

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

José Daniel Biasoli de Mello ¹
Paulo Sérgio de Sairre Bálamo ²

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 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 inoxidáveis 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 permitindo a classificação de diferentes aços normalmente utilizados na cutelaria industrial.

Palavras-chave: Tribologia; Cutelaria; Desgaste.

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

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 re sharpening 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 stainless.

Key words: Tribology; Cutlery; Wear.

1 INTRODUÇÃO

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

Atualmente, instrumentos cortantes são avaliados internacionalmente por um dispositivo específico regulamentado pelo projeto de norma européia⁽¹⁾. Neste teste a lâmina corta, em condições controladas, um pacote de papel especial-

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

² Dr. em Engenharia Mecânica, Acesita S A, Praça 1º de Maio, 9, Timóteo MG.

mente produzido que contém 5% em volume de partículas de SiO₂. O ensaio produz 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 esses resultados foi proposta uma nova técnica capaz de simular, laboratorialmente, tais 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 a classificação de diferentes aços normalmente utilizados na cutelaria industrial. Adicionalmente, aços inoxidáveis 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.

2 TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

Foram realizados ensaios de campo em condições reais de utilização de facas industriais. As facas, adquiridas no comércio, foram fabricadas em aço 498 A. 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 1 mostra os diferentes estágios de utilização das facas analisadas por MEV.

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 Asso-

ciation) Sheffield, Inglaterra onde foram avaliadas de acordo com a norma européia.⁽¹⁾ 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 metodologia proposta pelo presente trabalho foram produzidas, industrialmente, facas especiais fabricadas em aço 498 A, 420 A e 420 D. No amolamento e afiação das facas foi utilizado intensa refrigeração e controle de dureza final. Estas facas 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 rotação do eixo motor foi mantida em 150 rpm. A metodologia do estabelecimento do regime permanente de desgaste e obtenção dos coeficientes de desgaste foi descrita em trabalhos recentes.⁽²⁻³⁾

Os ensaios de desgaste por deslizamento foram realizados em um tribômetro universal na configuração de deslizamento alternativo. Nestes ensaios, descritos detalhadamente em trabalhos recentes,⁽⁴⁻⁶⁾ uma esfera (aço 52100, φ=5 mm) é utilizada como contra-corpo. 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.⁽⁵⁻⁶⁾

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

Tabela 1. Estágios de utilização das facas analisadas.

Unidade	Situações Analisadas
Processadora	
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	

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

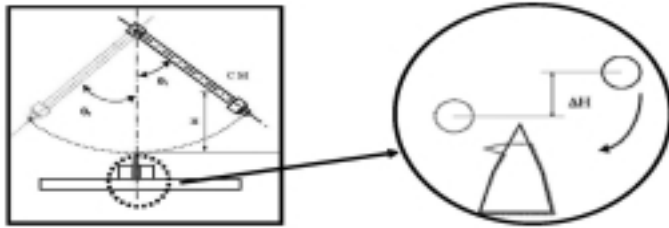


Figura 1. Princípio do teste.

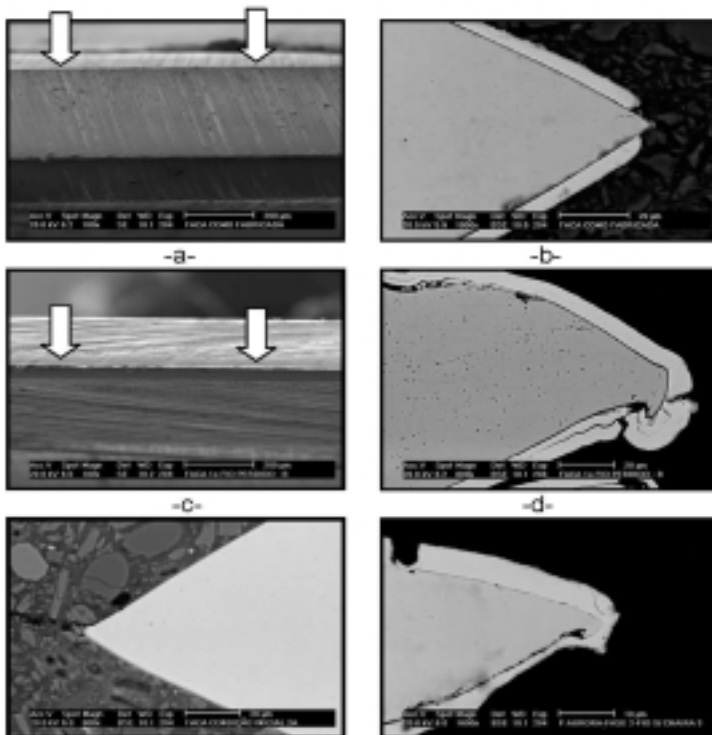


Figura 2. Aspectos típicos do gume cortante. MEV. a- Frigorífico Paladar - Timóteo MG, faca sem uso, vista superior. b- Seção transversal de a. c- Frigorífico Paladar - Timóteo MG, faca utilizada até perder o primeiro fio, vista superior. d- Seção transversal de c. e- Frigorífico Aurora - Maravilha SC, faca sem uso. f- Frigorífico Aurora - Maravilha SC, faca utilizada até perder o primeiro fio.

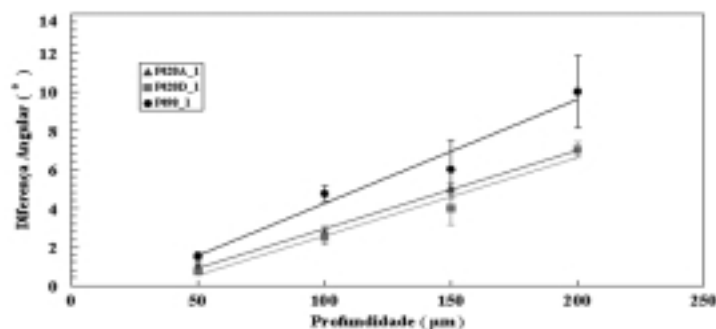


Figura 3. Efeito da profundidade de impacto na capacidade de deformação do gume cortante.

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.

O aço 410 D 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. Após 12 horas os aços foram submetidos a um revenido por 20 minutos a 250 °C.

A partir de aspectos típicos do gume cortante das facas industriais após ensaios reais no campo 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.

A energia de flexão foi determinada pela variação da energia potencial associada ao impacto de um pêndulo cilíndrico especialmente desenvolvido contra um corpo de prova extraído de uma faca real. A Figura 1 ilustra o princípio do teste.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 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 causador da perda da capacidade de corte da faca. Enquanto as facas novas, Figura 2-a, 2-b e 2-e, apresentam o gume agudo e afiado, as facas usadas apresentam o gume dobrado, Figuras 2-c, 2-d e 2-f, podendo a região deformada atingir dimensões entre 20 e 50 μm. Constatou-se, também, que a vida do gume é governada pelo desgaste abrasivo durante o amolamento e o desgaste por deslizamento durante a utilização.

A Figura 3 mostra o efeito da profundidade de percussão na diferença angular para os diferentes aços martensíticos estudados. O aço 498 A apresentou o maior consumo de energia (expresso pela diferença angular) para gerar deformação plástica do gume enquanto que os aços 420 A e 420 D tiveram desempenho inferior e estritamente idênticos.

A morfologia da deformação plástica produzida pelo ensaio de impacto, apresentada por aspectos típicos na Figura 4, reproduz, de forma marcável, 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.

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. Ainda que ele tenha apresentado a menor resistência a abrasão sua dureza é cerca de 5 vezes menor que a do aço 420 A que apresentou a maior resistência a abrasão.

Análises ao MEV mostraram a presença dominante de indentações repetidas características do mecanismo de rolamento das partículas abrasivas na interface.^(2,3,7-9) Como a constância do mecanismo não explica a grande diferença de comportamento procurou-se aprofundar o entendimento deste mecanismo. Foram obtidos perfis de microdureza em seções transversais dos corpos de prova, em regiões adjacentes ao fundo das calotas esféricas.

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

Esta capacidade de endurecimento por deformação pode explicar, como reportado na literatura,⁽⁶⁾ a boa resistência à abrasão desta liga.

A Figura 6 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 420 D, 410 D, 498 A, 420 A, Figura 6-a. O coeficiente de atrito, no entanto, apresenta-se equivalente para todos os aços estudados, Figura 6-b.

Mais uma vez, não foi possível correlacionar os valores da taxa de desgaste com a topografia de superfície ou a dureza do material.

Pode-se constatar que a taxa de desgaste cresce com o potencial do contato, Tabela 3. Este parâmetro é indicativo da presença (formação) de óxidos na interface de deslizamento, fato este confirmado pela análise ao MEV-EDX.

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.

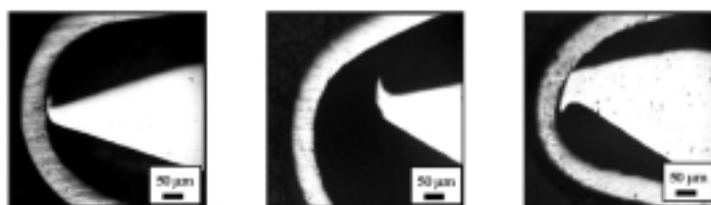


Figura 4. Aspectos típicos do gume cortante após ensaio de impacto. Seções transversais, microscopia ótica, profundidade de percussão 200 μm . a- Aço 498 A. b- Aço 420 A. c- Aço 420 D.

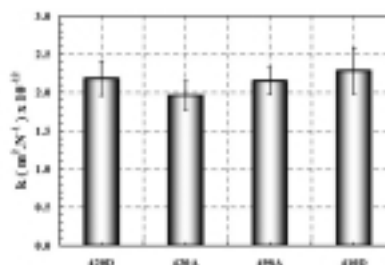


Figura 5. Coeficientes de desgaste em micro abrasão.

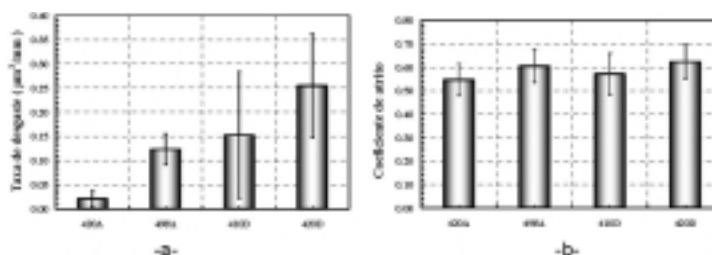


Figura 6. Comportamento tribológico em ensaios de deslizamento. a- Taxa de desgaste. b- Coeficiente de atrito.

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 ($\mu\text{m}^3/\text{mm}$)	Coeficiente de atrito	Pot. Contato (mV)
410 D	145 \pm 04	0,49 \pm 0,05	2,28 \pm 0,30	0,152 \pm 0,13	0,57 \pm 0,09	11,6 \pm 6,7
420 A	671 \pm 22	0,27 \pm 0,04	1,96 \pm 0,19	0,021 \pm 0,01	0,55 \pm 0,07	5,2 \pm 0,07
420 D	544 \pm 24	0,22 \pm 0,03	2,18 \pm 0,23	0,255 \pm 0,11	0,62 \pm 0,07	19,2 \pm 0,07
498 A	604 \pm 21	0,33 \pm 0,05	2,15 \pm 0,18	0,123 \pm 0,03	0,60 \pm 0,07	11,3 \pm 0,07

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 A apresentou o maior consumo de energia para gerar deformação plástica do gume;
- 3 - Os aços 420 A e 420 D tiveram desempenho inferior e estritamente idênticos.
- 4 - O coeficiente de desgaste médio em micro abrasão não varia significativamente entre as amostras;
- 5 - O aço 410 D sofreu um significativo endurecimento superficial. Esta capacidade de endurecimento por deformação pode explicar a boa resistência à abrasão desta liga;
- 6 - Observou-se uma significativa variação da resistência ao desgaste por deslizamento. 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

- 1 **BS EN ISO 8442**: Materials and Articles in Contact with Foodstuffs - Cutlery and Table Holloware. Part 5: Specification for sharpness and edge retention test of cutlery. S.I : s.ed. 1999
- 2 SILVA JUNIOR, W. M. **Efeito da pressão de compactação e tamanho do pó de ferro na microabrasão de ferro sinterizado oxidado a vapor**. 2003. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.
- 3 SILVA JUNIOR, W. M.; BINDER, R.; MELLO, J. D. B. Abrasive wear of steam treated sintered iron. **Wear**, v. 258, n.1-4, p.166-177, 2005
- 4 BOZZI, A. C.; BINDER, R.; MELLO, J. D. B. In: INTERNATIONAL TRIBOLOGY CONFERENCE -AUSTRIB'02, 6., 2002, Perth, Australia. **Proceedings...** S.n.t. v. 1, p. 383-390.
- 5 MILAN, J. C.; FRANCO, S. D.; XAVIER, R. R.; CARVALHO, M. A.; MELLO, J. D. B. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 34., 2002, Ouro Preto, MG. **Anais...** São Paulo : ABM, 2002. v. 1, p. 137-146.
- 6 ZUM GAHR, K. H. **Microstructure and wear of materials**. Amsterdam : Elsevier, 1987.
- 7 RUTHERFORD, K. L.; HUTCHINGS, I. M. Theory and application of a micro-scale abrasive wear test. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 25, n.2, p. 250-260, 1997.
- 8 TREZONA, R. I.; HUTCHINGS, I. M. Three-body abrasive wear testing of soft materials. **Wear**, v. 233-235, p. 209 – 221, 1999.
- 9 TREZONA, R. I.; ALLSOPP, D. N.; HUTCHINGS, I. M. Transitions between two-body and three-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. **Wear**, v. 225-229, p.205 – 214, 1999.

Recebido em: 22/12/05

Aceito em: 03/05/06

Proveniente de: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 60., 2005, Belo Horizonte, MG. São Paulo : ABM, 2005.