação. Estas propriedades são suficientes para atender a grande maioria das aplicações em cutelaria. Quando a manutenção do gume cortante passa a ser importante, como nas aplicações profissionais, o aço 420A é deficiente, exigindo o emprego de outros aços.

No caso de facas industriais, objeto do presente trabalho, os aços devem apresentar ainda elevada resistência à corrosão, desgaste por deslizamento (quando em operação) e resistência à abrasão (quando da afiação e amolamento das facas).

Atualmente, instrumentos cortantes são avaliados internacionalmente por um dispositivo específico regulamentado pelo projeto de norma europeia BS EN ISO 8442:1999. Neste teste, a lâmina corta, em condições controladas, um pacote de papel especialmente produzido que contém 5% em volume de partículas SiO₂. O ensaio produz um gráfico correlacionando a profundidade de corte com o número de ciclos e desta forma uma indicação do poder de corte e retenção do fio da faca testada.

A literatura nesta área é bastante escassa, em particular, quanto aos principais tipos de desgaste passíveis de atuarem em condições reais de utilização de facas industriais.

Desta forma, o presente trabalho procura investigar de uma forma ampla o comportamento tribológico de facas industriais. Facas comerciais foram utilizadas, em condições rigorosamente controladas, em três diferentes estabelecimentos de processamento de carne e os mecanismos de perda de corte foram caracterizados por Microscopia Eletrônica de Varredura. Tendo por referência estes resultados foi proposta uma nova técnica capaz de simular, laboratorialmente, estes mecanismos. Apresenta-se, além do princípio do novo teste, o dispositivo especialmente construído bem como resultados evidenciando que a técnica proposta reproduz remarcavelmente bem os mecanismos que causam perda de corte das facas bem como permite o *ranqueamento* de diferentes aços normalmente utilizados na cutelaria industrial. Adicionalmente, aços inoxidáveis martensíticos e ferríticos com diferentes teores de carbono e cromo, potencialmente utilizáveis em cutelaria industrial, foram caracterizados quanto à resistência ao desgaste abrasivo (atuante na amolação da lâmina) e por deslizamento (atuante na operação e afiação das facas) de aços.

TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

Foram realizados ensaios de campo em condições reais de utilização de facas industriais. As facas, adquiridas em estabelecimento comercial, foram fabricadas em aço P498A. As mesmas foram utilizadas em condições rigorosamente controladas em três diferentes estabelecimentos de processamento de carne sendo dois processadores de carne bovina (Frigorífico Paladar e Açougue localizados em - Timóteo MG) e um processador de frango (Frigorífico Aurora - Maravilha SC).

A Tabela I mostra os diferentes estágios de utilização das facas analisada por MEV.

Tabela 1. Estágios de utilização das facas analisadas.

UNIDADE PROCESSADORA	SITUAÇÕES ANALISADAS
Frigorífico Paladar	<ul style="list-style-type: none">• Facas novas;• Facas amoladas e afiadas pelo operador mas sem uso;• Facas utilizadas até perder o primeiro fio;• Facas re-afiadas até ser necessário amolar;• Facas amoladas 4 vezes.
Açougue	<ul style="list-style-type: none">• Facas utilizadas até perder o primeiro fio;• Facas re-afiadas até ser necessário amolar.
Frigorífico Aurora	<ul style="list-style-type: none">• Facas afiadas pelo operador mas sem uso;• Facas afiadas em pedra de esmeril grão 80;• Retirada de rebarba em pedra de afiação grão 120 (água corrente na pedra);• Facas afiadas em chaira lisa;• Faca esterilizada em água (85°C - 5 minutos);• Facas utilizadas até perder o primeiro fio (desossa);

Afiar = Chaira / Amolar = Pedra abrasiva

Antes da análise por MEV as facas foram seccionadas e limpas por ultra-som em álcool por 5 minutos. Para análise das seções transversais o fio foi protegido por uma camada de Níquel depositado eletroliticamente, seguido de embutimento em baquelite, corte, lixamento e polimento da seção transversal.

Algumas facas foram enviadas para a Catra (Cutlery & Allied Trades Research Association) Sheffield, Inglaterra onde foram avaliadas de acordo com o projeto de norma europeia BS EN ISO 8442:1999. Após estes ensaios os gumes cortantes foram submetidos a análise por MEV tendo sido preparados conforme descrito para as facas testadas em campo.

Para os ensaios laboratoriais segundo a nova metodologia proposta pelo presente trabalho foram produzidas, industrialmente, facas especiais fabricadas em aço P498, P 420A e P420D. Estas facas, produzidas com a mesma geometria transversal do gume cortante mas sem a curvatura característica foram utilizadas para a produção, por eletroerosão, dos corpos de prova para os ensaios de impacto.

Os ensaios de desgaste abrasivo foram efetuados em um equipamento de micro abrasão do tipo esfera livre. Foi utilizada uma esfera de aço inoxidável martensítico com um raio de 10 mm. O meio abrasivo foi uma lama composta de partículas abrasivas (Sic 4,5 µm) em suspensão em água destilada, a uma concentração de

0,75 g de abrasivo por cm³ de água. A vazão do abrasivo foi fixada a cerca de uma gota a cada 3 segundos. A rotação do eixo motor foi mantida em 150 rpm, gerando uma velocidade entre a superfície da esfera e a amostra de aproximadamente 0,11m.s⁻¹. A metodologia do estabelecimento do regime permanente de desgaste e obtenção dos coeficientes de desgaste foi descrita em trabalhos recentes [4-5].

Os ensaios de desgaste por deslizamento foram realizados em um tribômetro universal (Plint & Partners, modelo TE 67), na configuração de deslizamento alternativo. Nestes ensaios, descritos detalhadamente em trabalhos recentes [6-8], uma esfera (aço 52100, $\phi=5$ mm) é mantida em uma montagem pivotada que não se move no plano horizontal. Durante o teste, a amostra move-se para frente e para trás com uma frequência (4 Hz) e amplitude (6 mm) conhecidas, e a velocidade de deslizamento varia de um máximo no centro a zero nas extremidades de cada percurso. São monitorados continuamente ao longo do ensaio a Força normal (imposta em 30 N), o potencial do contato e o coeficiente de atrito. Os ensaios tiveram duração de 2 horas e foram executados a seco, temperatura ambiente e umidade relativa 50 %.

O desgaste foi medido por interferometria laser (UBM Micro Focus Expert IV) e rotinas computacionais especialmente desenvolvidas que permitem calcular o volume de material desgastado a partir a topografia de superfície da amostra desgastada como descrito em trabalhos anteriores [7-8]. Outras topografias foram executadas e utilizadas para caracterizar a topografia das superfícies não desgastadas.

Todos os resultados tribológicos são a média de, no mínimo, 5 ensaios em cada situação.

Os mecanismos de desgaste atuantes foram avaliados por microscopia eletrônica de varredura (LEO 940A) e por micro-análise química por dispersão de energia.

A Tabela 2 apresenta a composição química dos aços estudados.

Tabela 2. Composição química dos aços.

Aço	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	S (%)	Mo (%)	N ₂ (ppm)
410 D	0,011	0,567	0,480	10,98	0,38	0,002	0,009	186
420 A	0,325	0,165	0,450	12,25	0,15	0,001	0,017	74
420 D	0,201	0,180	0,460	12,17	0,15	0,001	0,021	107
498 A	0,425	0,166	0,470	13,22	0,15	0,001	0,528	306

O aço 410D é ferrítico e foi testado na condição recozida enquanto que os outros três aços, martensíticos, foram tratados termicamente (aquecido a 1060°C por 10min resfriado ao ar seguido de tratamento sub-zero em N₂ por 30min)

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A Figura 1 mostra aspectos típicos do gume cortante das facas industriais após ensaios reais no campo.

Observou-se, claramente, que em todas as unidades processadoras de carne, a deformação plástica foi o principal mecanismo causando a perda da capacidade de corte da faca. Enquanto as facas novas, Figura 1-a, 1-b e 1-e, apresentam o gume agudo e afiado, as facas usadas apresentam o gume dobrado, Figuras 1-c, 1-d e 1-f, podendo a região deformada atingir dimensões entre 20 e 50 μ m. Contatou-se, também, que a vida do gume é governada pelo desgaste abrasivo durante o

amolamento e o desgaste por deslizamento durante a utilização.

A partir destes resultados foi proposta uma nova metodologia, baseada na energia necessária para deformar plasticamente o gume, para caracterizar a resistência à deformação do gume, objeto deste trabalho.

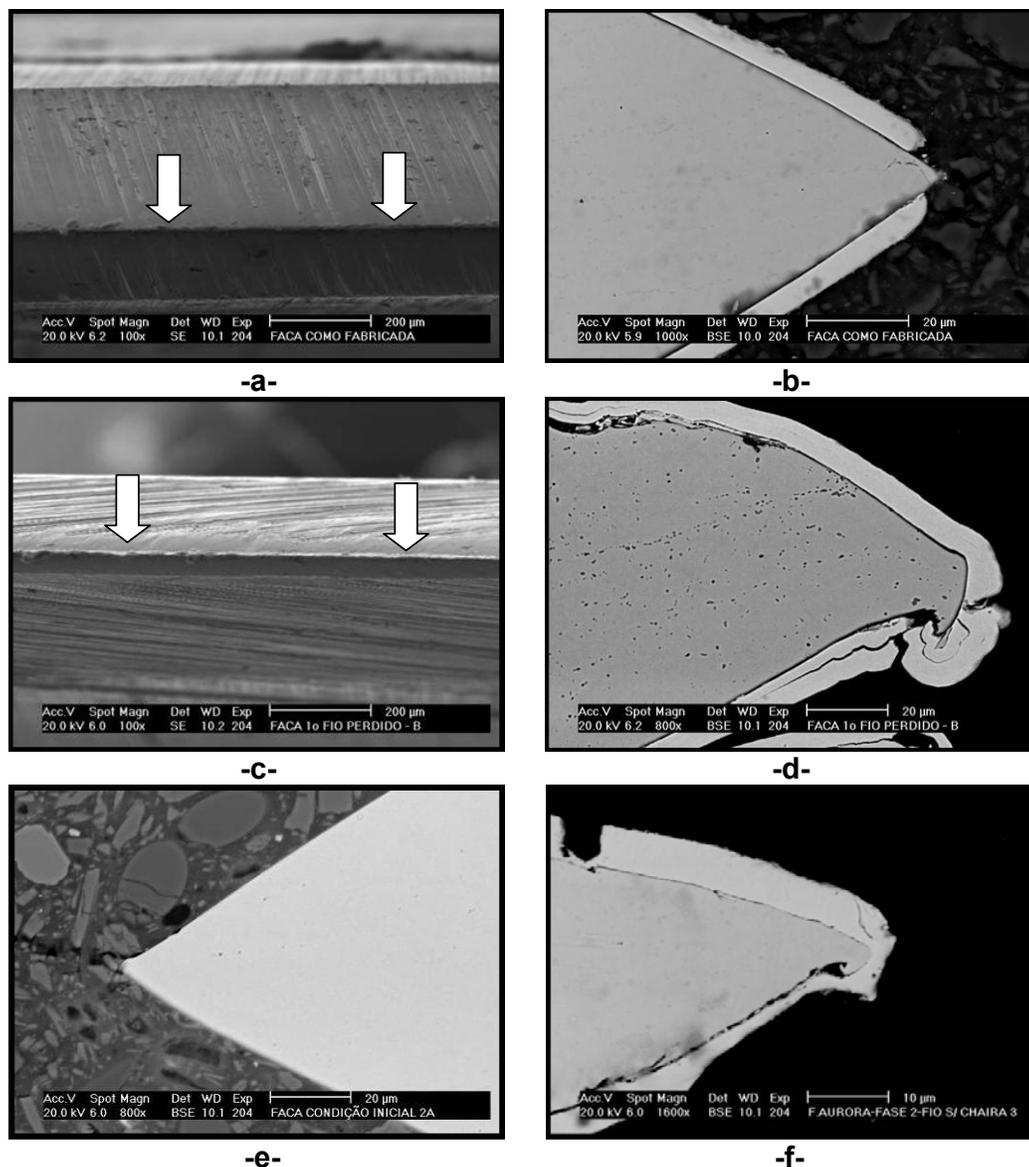


Figura 1. Aspectos típicos do gume cortante. MEV. a- Frigorífico Paladar - Timóteo MG, faca sem uso, vista superior. b- Seção transversal de a. c- Frigorífico Paladar - Timóteo MG, faca utilizada até perder o primeiro fio, vista superior. d- Seção transversal de c. d- Frigorífico Aurora - Maravilha SC, faca sem uso. e- d- Frigorífico Aurora - Maravilha SC, faca utilizada até perder o primeiro fio.

A energia de flexão foi determinada pela variação da energia potencial associada ao impacto de um pendulo cilíndrico especialmente desenvolvido contra um corpo de prova extraído de uma faca real. A Figura 2 ilustra o princípio do teste.

A Figura 3 mostra o efeito da profundidade de percussão na diferença angular para os diferentes aços martensíticos estudados. O aço 498 apresentou o maior consumo de energia (expresso pela diferença angular) para gerar deformação

plástica do gume enquanto que os aços 420A e 420D tiveram desempenho inferior e estritamente idênticos.

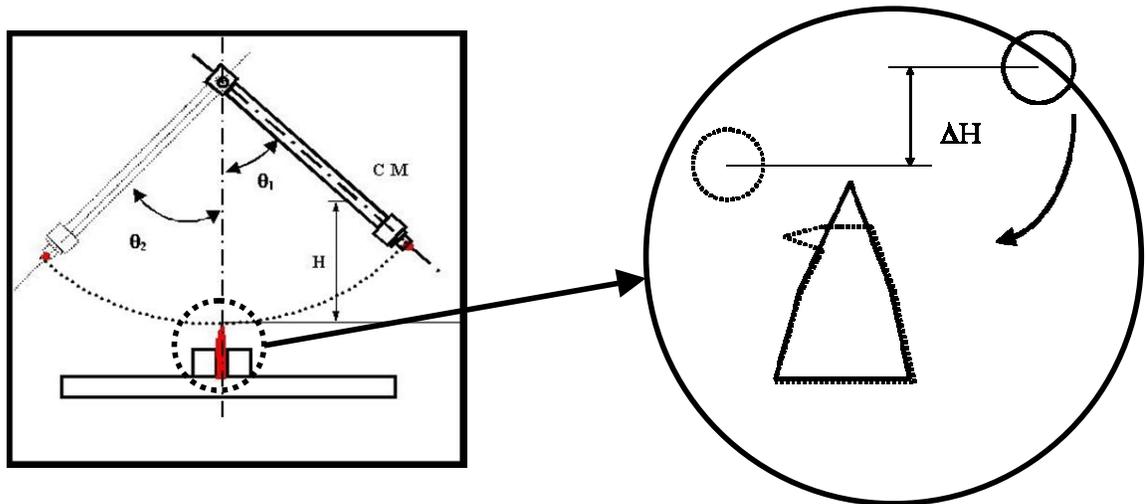


Figura 2. Princípio do teste.

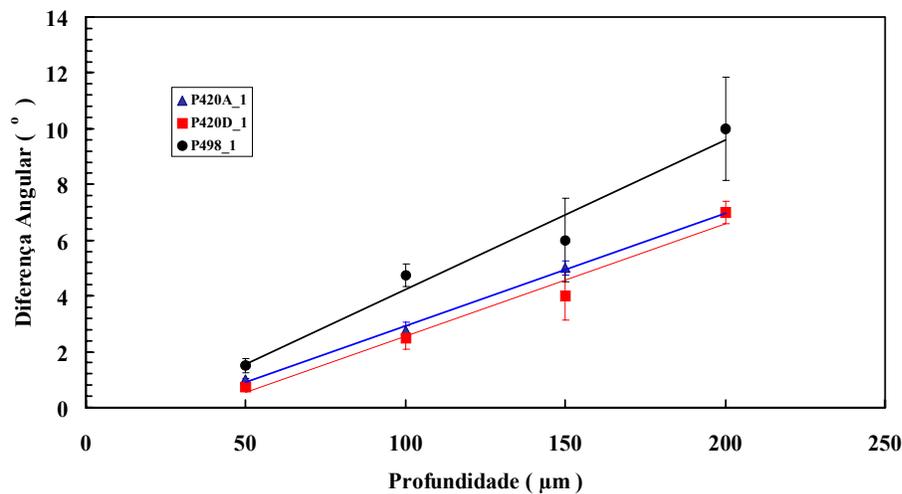


Figura 3. Efeito da profundidade de impacto na capacidade de deformação do gume cortante.

A morfologia da deformação plástica produzida pelo ensaio de impacto, apresentada por aspectos típicos na Figura 4, reproduz, de forma marcante o aspecto apresentado pelas facas testadas em campo, Figura 1.

As principais propriedades afeitas ao comportamento tribológico dos aços estudados são mostradas pela Tabela 3.

Merece destaque a grande diferença de dureza apresentada pelos aços martensíticos em relação ao ferrítico que também apresente a superfície mais rugosa de todos os materiais ensaiados

No presente estudo, o coeficiente de desgaste médio foi determinado pelos três últimos valores do coeficiente de desgaste de cada bateria, ou seja para os tempos de 180 s, 240 s, 300 s. Como foram realizadas três baterias por amostra e três amostra de cada tipo de aço os resultados apresentados são a média de 27 valores.

Constatou-se que o coeficiente de desgaste médio não varia significativamente entre as amostras, Figura 5.

Muito embora aumentos na dureza (Tabela 3) tenham produzido menores coeficientes de desgaste, o comportamento do aço 410 D, ferrítico, merece destaque. Muito embora ele tenha apresentado a menor resistência a abrasão sua dureza é cerca de 5 vezes menor que a do aço 420A que apresentou a maior resistência a abrasão.

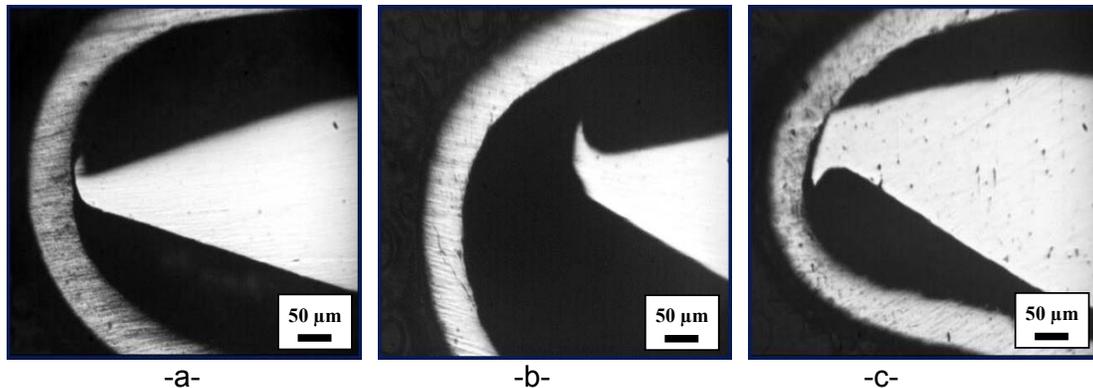


Figura 4. Aspectos típicos do gume cortante após ensaio de impacto. Seções transversais, microscopia ótica, profundidade de percussão 200 µm. a- Aço 498. b- Aço 420A. c- Aço 420D.

Tabela 3. Propriedades tribológicas dos aços.

AÇO	Dureza (Kgf/mm ²)	S _q (µm)	Coef. de desgaste (m ² .N ⁻¹) x 10 ⁻¹²	Taxa de desgaste (µm ³ /mm)	Coefficiente de atrito	Pot. Contato (mV)
410D	145±04	0,49±0,05	2,28±0,30	0,152±0,13	0,57±0,09	11,68±6,71
420A	671±22	0,27±0,04	1,96±0,19	0,021±0,01	0,55±0,07	5,20±0,07
420D	544±24	0,22±0,03	2,18±0,23	0,255±0,11	0,62±0,07	19,20±0,07
498A	604±21	0,33±0,05	2,15±0,18	0,123±0,03	0,60±0,07	11,30±0,07

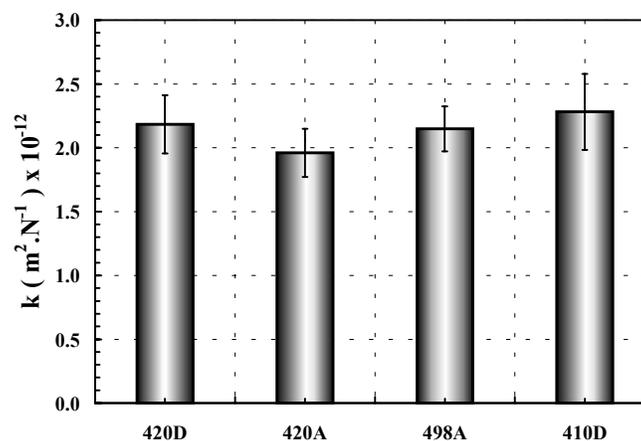


Figura 5. Coeficientes de desgaste em micro abrasão.

Análises ao MEV mostraram a presença dominante de indentações repetidas características do mecanismo de rolamento das partículas abrasivas na interface [1-5] Como a constância do mecanismo não explica a grande diferença de comportamento procurou-se aprofundar o entendimento deste mecanismo através

da realização de perfis de microdureza em seções transversais dos corpos de prova, regiões adjacentes ao fundo das calotas esféricas, Figura 6.

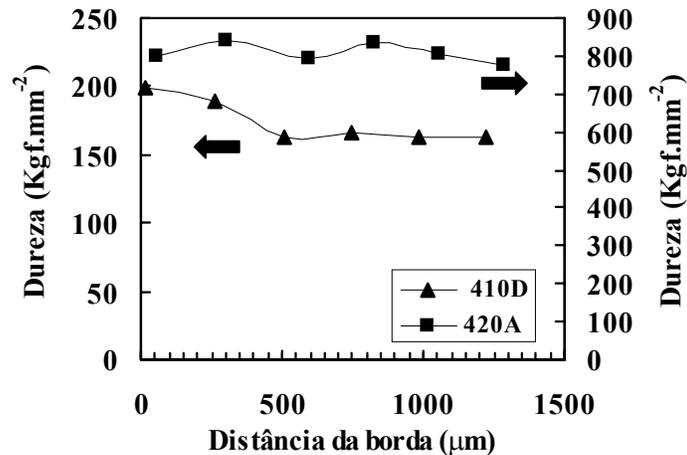


Figura 6. Perfis de micro dureza em seções transversais a partir do fundo da calota gerada pela micro abrasão.

Constata-se que a evolução da dureza do aço 420A, martensítico é praticamente constante ao longo do perfil ao passo que a amostra 410D muito embora apresente um valor baixo de dureza volumétrica (≈ 160 Hv) sofreu um significativo endurecimento superficial (cerca de 25%) por profundidades consideráveis (200 μm).

Esta capacidade de endurecimento por deformação pode explicar, como reportado na literatura [8], a boa resistência à abrasão desta liga.

A Figura 7 mostra o comportamento tribológico em ensaios de desgaste por deslizamento.

Neste caso, observa-se uma significativa variação da resistência ao desgaste por deslizamento que cresce na seqüência 420D, 410D, 498A, 420A, Figura 7-a. O coeficiente de atrito, no entanto, apresenta-se equivalente para todos os aços estudados, Figura 7-b.

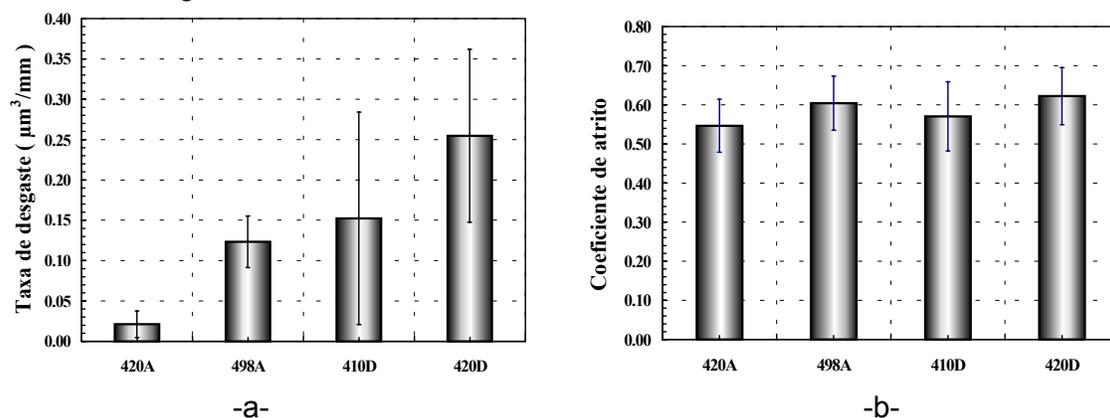


Figura 7. Comportamento tribológico em ensaios de deslizamento. a- Taxa de desgaste. b- Coeficiente de atrito.

Mais uma vez, não foi possível correlacionar os valores da taxa de desgaste com a dureza do material. Da mesma forma, nenhuma relação consistente foi encontrada com a topografia de superfície, representada pela rugosidade.

Pode-se constatar que a taxa de desgaste cresce com o potencial do contato, Figura 8. Este parâmetro é indicativo da presença (formação) de óxidos na interface de deslizamento, fato este confirmado pela análise ao MEV-EDX.

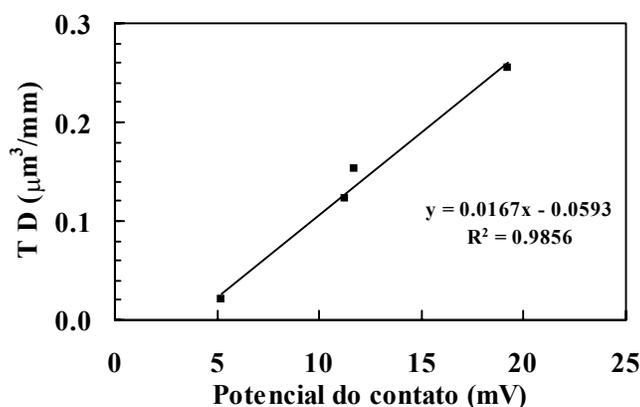


Figura 8. Influência do potencial do contato na taxa de desgaste em ensaios por deslizamento.

Observou-se, para todas amostras, a formação de regiões escuras no rasto de desgaste. Estas regiões são constituídas de óxidos como confirmado pelas imagens em elétrons retro-espalhados e pelos espectros de energia dispersiva. Desta forma, pode-se concluir que o desgaste por deslizamento destes aços está associado a formação de uma camada protetora de óxidos.

Muito embora os presentes resultados indiquem uma possível correlação com a quantidade de óxidos formado, estudos em andamento procuram correlacionar a taxa de desgaste com a natureza do óxido gerado na interface.

CONCLUSÕES

- 1- A técnica e o dispositivo propostos se mostraram adequados e confiáveis para a caracterização da capacidade de deformação plástica do gume;
- 2- O aço 498 apresentou o maior consumo de energia para gerar deformação plástica do gume;
- 3- Os aços 420A e 420D tiveram desempenho inferior e estritamente idênticos.
- 4- O coeficiente de desgaste médio em micro abrasão não varia significativamente entre as amostras;
- 5- O aço ferrítico, não obstante sua menor dureza, apresentou desempenho comparável aos martensíticos.
- 6- O mecanismo de desgaste dominante na micro abrasão foi o de indentações repetidas característicos do rolamento das partículas abrasivas na interface;
- 7- Perfis de microdureza em seções transversais dos corpos de prova mostram que o aço 410D sofreu um significativo endurecimento superficial. Esta capacidade de endurecimento por deformação pode explicar boa resistência à abrasão desta liga;
- 8- Observou-se uma significativa variação da resistência ao desgaste por deslizamento que cresce na seqüência 420D, 410D, 498A, 420A. O coeficiente de atrito, no entanto, apresenta-se equivalente para todos os aços estudados;

- 9- A taxa de desgaste por deslizamento cresce com o potencial do contato sugerindo que o desgaste por deslizamento destes aços está associado a formação de uma camada protetora de óxidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Rutherford, K. L. and Hutchings, I. M., *Journal of Testing and Evaluation*, (1997) 25, 250 - 260.
- 2 Trezona, R. I. and Hutchings, I. M., *Wear* (1999) 233 - 235, 209 - 221.
- 3 Trezona, R. I., Allsopp, D. N. and Hutchings, I. M., *Wear*, (1999) 225 - 229, 205 - 214.
- 4 Silva Jr, W.M, M. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, (2003) 102p.
- 5 Silva Jr, W. M., Binder, R. and de Mello, J. D. B, "Abrasive Wear of Steam Treated Sintered Iron", Apresentado na International Conference on Abrasive and Erosive Wear – ICEAWII, September 2003, Cambridge, UK, também *Wear*, (2005), 258 pp 166-177.
- 6 Bozzi, A. C., Binder, R. and de Mello, J. D. B, Proc. 6th International Tribology Conference -AUSTRIB'02, (2002) v. 1, 383-390, Perth, Australia.
- 7 Milan, J. C, Franco, S. D, Xavier, R. R, Carvalho, M. A. and de Mello, J. D. B, *Anais do XXXIX Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos*, (2002) v. 1, 137-146, Ouro Preto MG.
- 8 ZUM GAHR, K. H. Microstructure and Wear of Materials, (1987), Amsterdam, Elsevier, 560 p.

TRIBOLOGICAL CHARACTERIZATION OF STEELS FOR CUTLERY: A NEW METHODOLOGY TO ACCESS CUTTING EDGE SHARPNESS¹.

José Daniel Biasoli de Mello²

Paulo Sérgio de Sairre Bálamo³

Abstract

In this work, the tribological behaviour of stainless steel used in cutlery is analysed. Professional knives were tested in well-controlled field conditions and the mechanism of cutting edge loss of sharpness was determined by using Scanning Electron Microscopy. It was determined that the mechanism which causes loss of sharpness in the cutting edge is plastic deformation whereas the edge life itself is mainly affected by abrasive wear during the resharpening process and the sliding wear that occurs while the knife is being used. A new methodology based on the energy that causes plastic deformation is proposed in order to access the bending resistance of the cutting edge. The bending energy is determined by the variation of kinetic energy associated with the impact of a special pendulum against a specimen which was cut from a real knife. The proposed technique is very simple and cost effective. It reproduces to a great extent the field mechanisms that causes the loss of sharpness in the cutting edge and allows the ranking of different stainless steels usually used by the cutlery industry. Additionally, abrasive and sliding wear tests were carried out on martensitic and ferritic stainless steels which had different contents of Carbon and Chromium. Although the chemical composition and heat treatment considerably modified the microstructure and hardness of the steels, they had no significant effect on abrasion resistance and friction coefficient. On the other hand the sliding wear rate was greatly affected by the chemical composition of the steel.

Key-words: Tribology; Cutlery; Wear.

¹ Paper submitted to the 60th Congresso Anual da ABM – Belo Horizonte MG, Julho 2005.

² Professor Titular, Laboratório de Tribologia e Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Bloco 1R, 38400-902, Uberlândia MG,

³ Dr. em Engenharia Mecânica, Acesita S A, Praça 1^o de Maio, 9, Timóteo MG.