

# DESGASTE ABRASIVO DO AÇO AISI 8640 POR MEIO DE ENSAIOS DE RISCAMENTO CIRCULAR REPETIDO

Aloísio José Schuitek<sup>1</sup>  
 Márcia Marie Maru<sup>2</sup>  
 Daniel Hioki<sup>3</sup>  
 Amilton Sinatora<sup>4</sup>

## Resumo

Estudo de características importantes do desgaste abrasivo no aço AISI 8640, temperado e revenido (48 HRc) através da técnica de esclerometria. Os ensaios basearam-se em riscamentos circulares por passes repetidos, com a aplicação de pequenas cargas (até 1,0 N) e com a variação de materiais e geometrias dos indentadores. Para fazer a função de elementos abrasivos, foram utilizados indentadores na forma de cones de rubi sintético (ângulos de ataque de 25°, 45° e 60°) e diamante natural (ângulo de ataque de 45°). Especificamente, objetivou-se investigar os campos de ocorrência dos mecanismos de abrasão e as influências dos parâmetros de processo nas situações de *interface* entre a deformação elástica e plástica, ou seja, o início do sulcamento e o corte. Para isso, também foram feitas medições da força de atrito e de perfis dos sulcos, avaliações da integridade da superfície desgastada e correlações entre o endurecimento superficial do material mais mole com a força de atrito e o desgaste.

**Palavras-chave:** abrasão, riscamento, esclerometria.

## Abrasive Wear of AISI 8640 Steel by Means of Repeated Rircular Scratching Test

### Abstract

Study of important characteristics of abrasive wear on AISI 8640 steel, quenched and tempered (48 HRc) through sclerometry technique. Tests were based on circular scratchings by repeated cycles, with the application of small loads (up to 1,0 N) and the variation of materials and geometries of indenters. Cone-shaped indenters of synthetic ruby (attack angles of 25°, 45° and 60°) and natural diamond (attack angle of 45°), were used as elements abrasive. Specifically, the objective was to investigate the fields where abrasion mechanism occurred and the influences of process parameters on interface situations between elastic and plastic deformation, that is the beginning of ploughing and cut. For that, measurements of friction force and groove profiles were made, and also, evaluations of worn surface integrity, and correlations between surface hardening of softer material, friction force and wear.

**Key-words:** abrasive wear, scratching, sclerometry.

## INTRODUÇÃO

A técnica de esclerometria consiste da aplicação de testes de riscamentos com indentadores duros e de geometria simples para simular o desgaste abrasivo (Pereira *et al.*, 1999, p. 1).

A esclerometria permite a previsão dos mecanismos de remoção de material nas condições de abrasão e o entendimento da ação de forças na partícula abrasiva, da morfologia do escoamento do material em volta do sulco, da interação lubrificante-partícula abrasiva e das

diferenças de comportamento dos microconstituintes. A esclerometria pode ser retilínea, rotativa ou pendular. Na rotativa, a fixação do penetrador é normal ao disco, o qual sob rotação produzirá sucessivos riscos na superfície da amostra. Esse tipo de esclerometria é geralmente utilizada em estudos de usinagem por abrasão (PEREIRA *et al.*, 1999, p. 2).

Em uma análise do desgaste abrasivo na retificação, König (1991, p. 9) indica que as arestas dos abrasivos penetram a superfície do material em uma trajetória quase plana. Inicialmente têm-se apenas deformações elásticas, posteriormente encontra-se uma região onde, devido às deformações plásticas, ocorrem escoamentos do material. Em decorrência do arredondamento da aresta do abrasivo, o ângulo entre

<sup>1</sup>Professor do Cefet-PR – Doutorando de Engenharia Mecânica/ Universidade de São Paulo (aloisio@cefetpr.br);

<sup>2</sup>Pós-Doutoranda em Engenharia Mecânica/ Universidade de São Paulo (mmmaru@usp.br);

<sup>3</sup>Professor do CEFET-PR – Doutorando de Engenharia Mecânica/ Universidade de São Paulo (hioki@cefetpr.br);

<sup>4</sup>Professor de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (sinatora@usp.br);

o contorno do abrasivo e a superfície de trabalho inicialmente é muito pequeno e na primeira parte não se forma um cavaco. O material é simplesmente empurrado para os lados e se formam rebarbas e/ou escoas por baixo do grão abrasivo no sentido do flanco do mesmo.

Segundo Hutchings (1992, p. 146), os mecanismos envolvidos na abrasão podem ser descritos pelo modelamento de Challen e Oxley, que consideram três modos distintos de deformação: corte (remoção em forma de cavacos), sulcamento (não há remoção de material da superfície – o material deformado escoas sob a partícula) e um intermediário, a formação de proa (onde ocorre pequena remoção de material).

Segundo Xie e Williams (1995, p. 21), quanto mais aguda é a aspereza, para ângulos de ataque menores que um valor crítico, o modo de deformação muda para plástico em vez de elástico e é chamado de *ploughing* ou sulcamento: todo o material deslocado pela passagem da aspereza é arrastado em cristas laterais. Com a repetição do sulcamento, acumulam-se defeitos estruturais no interior da superfície mole levando a produção gradual de “debris” de desgaste. Quando uma aspereza é suficientemente aguda (ângulo de ataque maior que o valor crítico) causa microcorte, ou seja, uma parte do material deslocado é perdida imediatamente da superfície mais mole na forma de cavacos, enquanto que o resto continua arrastado formando cristas laterais.

Nesse trabalho, realizaram-se estudos de esclerometria para esclarecer alguns dos mecanismos de abrasão presentes na retificação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

- Ensaios de riscamento circular, a seco, com passes repetidos;
- Tribômetro: Plint TE79;
- Material: aço AISI 8640, temperado e revenido – 48 HRC;
- Discos de 75 mm de diâmetro e 8 de espessura – raios: de 12mm a 30 mm;
- Indentadores: cones de rubi sintéticos com topos planos, ângulos de ataque de 20° e 45° e 60° (diâmetros dos topos de aproximadamente 200, 400 e 300 µm, respectivamente). Cone de diamante natural com topo em forma de calota com raio aproximadamente 50 µm;
- Cargas normais (por pesos mortos):  $W = 0,1; 0,2; 0,5; 1,0$  N;
- Velocidade de riscamento tangencial:  $V_t = 0,13$  a  $0,60$  m/s;
- Tempos de riscamento:  $t = 159$  a  $2000$  s e Medição de coeficientes e forças de atrito, perfil dos riscos em rugosímetro, medição de microdureza e análise de superfícies em microscópio ótico.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Coeficiente de Atrito

Os coeficientes de atrito nos ensaios de riscamento apresentaram, na maioria dos casos, amplitudes de variação e

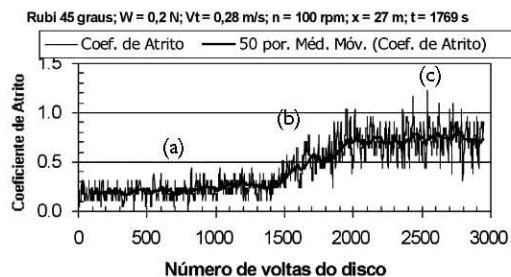


Figura 1. Alterações do coeficiente de atrito em ensaio de riscamento

valores unitários extremamente elevados para os padrões normalmente encontrados na literatura (Figura 1). Isso provavelmente advém das pequenas cargas utilizadas nos ensaios e do tribômetro não dispor de um sistema de medição da variação da carga normal no decorrer do processo. Por isso, na maioria dos resultados, apresentam-se apenas as forças de atrito (apesar disso dificultar as comparações em ensaios de variação de carga). Para facilitar a visualização, em alguns gráficos, serão mostradas apenas as curvas médias de tendência, seja por uma aproximação polinomial de 5ª ordem ou por de médias móveis de 50 pontos.

Para os ensaios em que se utilizaram rubis como indentadores, foi verificado um comportamento comum na alteração do coeficiente de atrito e da força de atrito com o tempo de riscamento ou número de voltas do disco, sendo identificadas três estágios bem distintos (Figura 1). Na primeira etapa do ensaio de riscamento não ocorrem alterações significativas nos valores médios do coeficiente de atrito (A). A seguir, verifica-se uma região de aumento pronunciado (B) e culmina-se em uma terceira condição com o retorno a baixas taxas de aumento nos valores, similar à primeira, mas com tendência maior de aumento do coeficiente de atrito com o decorrer do tempo de riscamento (C).

### Influência da Velocidade de Riscamento

A variação da velocidade tangencial nos ensaios de riscamento realizados, como pode ser verificada na Figura 2 para valores de  $0,13$  a  $0,31$  m/s, não apresentou uma influência clara (ou pelo menos uma tendência simples) sobre o comportamento da força de atrito, uma vez que para  $V_t = 0,60$  m/s a curva resultante apresenta posição intermediária em relação às anteriores.

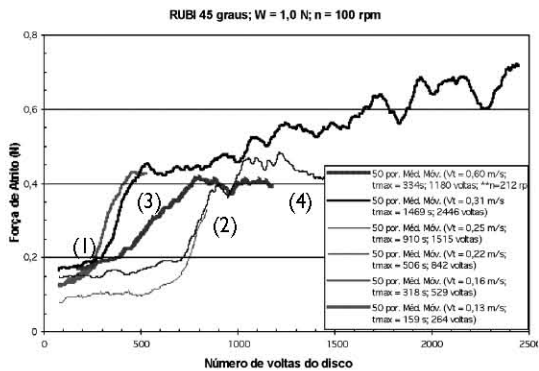


Figura 2. Influência da velocidade tangencial na força de atrito

Presume-se que outros fatores inerentes ao processo são mais relevantes, como por exemplo, a estabilização da ponta do indentedor.

Durante os ensaios de variação da velocidade tangencial de riscamento, percebeu-se que os sulcos não eram formados logo no início do ensaio e apenas no início do terceiro estágio (mencionado no item 3.1), ou seja, quando os valores de atrito passaram por um campo de alto crescimento e tendiam a uma condição um pouco mais estável. Como esses ensaios eram realizados com tempos diferentes (originalmente buscava-se estudar a variação do encruamento superficial) foi possível estudar melhor esse comportamento por meio de medições da microdureza, dos perfis dos riscos e a análise microscópica.

A análise das superfícies de riscamento de 4 condições de ensaios indicadas na Figura 2 (que representam os estágios de variação da força de atrito) mostra pelas suas micrografias (Figura 3) e por seus perfis (Figura 4) que apenas no início do terceiro estágio da variação da força de atrito, (C) da Figura 1, é que se inicia a remoção de material, com desprendimento de cavacos e a formação de cristas laterais. Nas medições de forma do risco, passa-se de um perfil de rugosidade para a forma de um sulco. Essas observações indicam que se passa de um estado de deformações elásticas para plásticas, ou seja, o início do sulcamento e micro-corte.

Uma explicação para o fenômeno pode ser sugerida através da alteração da microdureza nesses ensaios, apesar da difícil medição decorrente da textura elevada. No início do riscamento, praticamente não há alteração da microdureza (48HRc a 50 HRc). No estágio seguinte, devido ao encruamento do material,

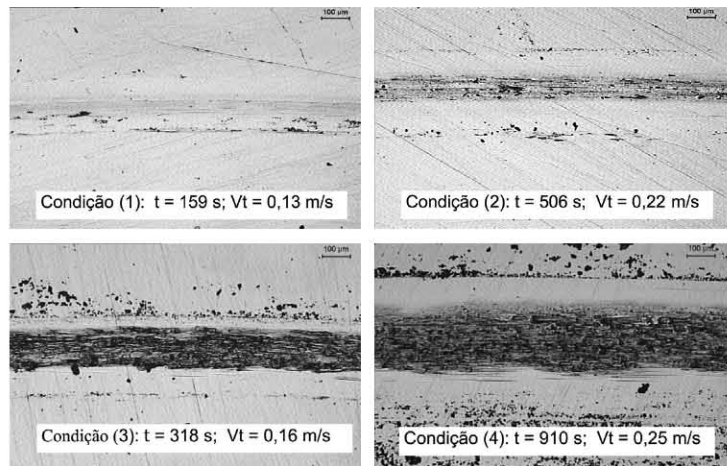


Figura 3. Superfícies de riscamento das condições escolhidas

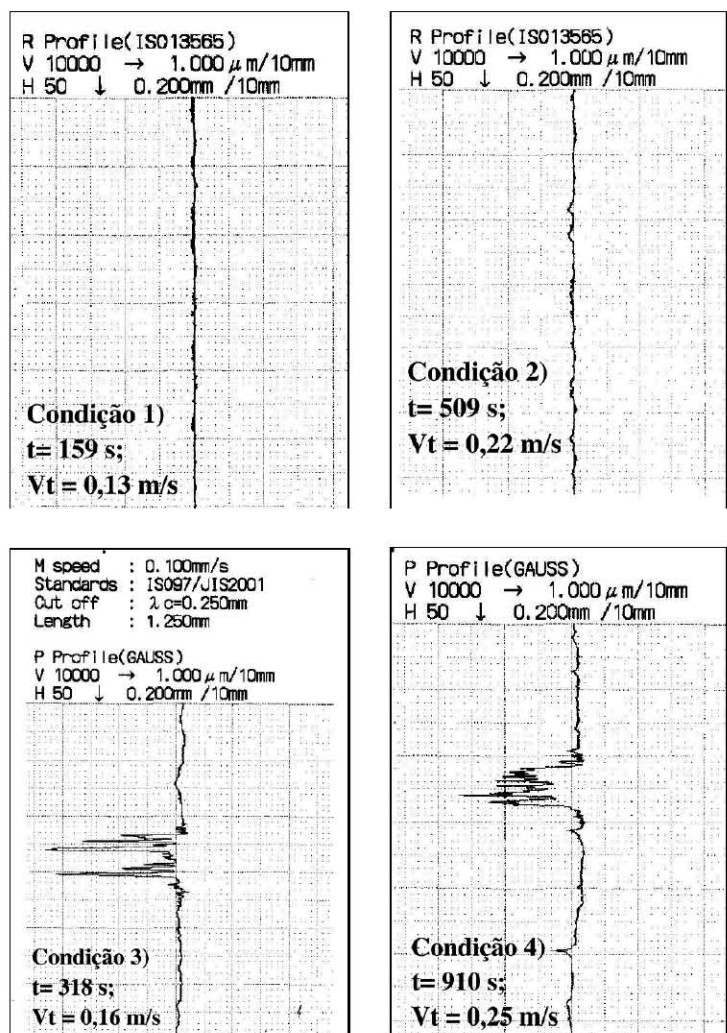
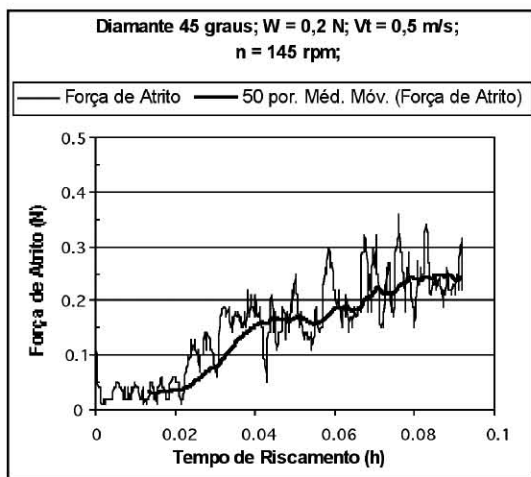


Figura 4. Perfis dos riscos das condições escolhidas

são observadas durezas superficiais da ordem de 53 HRc a 55 HRc, entretanto, pode-se verificar o início de oxidações. Nos ensaios após o início de sulcamento e corte, as superfícies dos riscos



Indentador de Diamante 45 graus  
 $W = 0,2 \text{ N}$ ;  $Vt = 0,5 \text{ m/s}$ ;  $n = 145 \text{ rpm}$

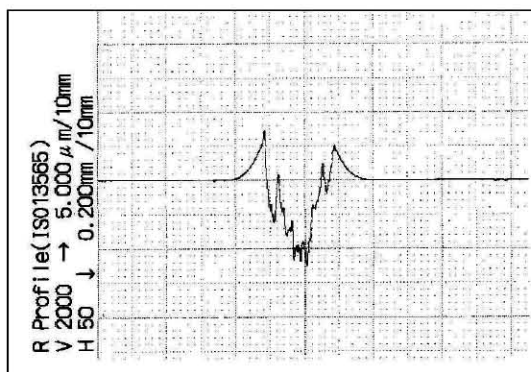


Figura 5. Evolução das forças de atrito no riscamento com indutor de diamante e exemplo de perfil dos sulcos com cristas laterais

apresentam uma grande quantidade de superfícies oxidadas com microdurezas bem mais baixas que as anteriores (27 HRC a 32 HRC), rodeadas por regiões altamente encruadas (50 HRC a 59 HRC). Essas regiões de menor dureza devem facilitar a penetração de asperezas do indutor e originar a remoção mais efetiva de material. Ensaios mais longos apresentaram também essa configuração de superfícies endurecidas cada vez mais envolvidas por materiais oxidados, mas com valores médios de microdureza progressivamente maiores – as irregularidades da superfície aqui inviabilizam a confiança nos resultados de medição.

Para os ensaios executados com indutores de diamante, já em tempos muito pequenos se observa a formação de sulcos e não se constata completamente o comportamento descrito anteriormente para as curvas de atrito anteriores (Figura 5). Essas diferenças provavelmente advêm da maior agressividade desse contato, já que os indutores de diamante possuem um topo em forma de calota (poucos pontos iniciais de contato), enquanto que os de rubi possuem um topo plano. Os perfis resultantes do

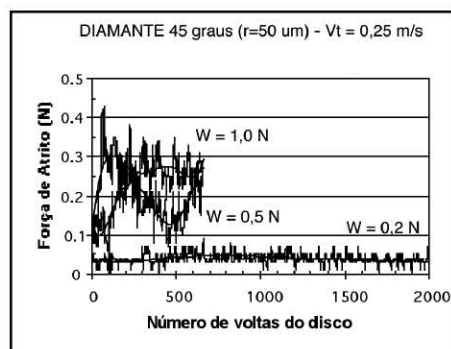
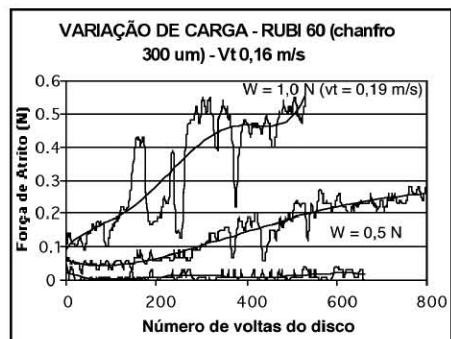
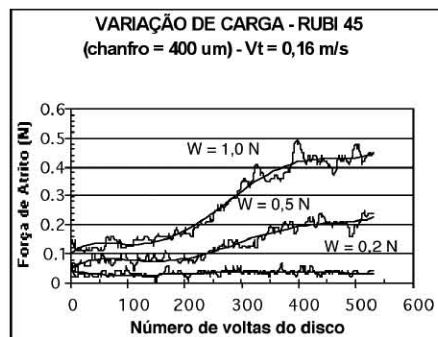
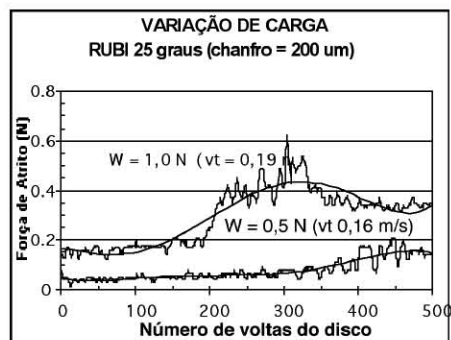


Figura 6. Influência dos ângulos de ataque dos indutores e da carga normal

riscamento com indutores de diamante geraram facilmente a formação de cristas laterais (elevações nas laterais dos sulcos) – consequência da deformação plástica do mecanismo de abrasão (Figura 5).

A variação da velocidade rotacional do disco – da qual se esperava importante efeito sobre o comportamento tribológico (por envolver

a ciclagem ou deformação imposta à superfície em cada volta do disco) – não apresentou efeitos consistentes.

### **Influência da Carga Normal e dos Ângulos de Ataque**

As influências na variação das cargas normais nos ensaios de riscamento com indentadores de rubi e diamante confirmaram as expectativas de crescimento das forças de atrito com o aumento das cargas (gráficos da Figura 6).

Os ensaios de riscamento com a variação dos ângulos de ataque dos indentadores de 25°, 45° e 60° não demonstraram efeitos tão claros sobre o comportamento das curvas de força de atrito (gráficos da Figura 6). Ocorreram normalmente reduções nos valores quando se utilizaram os maiores ângulos como era esperado, mas esse efeito foi mais visível principalmente quando se utilizaram as maiores cargas normais. Entretanto, vale ressaltar que para o indentador

de 60° foram observadas as maiores oscilações das forças de atrito de todos os ensaios, provavelmente decorrentes de sua menor rigidez e que devem facilitar a ocorrência de lascamentos.

### **Considerações Finais e Recomendações**

Estudos dessa natureza exigem a aplicação de cargas normais muito reduzidas. Com isso, corre-se o risco dos erros de medição dos tribômetros normalmente disponíveis afetarem decisivamente no entendimento dos mecanismos de processo envolvidos;

Verificou-se que existe a necessidade de se utilizar superfícies polidas nos corpos de prova, ou seja, ter-se baixos valores de rugosidade e excelente planicidade. Superfícies com rugosidades excessivas facilitam o início do sulcamento e corte (como verificado nos pré-testes) e podem mascarar os resultados, já que esses sulcos – devido à preparação – não são normalmente uniformes na superfície e

Os indentadores devem ter grande precisão de fabricação para garantir repetibilidades de resultados e isso não é tão fácil de se conseguir. Além disso, a sua fixação no tribômetro deve ser muito rígida. Em pré-testes com indentadores de rubis mal fixados, a instabilidade da movimentação gerou o início de corte em cargas muito menores que as verificadas posteriormente.

## **CONCLUSÕES**

As principais conclusões obtidas sobre o comportamento da abrasão no início dos mecanismos de sulcamento e corte no aço 8640 temperado e revenido (48 HRC) através do riscamento circular com passes repetidos são:

A utilização de indentadores com topos planos tende a atrasar o início do corte, possibilitando a identificação dos campos de deformação elástica e plástica. Isso em parte é positivo já que se pode fazer correspondência com abrasivos que já se encontram desgastados (por exemplo, de rebolos). Contudo, os mecanismos de abrasão envolvidos nesse caso podem ser diferentes, como o verificado nesse trabalho com a oxidação da superfície antes de se iniciar o sulcamento e o corte e

Em ensaios com indentadores com topos planos paralelos às superfícies a serem riscadas, parece haver uma correspondência entre o início do sulcamento e o corte com o segundo patamar de estabilidade das curvas de forças de atrito.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- HUTCHINGS, I. M. **Tribology**: friction and wear of engineering materials. London: Edward Arnold, 1992.
- KONIG, W. **Retificação, brunimento e lapidação**. Florianópolis: Curso de Engenharia Mecânica da UFSC, 1991. Tradução de Walter Lindolfo Weingaertner
- PEREIRA, C.; GUIMARÃES, G.; CORDEIRO, L.; REIMBERG, R.; UEMURA, V. **Esclerometria**. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1999. Apostila da Disciplina de Tribologia, do curso de Engenharia Mecânica, EPUSP.
- XIE, Y.; WILLIAMS, J.A. The prediction of friction and wear when a soft surface slides against a harder rough surface. **Wear**, v. 196, n.1-2, p. 21-34. Aug. 1995.