

8. CONCLUSÕES

O campo de pesquisas possível com a utilização de métodos esclerométricos é muito vasto. Muitas são as possibilidades de investigação, com tempos reduzidos para execução dos experimentos e, sobretudo a possibilidade de obtenção de resultados importantes, seja do ponto de vista científico ou tecnológico.

As principais conclusões que são obtidas deste trabalho no riscamento de materiais metálicos com a utilização de cargas normais reduzidas e com vários tipos de indentadores são as seguintes:

1 – A principal conclusão do trabalho é a comprovação de mais uma transição nos modos de desgaste, diferente da obtida inicialmente por Hirst e Lancaster (1956) nas substanciais alterações das taxas de desgaste pelo aumento do carregamento ou a de Khruschov (1957) na transição dos regimes moderado e severo de desgaste em dependência da razão entre dureza do abrasivo e dureza do material antes do ensaio (H_a/H). Essa transição é a passagem de um tipo de desgaste por deslizamento para um desgaste abrasivo.

- No *Estágio I* ou *Desgaste "Zero"*, onde o material apresenta pouco endurecimento superficial e os mecanismos e comportamentos são de deslizamentos, especificamente em um desgaste moderado.
- No *Estágio II* ou *Desgaste em Regime Permanente* estão presentes todos os mecanismos usuais de desgaste, mas a característica pode ser de um desgaste do tipo abrasivo, onde a partícula abrasiva ou indentador é o responsável pela remoção de material, como visto na formação de sulcos nas condições de

riscamento em que o mecanismo predominante de desgaste foi por abrasão e por deformação plástica acumulada.

2 – É possível acompanhar experimentalmente o início do desgaste mensurável de material pelo acompanhamento das alterações da força de atrito em diversas situações. Em cargas muito reduzidas, as diferenças nas forças entre o *Estágio I* e a *Transição* são muito pequenas e a identificação é difícil. Entretanto, pode-se distinguir a *Transição* na maioria dos ensaios realizados e foi coerente com os resultados de verificação de perfil geométrico e microscopia óptica nos materiais metálicos analisados.

A exceção ao procedimento de identificação da *Transição* coube aos ferros fundidos cinzento e vermicular, em que o comportamento de desgaste no riscamento a baixas cargas é diferente dos demais, Possivelmente decorrente da lubrificação sólida provocada pelo desprendimento de gráfica de seus veios e ao retorno elástico das bordas dos veios de grafita. Entretanto, essas explicações para os ferros fundidos carecem de comprovação.

3 – Os principais fatores que determinam a predominância de um ou outro mecanismo de desgaste atuante identificados foram: carga normal, material de ensaio, geometria do indentador e meio interfacial. Pelos mecanismos de desgaste envolvidos, presume-se que a velocidade tangencial também seja importante em valores maiores dos aqui praticados.

4 – Verificou-se a influência marcante da forma geométrica dos indentadores em relação à predominância de desgaste gerada nos riscamentos:

- Indentadores tronco de cone: os mecanismos de desgaste predominantes são os normalmente obtidos no deslizamento (oxidação, adesão e deformação plástica

acumulada); Em cargas normais maiores, a tendência é ocorrer predominância do mecanismo de desgaste por abrasão.

- Indentadores semi-esféricos: predomina o mecanismo por abrasão, mesmo em cargas reduzidas. Nesse caso, entretanto, há indicações que os outros mecanismos também estão presentes.

5 - Com cargas reduzidas podem ocorrer todos os mecanismos de desgaste no riscamento e para cargas elevadas a tendência é um desgaste por abrasão. Não se utilizaram nos ensaios cargas que iniciassem o movimento já com um mecanismo de desgaste por abrasão, entretanto essa é a tendência ao se analisar os gráficos de variação de força. Com o aumento da carga normal, um menor número de ciclos é necessário para se atingir a Transição .

6 – Comprovou-se a grande influência do meio interfacial sobre alterações nos mecanismos predominantes de desgaste. Apenas com a redução da umidade relativa do ar foi possível mudar uma predominância de mecanismo de desgaste por oxidação para desgaste por adesão.

7 – Uma partícula abrasiva desgastada (como a forma de um tronco de cone) pode levar a formação de mais de um sulco em decorrência das maiores tensões de contato estarem localizadas na periferia do indentador.

8 – A análise dos materiais metálicos mostra que existe uma competição ou sinergia entre os mecanismos de desgaste para gerar o desgaste resultante. Riscamentos com indentadores em tronco de cone em materiais metálicos que tendem a formar óxidos porosos (como o aço 0,4 % C

de baixa liga), normalmente se caracterizaram pela predominância do mecanismo de desgaste por oxidação, mas quando se reduziu a umidade relativa do ar, o mecanismo de desgaste por adesão prevaleceu, já que não há oxigênio suficiente para reações químicas que formem de óxidos. Comportamentos similares ao descrito também foram verificados nas ligas de alumínio, que formam óxidos finos e resistentes. Outro exemplo de sinergia é encontrado em condições de ensaio que facilitassem a adesão, como a redução do ângulo de ataque e o aumento da área de contato tenderam a provocar mais facilmente o desgaste por deformação plástica acumulada.

9 – As principais conclusões obtidas sobre o desgaste por deformação plástica acumulada são as seguintes:

- Identificou-se uma combinação de fatores para a ocorrência: materiais dúcteis, condições de deslizamento que não atinjam as temperaturas de oxidação, mas favoreçam a deformações plásticas (como por uma recristalização dinâmica do material), características de contatos que favoreçam mecanismos de adesão, mas sem que essas predominem no mecanismo de desgaste resultante;
- Foram confirmados os relatos da literatura (Kapoor e Johnson, 1994), de que esse desgaste ocorre quando as pressões de contato e o coeficiente de atrito são reduzidos. Entretanto, apenas essas duas características não garantem a ocorrência deste tipo de desgaste, por exemplo no riscamentos de ferros fundidos não apresentaram esse desgaste;
- Nos modelos encontrados na literatura nenhum é completo na explicação do desgaste por deformação plástica acumulada;
- A morfologia do desgaste por deformação plástica acumulada apresenta grande similaridade com um micro-mecanismo de formação de proa do desgaste por abrasão.

9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- riscamentos a baixas cargas em materiais não endurecíveis por deformação com indentadores em tronco de cone: possibilidade de análise de mecanismo de desgaste por fadiga;
- riscamentos em revestimentos extra-duros: verificar situações controladas de destacamento de camada (teste de resistência da camada);
- riscamento de ferros fundidos: melhor entendimento dos comportamentos de desgaste.
- esclarecimento sobre o tipo de desgaste de deformação plástica acumulada: pela complexidade do mecanismo e confirmação das condições necessárias para ocorrência;