

## **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA INTERLAMELAR DA PERLITA NO DESGASTE POR DESLIZAMENTO EM ENSAIOS DO TIPO PINO-DISCO**

Ana Paula Gonçalves Chaves

Av. prof. Mello Moraes nº 2463, CEP 05508-030, São Paulo – SP.

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Poli – USP São Paulo

Prof. Dr. Hélio Goldenstein

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Poli – USP São Paulo

Prof. Dr. Amilton Sinatora

Departamento de Engenharia Mecânica, Poli – USP São Paulo

### **RESUMO**

*A pesquisa relativa ao transporte ferroviário no Brasil tem se intensificado nos últimos anos visando principalmente a melhoria no desempenho do par roda-trilho. Quanto maior a carga transportada, mais severos serão os danos causados na superfície de contato roda-trilho. O presente trabalho pretende analisar o efeito da variação da distância interlamelar da perlita na resistência ao desgaste e caracterizar a superfície de desgaste utilizando ensaios pino-disco (deslizamento puro e sem lubrificação). Foram utilizados pinos perlíticos de aço alto carbono similar ao utilizado em rodas convencionais classe C da AAR com durezas médias entre 220HV e 400HV. Foi possível verificar que a taxa de desgaste do pino é inversamente proporcional à dureza da perlita, ou seja, a taxa de desgaste é maior em aços perlíticos com espaçamento interlamelar maior (perlita grosseira). Observou-se nos pinos em regiões próximas à superfície que a perlita foi severamente deformada na direção de deslizamento.*

Palavras-chave: distância interlamelar da perlita, desgaste por deslizamento, ensaio pino-disco.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, percebe-se um aumento da demanda para utilização do transporte ferroviário pesado (movimentação de minérios, carvão e grãos). Rodas classe C conforme padrão AAR são utilizadas para esse tipo de implementação; tais rodas são fabricadas em aço com alto teor de carbono através de processos de fundição ou de forjamento e apresentam uma microestrutura perlítica. (1)

Como alternativa para reduzir o custo desse tipo de transporte propõe-se aumentar a carga transportada por eixo. Porém quanto maior a carga transportada, mais severos serão os danos causados na superfície de contato roda-trilho. Assim é necessário que as rodas e trilhos possuam maior resistência à fadiga de contato e também que as rodas possuam resistência ao desgaste tanto na banda de rodagem quanto na região de aplicação do freio. (2)

No sistema roda-trilho podem ser observados dois tipos distintos de condições cinemáticas. Na região da pista de rolamento é aplicada uma carga vertical, ocorrendo tanto rolamento como deslizamento. Já na região do flange a carga aplicada é lateral e ocorre rolamento combinado com deslizamento, principalmente durante as curvas na trajetória. Assim ocorre desgaste por deslizamento na região de contato do flange com o trilho. Estudos mostraram que em aços a diminuição do espaçamento interlamelar da perlita aumenta a resistência ao desgaste por deslizamento. (3) (4)

Esse trabalho tem como objetivo o estudo da resistência ao desgaste por deslizamento de aços com microestruturas puramente perlíticas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais utilizados

Foram utilizados como pino corpos de prova de aço SAE 1080. Os pinos são cilindros maciços com 10mm de comprimento e 4mm de diâmetro. Os discos utilizados para o ensaio são de aço ABNT H13 com dimensões de 5mm de espessura, 70mm de diâmetro e furo central para fixação com diâmetro de 8mm. Na Tabela 1 observa-se a composição química dos pinos.

Tabela 1 - Composição química dos pinos (% em massa)

Elemento químico	S	C	Mn	P	Si	Al	N
% em massa	0,0062	0,8010	0,5111	0,0073	0,1780	0,0002	0,0029

### Tratamentos térmicos

Os pinos foram submetidos a tratamentos térmicos utilizando um dilatômetro Bähr modelo DIL805A. Os corpos de prova foram aquecidos a uma taxa de 10°C/s até o patamar de temperatura de 800°C. Foram mantidos nessa temperatura por 5 minutos e resfriados a uma taxa de 150°C/s, com a utilização de um fluxo de gás hélio, até os patamares isotérmicos de 700°C, 625°C e 550°C. Cada corpo de prova permaneceu nesse patamar de temperatura até que as transformações cessassem, por fim foram resfriados ao ar. A microestrutura final obtida é totalmente perlítica. Os discos foram submetidos a tratamentos térmicos de têmpera e revenido com o objetivo de obter uma dureza superficial mínima de 600HV.

### Ensaio de desgaste por deslizamento

Os ensaios de desgaste foram realizados no equipamento de desgaste do tipo pino contra disco modelo PLINT TE-79. Foi aplicado um carregamento de 10 N nos pinos. A velocidade de rotação do disco era de 190rpm e o raio da pista de deslizamento do disco 25mm; assim atingiu-se uma velocidade de deslizamento de 0,5m/s. O tempo de duração dos ensaios foi de 3600 segundos, portanto obteve-se uma distância de deslizamento de 1800m. Cada condição foi repetida cinco vezes. (5)

No início de cada ensaio, foi realizado o assentamento dos pinos com a utilização de lixas 220 com a finalidade de obter a mesma área de contato inicial em todos os ensaios. A perda de massa dos pinos foi medida com a utilização de uma balança de precisão Mettler Toledo XP205.

### Análises mecânicas e microestruturais

As microestruturas antes do ensaio pino-disco e a superfície perpendicular à superfície desgastada foram analisadas com um microscópio eletrônico de

varredura MEV-FEG Inspect50. As superfícies desgastadas foram analisadas com uma Lupa com câmera Nikon DXM1200F.

As medidas de microdureza da microestrutura antes do ensaio e da região deformada dos pinos foram obtidas a partir de um microdurômetro Shimadzu HMV-2TQDW. Foram realizadas 30 medições de microdureza Vickers para cada amostra com aplicação de uma carga de 1 grama durante um período de 10 segundos. (6)

A distância interlamelar da perlita foi determinada a partir de imagens de três diferentes regiões para cada condição de ensaio. Traça-se uma linha sobre a perlita com menor distância interlamelar, dividindo o tamanho total da linha pelo número de intersecções com as lamelas de cementita obtém-se a distância interlamelar média da perlita (método da intersecção aleatória). (7)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Microestrutura dos pinos

A Figura 1 contém imagens das microestruturas obtidas através do MEV. Observam-se estruturas perlíticas, percebe-se que a distância interlamelar da perlita aumenta com o acréscimo da temperatura de tratamento de cada patamar isotérmico, ou seja, o espaçamento interlamelar da perlita é diretamente proporcional à temperatura de transformação (super-resfriamento). (8)

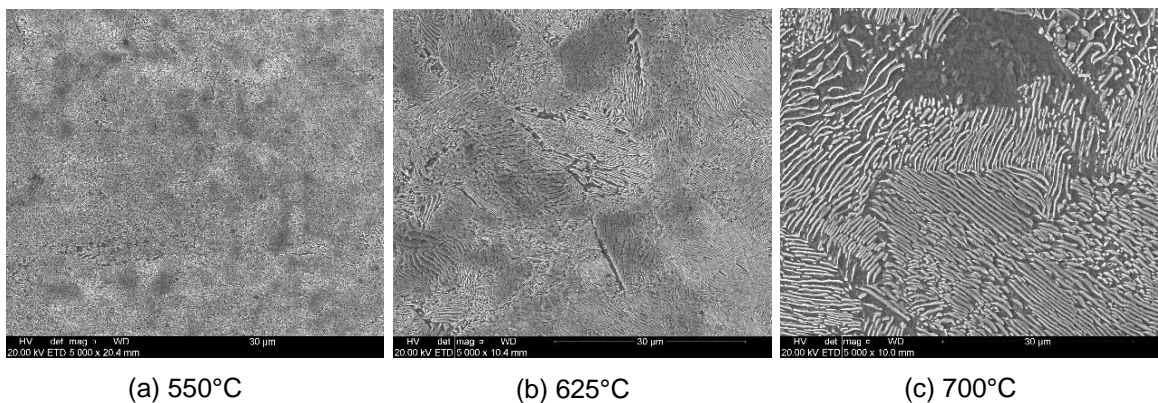


Figura 1 - Microestruturas dos pinos tratados em patamares isotérmicos de 550°C, 625°C e 700°C respectivamente obtidas no MEV.

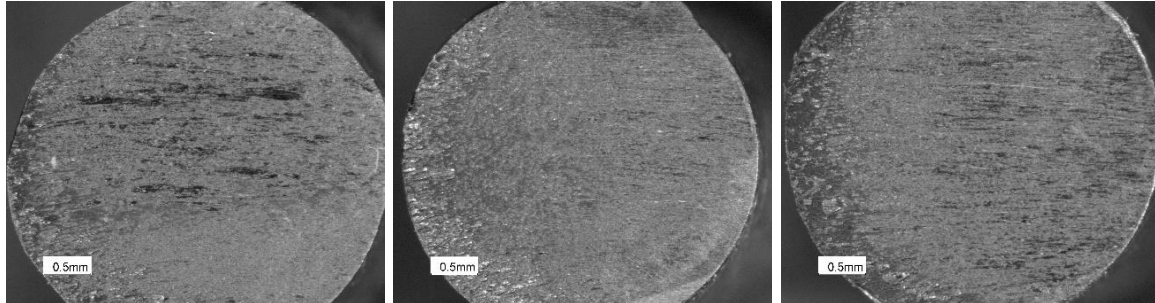
Na Tabela 2 apresentam-se os valores médios do espaçamento interlamelar da perlita e de microdureza vickers dos pinos antes do ensaio tribológico. A distância interlamelar e a microdureza de uma estrutura perlítica são inversamente proporcionais.

Tabela2 – Espaçamento interlamelar médio da perlita e microdureza dos pinos

Temperatura de tratamento isotérmico [°C]	Espaçamento interlamelar médio da perlita [nm]	Microdureza Vickers [HV]
550 °C	70	381
625 °C	128	320
700 °C	243	224

### Ensaio pino-disco

Na Figura 2 encontram-se as imagens obtidas com o auxílio de uma lupa das superfícies desgastadas dos pinos. As regiões escuras apresentaram óxidos e são paralelas ao sentido de movimento.



(a) 550°C

(b) 625°C

(c) 700°C

Figura 2 – Aspecto da superfície de desgaste nos pinos perlíticos tratados em patamares isotérmicos de 550°C, 625°C e 700°C respectivamente

Na Figura 3 observam-se micrografias de uma superfície perpendicular à superfície desgastada. Nota-se que as lamelas de perlita tendem a se alinhar paralelamente à direção do movimento, próximo à superfície (distância inferior a 2µm) a microestrutura foi severamente deformada, sendo possível visualizar carbonetos esferoidizados dispersos. Quanto maior a temperatura de tratamento isotérmico à qual o pino foi submetido, mais profunda é a camada deformada.

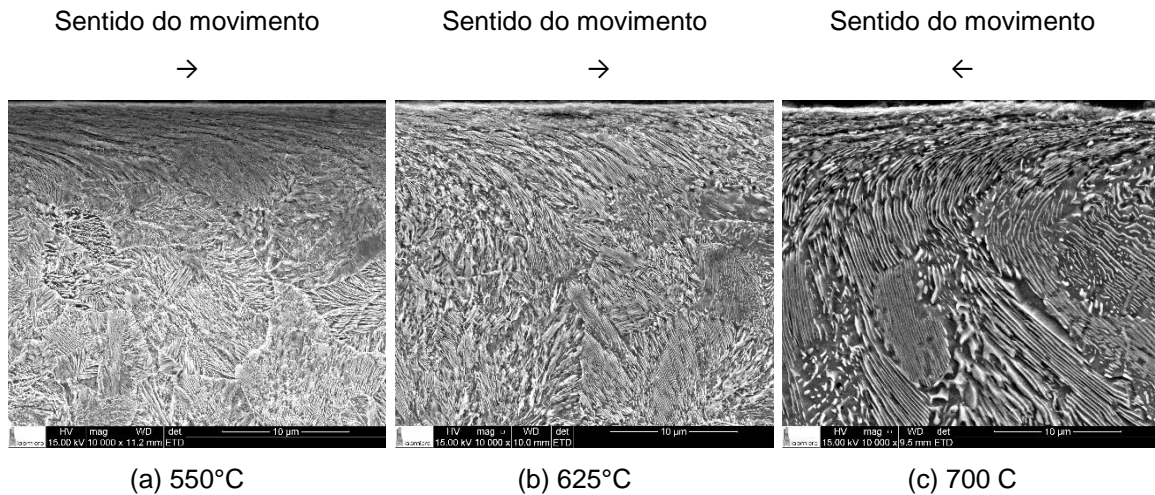


Figura 3 – Aspecto da superfície transversal em relação à de desgaste nos pinos perlíticos tratados em patamares isotérmicos de 550°C, 625°C e 700°C respectivamente (MEV-FEG).

A Figura 4 apresenta um gráfico que correlaciona a massa perdida em cada ensaio com a distância interlamelar da perlita nos pinos. Verifica-se que a massa perdida aumenta em função do aumento do espaçamento interlamelar da perlita consequentemente com o decréscimo da dureza.

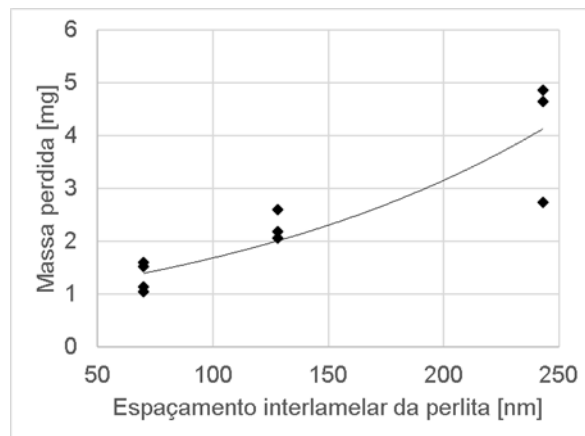


Figura 4 – Variação da massa perdida dos pinos em função do espaçamento interlamelar da perlita

Na Figura 5 encontram-se as medições de microdureza em função da distância da superfície desgastada em cada condição de ensaio. Observa-se que ocorre o aumento da dureza na região próxima à superfície devido ao encruamento do material.

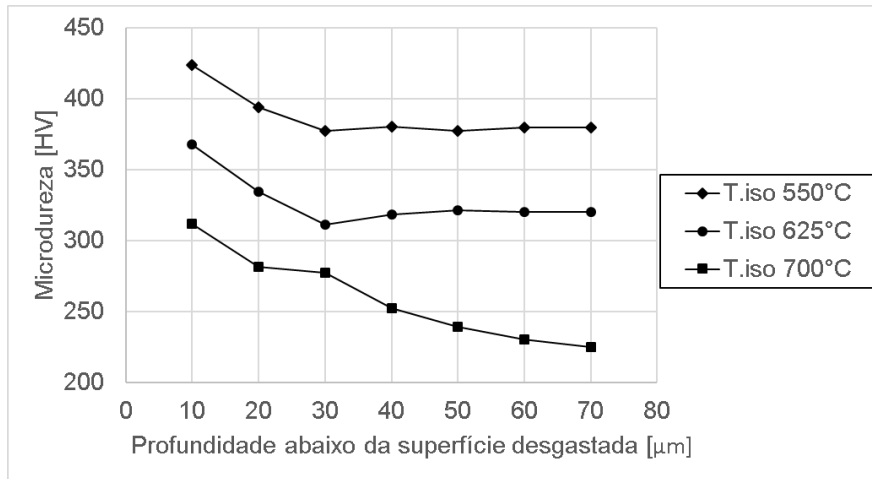


Figura 5 – Variação da microdureza dos pinos em função da distância abaixo da superfície desgastada

## CONCLUSÕES

Com o presente estudo foi possível analisar a relação entre a microestrutura perlítica e a resistência ao desgaste por deslizamento puro. A diminuição da temperatura de transformação isotérmica levou a redução do espaçamento interlamelar da perlita e conseqüentemente ao aumento da dureza. Observou-se que a diminuição do espaçamento interlamelar da perlita promove o aumento da resistência ao desgaste do aço em ensaios tribológicos do tipo pino contra disco.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Tecnológico Vale – ITV, CAPES e CNPq pelo apoio financeiro. À AcelorMittal – Monlevade, na figura do Engenheiro Helder Carvalho Ferreira que doou as ligas utilizadas como corpo de prova nos ensaios.

## REFERÊNCIAS

1. AAR. **AAR Manual of Standards and Recommended Practices Wheels and Axles**. p.21–60, 2011.
2. OKAGATA, Y. Design Technologies for Railway Wheels and Future Prospects. **Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report**, v.105, n.105, p.26–33, 2013.

3. PEREZ-UNZUETA, Alberto J., BEYNON, John H. Microstructure and wear resistance of pearlitic rail steels. *Wear*, n.162, p. 173-182, 1993.
4. SINGH, U. P., SINGH, Ramakant. Wear investigation of wheel and rail steels under conditions of sliding and rolling-sliding contact with particular regard to microstructural parameters. *Wear*, n.170, p.93-99, 1993.
5. ASTM G99-05. Standard test method for wear testing with a pin-on-disk apparatus. *ASTM Standards*, p.1–5, 2010.
6. ASTM E384. Standard test method for Knoop and Vickers hardness of materials. *ASTM Standards*, p.1–43, 2012.
7. COSTA e SILVA, André Luiz V., MEI, Paulo Roberto. *Aços e ligas especiais*. 2º Ed. Editora Edgard Blücher, 2006.
8. BHADESHIA, H. K. D. H., HONEYCOMBE, R. W. K. *Steels: microstructure and properties*. 3º Ed, Butterworth-Heinemann, 2006.

## **THE INFLUENCE OF PEARLITE LAMELLAR DISTANCE ON SLIDING WEAR USING PIN-DISC TESTS**

### **ABSTRACT**

Research about rail transport in Brazil has been intensified recently due to the need to improve the wheel-rail performance, higher loads promotes severe damages on the wheel-rail contact surface. This paper analyses the effect of the pearlite lamellar distance variation on wear resistance (non-lubricated sliding wear), the worn surfaces pins were characterized. Pearlitic steel pins with hardness between 400 HV and 220 HV were used, their composition was similar to class C AAR conventional wheels. It was verified that pin wear rate is inversely proportional to the pearlite hardness, in other words, the wear rate is higher in steels who presents coarse pearlite. The pins surfaces were severely deformed in the sliding direction.

Key-words: Pearlite lamellar distance; sliding wear; pin-on-disc test.