

RECUPERAÇÃO DAS CAMADAS DE DEFORMAÇÃO SUPERFICIAL FORMADAS NO TRILHO DURANTE O CONTATO RODA-TRILHO

Larissa Fernandes Nunes¹, Raphael Henrique Morais Reis², João Carlos de Serpa³, Luiz Paulo Mendonça Brandão⁴

¹MRS Logística, Gerência Geral de Engenharia da Manutenção, Avenida Brasil, nº2001, 36060-010, Centro, Juiz de Fora, Minas Gerais - Brasil

e-mail: larissa.nunes@mrs.com.br

²Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Ciência dos Materiais- SE8, Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Urca - Praia Vermelha, Rio de Janeiro - Brasil

³MRS Logística, Gerência Geral de Engenharia da Manutenção, Avenida Brasil, nº2001, 36060-010, Centro, Juiz de Fora, Minas Gerais - Brasil

⁴Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Ciência dos Materiais- SE8, Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Urca - Praia Vermelha, Rio de Janeiro - Brasil

Sumário

Camadas de deformação superficial são geradas no trilho durante o contato roda-trilho. Essas camadas são controladas pelo esmerilhamento. Entretanto, esse processo gera um desgaste artificial no ativo o que favorece a sua retirada da via por massa inadequada do boleto ao invés de retirá-lo por fratura.

A proposta do trabalho visa realizar tratamentos térmicos no trilho buscando recuperar as propriedades das camadas superficialmente deformadas, reduzindo assim a necessidade dos ciclos de esmerilhamento.

Para atingir esse objetivo, tratamentos térmicos e análises da microestrutura foram realizados. Inicialmente verificou-se que os tratamentos realizados promoveram evolução microestrutural nas amostras quando comparadas as sem tratamento.

Palavras chaves: Trilho ferroviário; Esmerilhamento; Camadas de deformação; Contato roda-trilho.

1. INTRODUÇÃO

A malha ferroviária brasileira apresenta significativa influência na economia do país. O maior percentual de carga transportada em nossas ferrovias está relacionado ao heavy haul, ou seja, transporte de carga pesada como o minério de ferro.

Na atualidade, um dos grandes desafios do setor é a substituição dos dormentes de madeira de lei por outros materiais. Entre os materiais utilizados, destaca-se o concreto. O concreto é um material com excelentes propriedades mecânicas e uma vida útil estimada de 40 a 50 anos [1]. Entretanto, esse novo material ferroviário apresenta propriedades diferenciadas quando comparado a madeira. Popularmente, ouvimos dizer que ele aceita mesmos “desaforo”, ou seja, devido a sua maior rigidez, as tensões oriundas do transporte roda-trilho serão menos dissipadas para o lastro. Desse modo, nosso trilho tenderá a sofrer uma maior absorção de energia, transformando a mesma em deformação plástica.

Um dos principais componentes da malha ferroviária é o trilho. Ele é o responsável por guiar o caminho das composições e realizar a transferência das tensões oriundas do contato roda-trilho para a superestrutura. Atualmente, é amplamente difundido na literatura e consolidado nas ferrovias brasileiras que a durabilidade do trilho está diretamente atrelada à dureza do boleto. Resumidamente, quanto mais duro, melhor. Isso porque, com o aumento da dureza, o desgaste e a presença de RFC (Rail Contact Fatigue) nos trilhos é reduzido [2, 3,4].

Os trilhos comumente oferecidos pelo mercado internacional apresentam composições relativamente simples com a presença de C, Mn, Si e Cr. Além disso, a microestrutura utilizada é a perlita fina por apresentar

excelentes relações de dureza e resistência a fadiga [5].

Os ciclos do transporte ferroviário formam nos trilhos camadas de deformação que são conhecidas como WEL (White Etching Layer) e BEL (Brown Etching Layer) [5,6]. Para obtenção do elevado grau de dureza do boleto, ciclos de resfriamento controlado são aplicados no material.

A WEL é caracterizada pela formação de uma camada branca com elevada dureza e um mix de microestruturas. Na literatura existe uma grande discussão sobre quais fases e microconstituintes estão presentes nessas camadas, sendo as mais citadas: cementita, perlita altamente deformada, ferrita supersaturada em carbono nanocristalina, austenita nanocristalina e martensita monocristalina [7,8,9,10]. Já a BEL, é a camada secundária da deformação e sua microestrutura é composta por martensita, austenita, ferrita supersaturada de carbono, perlita deformada e cementita [11,12]. Essas camadas são extremamente deletérias para o comportamento mecânico dos trilhos. Pois elas facilitam a formação de trincas superficiais que podem progredir e levar a falha catastrófica do material [13,14].

Atualmente, é muito utilizado o método de esmerilhamento para remover as camadas deformadas [15,16]. O esmerilhamento preventivo remove a camada superficial do boleto de até 0,15 mm de profundidade [17]. Essa remoção, por mais que seja pequena, contribui para redução da massa útil do boleto. Isso evita que o trilho seja trocado por fratura, mas acelera a troca por dimensões inapropriadas.

Este trabalho tem como objetivo realizar a aplicação de tratamentos térmicos visando realizar a recuperação das propriedades mecânicas das camadas WEL e BEL. Para atingir o objetivo proposto, serão realizados ciclos de tratamentos térmicos em trilhos com alto grau de deformação visando realizar a recuperação das camadas deformadas sem prejudicar as propriedades iniciais do trilho como fabricado. Desse modo, análises da microestrutura (MEV) e da composição de fases das amostras (DRX) serão realizadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

O material base utilizado nessa pesquisa é um trilho ferroviário tipo TR-68, conforme ilustrado na Fig. 1, que estava aplicado na linha férrea localizada em Brumadinho/MG - Brasil.

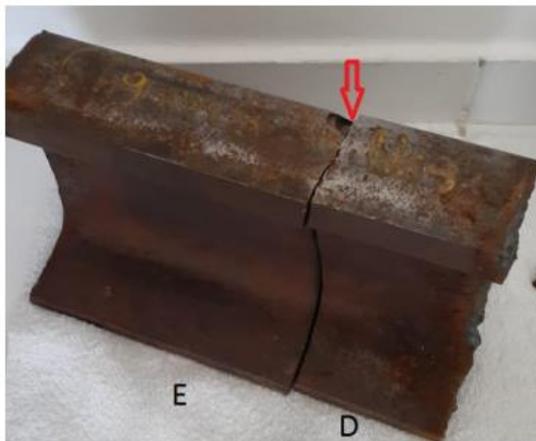


Fig. 1. Barra de trilho utilizada na pesquisa, sendo E referente ao lado esquerdo e D, lado direito

Observando a Fig.1, verificasse que a barra de trilho foi retirada da via devido ao processo de fratura (indicado pela seta vermelha).

O aço utilizado para fabricação do trilho apresenta composição química conforme ilustrado no Quadro 1. Importante ressaltar que essa composição foi retirada da especificação técnica enviada pelo fabricante.

Quadro 1. Composição química do trilho

Elemento	% em peso
C	0,84 – 0,95
Mn	0,70 – 0,10
Si	0,10 – 0,60
P	Máx. 0,020
S	Máx. 0,020
Cr	Máx. 0,030

Na especificação técnica, também informa as propriedades mecânicas do material conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Propriedades mecânicas do trilho

Propriedades	Valor
Limite de escoamento boleto (MPa)	870
Resistência a tração boleto (Mpa)	1320
Alongamento boleto (%)	11
Alongamento patim (%)	11
Redução de área boleto (%)	20
Redução de área patim (%)	20
Dureza superficial (HB)	370 – 410
Resistência a fratura (Mpa.ML/2)	34

Em relação a microestrutura o fabricante informa que o trilho é 100% perlítico.

2.2 Métodos

Para realização deste trabalho, nomeou-se as amostras conforme ilustrado no Quadro 3.

Quadro 3. Nomenclatura utilizada para as amostras

Amostra	Nomenclatura
Como recebida	CR
Tratada termicamente a 150°C	TT150
Tratada termicamente a 200°C	TT200

As amostras em estudo foram extraídas do boleto do trilho de modo que todas apresentavam a região referente a camada superficialmente deformada pelo contato roda-trilho. Os tratamentos térmicos foram realizados nas temperaturas de 150 e 200°C por 5 minutos no forno mufla presente no laboratório de Tratamento Térmico do Instituto Militar de Engenharia.

Análises com auxílio microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas buscando avaliar os aspectos microestruturais das amostras antes e após a realização dos tratamentos térmicos. As análises de MEV foram realizadas com auxílio de um detector de elétrons secundários (SE) utilizando um microscópio do fabricante FEI modelo Quanta FEG 250. O equipamento está instalado no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Instituto Militar de Engenharia. Para realização das análises, as seguintes rotas de preparação foram seguidas:

1º- Pré preparação para microscopia

O boleto foi separado da alma e patim mantendo uma espessura de 430 mm e conservando o formato original do trilho como recebido. O material como recebido apresentava-se com bastante sujeira pelo fato de estar aplicado na via. Desse modo, as amostras foram limpas com auxílio de uma escova de cerdas macias e água corrente. Em seguida, foram colocadas no ultrassom por 40 min buscando remover o acúmulo de sujeira que não havia sido

removido pela escova.

2° - Preparação para MEV

A fração do boleto do trilho foi seccionada em formatos com medidas próximas de 15x20x10 mm. Todas as amostras cortadas possuem regiões referentes a parte superficial e interna do boleto buscando manter a representatividade das análises. Essas amostras foram cortadas com auxílio do um disco abrasivo com uso de solução lubrificante e refrigerante. Buscando realizar a preparação para observação da microestrutura, as amostras passaram pelo processo de lixamento com lixas até 2500 mesh utilizando refrigeração com água corrente buscando mitigar possíveis aquecimentos no material. Após essa etapa, as amostras foram polidas com auxílio de pasta de diamante na granulometria de 1 µm, seguido pelo ataque químico com o reagente Nital 2% (solução composta por 2 ml de ácido nítrico (HNO₃) em 98 ml de álcool etílico) durante 25 s de aplicação.

Análises de DRX qualitativas foram realizadas no laboratório de Difração de Raios-X do Instituto Militar de Engenharia - IME com objetivo de avaliar as fases presentes nas amostras em todas as condições estudadas. O difratômetro utilizado foi o modelo X'PERT PRO MRD da PANalytical com tubo de raios X cerâmico e ânodo de cobalto com detector PIXel de 255 canais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Micrografias foram obtidas de todas as condições estudadas com objetivo de avaliar a evolução microestrutural do nosso trilho em relação ao aumento da temperatura.

As Fig. 2, 3 e 4 apresentam as imagens obtidas com auxílio do MEV referente a região superficial das amostras onde ocorreu o contato roda trilho.

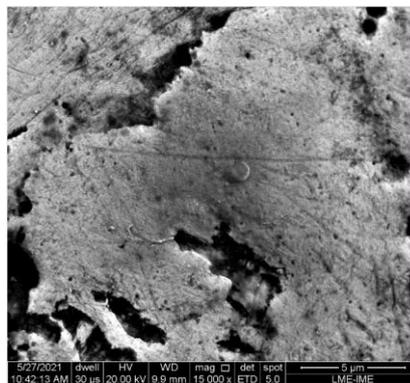


Fig.2. Microestrutura da amostra CR

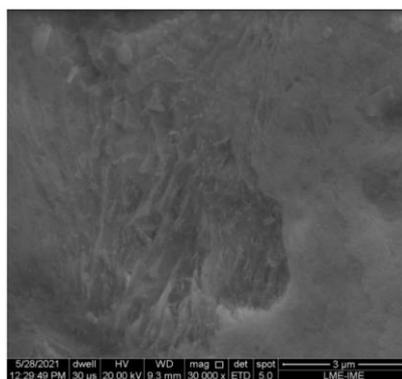


Fig.3. Microestrutura da amostra TT150

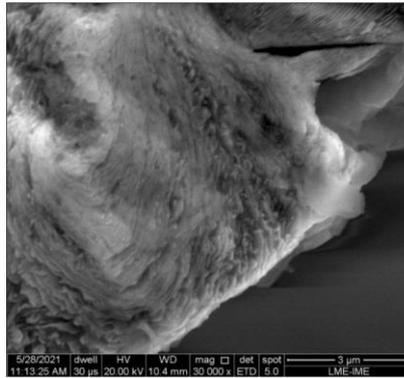


Fig.4. Microestrutura da amostra TT200

A Fig.2 apresenta a micrografia da amostra de trilho CR. Observando a figura, verifica-se a presença de uma microestrutura sem definição mesmo para aumentos de 15 mil vezes. Esse fato pode ser justificado pela presença de microestruturas nanométricas conforme informado pela literatura [18,19,7].

Analisando a Fig.3, verifica-se ela apresenta microestrutura similar a amostra CR (Fig.2), divergindo apenas em relação a traços lamelares que se fizeram presentes na amostra. Essa similaridade pode estar atrelada a temperatura de 150°C causar na microestrutura apenas um leve envelhecimento, provocando a precipitação de carbonetos de transição [20,11].

Já a Fig.4, referente a amostra TT200, verifica-se a presença de “lamelas de perlita com baixa definição”.

Análises de difração de raios X foram obtidas em todas as condições das amostras buscando investigar a influência dos tratamentos térmicos realizados em baixas temperaturas nas fases e perfis de picos presentes nos difratogramas.

A Fig.5 consta os picos de Bragg identificados para todas as condições analisadas, sendo elas CRT, TT150 e TT200. Verifica-se que todas as amostras apresentam picos referentes a ferrita e Fe₃C conforme informado nas fichas cristalográficas 00-001-1262 e 00-034-0001. Esses picos corroboram com a microestrutura perlítica informada pelo fabricante.

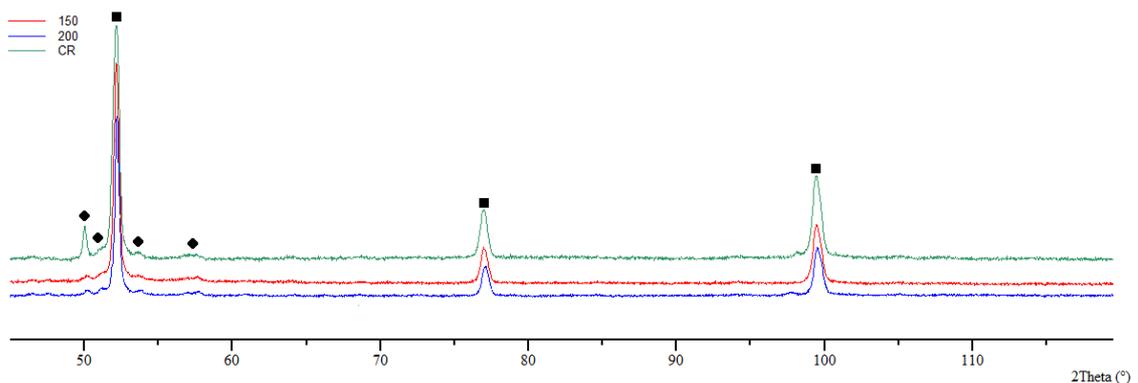


Fig.5. Difratogramas das condições estudadas

Observando o difratograma é possível verificar diferenças em relação ao perfil de pico para as condições estudadas. Conforme informado por Cullity [21], quando estamos analisando materiais previamente deformados e os picos se apresentam alargados, isso pode ser atrelado a presença de deformação não uniforme na microestrutura (ou microtensões).

Analisando a Fig.5, verificou-se que os picos referentes a fase CCC se apresentaram mais alargados para a amostra CR quando comparado as amostras TT150 e TT200. A amostra CR não foi submetida a nenhuma

alteração térmica, sendo assim, ela apresenta os campos de tensões de forma integral gerados pelo contato roda-trilho. Já as outras condições estudadas, foram submetidas ao tratamento térmico, o que pode ter auxiliado na redução das micro tensões presentes no material como recebido. Ou seja, essas temperaturas auxiliaram no alívio de tensões residuais do material.

Essas análises foram realizadas de forma preliminar com objetivo de avaliar a influência da temperatura no comportamento da microestrutura do trilho deformado. Entretanto, uma nova gama de temperaturas e outras análises estão sendo realizadas visando encontrar os melhores parâmetros para realização de uma recuperação efetiva das camadas deformadas oriundas do contato roda-trilho.

4. CONCLUSÕES

- O tratamento térmico realizado a 150°C por 5 min não proporcionou grandes mudanças na microestrutura da camada deformada quando comparada com a amostra CR. Entretanto, a amostra tratada a 200°C apresentou uma microestrutura com características lamelares;
- Todas as amostras apresentaram picos de difração referentes a ferrita e Fe₃C;
- Os picos difratados da amostra sem tratamento térmico se mostraram mais alargados quando comparados as amostras tratadas termicamente. Isso pode indicar que as temperaturas de tratamento aplicadas proporcionaram um certo alívio das tensões residuais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a MRS e o Instituto Militar de Engenharia por todo apoio durante a execução deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Riley, Joseph E. e J. C. Strong, *Basic Track In: American Railway Engineering and Maintenance of Way Association – AREMA. Practical Guide To Railway Engineering*. Lanham, MD, USA. p. 67-147, 2003.
2. HU, Y.; WATSON, M.; MAIORINO, M.; ZHOU, L.; WANG, W.; DING, H.; LEWIS, R.; MELI, E.; RINDI, A.; LIU, Q. et al. *Experimental study on wear properties of wheel and rail materials with different hardness values*. *Wear*, Elsevier, p. 203831, 2021.
3. UEDA, M.; MATSUDA, K. *Effects of carbon content and hardness on rolling contact fatigue resistance in heavily loaded pearlitic rail steels*. *Wear*, Elsevier, v. 444, p. 203120, 2020.
4. REED-HILL, R. E.; ABBASCHIAN, R.; ABBASCHIAN, R. *Physical metallurgy principles*. [S.l.]: Van Nostrand New York, 1973. v. 17.
5. KUMAR, A.; AGARWAL, G.; PETROV, R.; GOTO, S.; SIETSMA, J.; HERBIG, M. *Microstructural evolution of white and brown etching layers in pearlitic rail steels*. *Acta Materialia*, Elsevier, v. 171, p. 48–64, 2019.
6. HUANG, Y.; SHI, L.; ZHAO, X.; CAI, Z.; LIU, Q.; WANG, W. *On the formation and damage mechanism of rolling contact fatigue surface cracks of wheel/rail under the dry condition*. *Wear*, Elsevier, v. 400, p. 62–73, 2018.
7. MASOUMI, M.; LIMA, N. B. de; TRESSIA, G.; SINATORA, A.; GOLDENSTEIN, H. *Microstructure and crystallographic orientation evolutions below the superficial white layer of a used pearlitic rail*. *Journal of Materials Research and Technology*, Elsevier, v. 8, n. 6, p. 6275–6288, 2019.
8. ZHU, H.; LI, H.; AL-JUBOORI, A.; WEXLER, D.; LU, C.; MCCUSKER, A.; MCLEOD, J.; PANNILA, S.; BARNES, J. *Understanding and treatment of squat defects in a railway network*. *Wear*, Elsevier, v. 442, p. 203139, 2020.

9. TAKAHASHI, J. *Atom probe study on microstructure change in severely deformed pearlitic steels: application to rail surfaces and drawn wires*. In: IOP PUBLISHING. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. [S.l.], 2017. v. 219, n. 1, p. 012007.
10. MASOUMI, M.; ARIZA, E. A.; SINATORA, A.; GOLDENSTEIN, H. *Role of crystallographic orientation and grain boundaries in fatigue crack propagation in used pearlitic rail steel*. Materials Science and Engineering: A, Elsevier, v. 722, p. 147–155, 2018.
11. TRESSIA, G.; SINATORA, A.; GOLDENSTEIN, H.; MASOUMI, M. *Improvement in the wear resistance of a hypereutectoid rail via heat treatment*. Wear, Elsevier, v. 442, p. 203122, 2020.
12. SAXENA, A. K.; KUMAR, A.; HERBIG, M.; BRINCKMANN, S.; DEHM, G.; KIRCHLECHNER, C. *Micro fracture investigations of white etching layers*. Materials & Design, Elsevier, v. 180, p. 107892, 2019.
13. LIAN, Q.; DENG, G.; AL-JUBOORI, A.; LI, H.; LIU, Z.; WANG, X.; ZHU, H. *Crack propagation behavior in white etching layer on rail steel surface*. Engineering Failure Analysis, Elsevier, v. 104, p. 816–829, 2019.
14. AL-JUBOORI, A. A. A. *Mechanisms of squat initiation and propagation on rail surfaces*. 2020.
15. STOCK, R.; SCHWARZENBERGER, R.; KUBIN, W. *Rail milling as an integrated strategy for modern rail asset management*. In: CORE 2018: Rail: Smart, Automated, Sustainable, Conference on Railway Excellence, 30 April-2 May 2018, Sydney, NSW, Australia. [S.l.: s.n.], 2018.
16. STEYN, E. *Rail surface treatment—grinding and milling—competing or complementary technologies*. 2019.
17. VIDON, F. O. *Fundamentos do gerenciamento do atrito*. 2012.
18. ZHOU, Y.; PENG, J.; LUO, Z.; CAO, B.; JIN, X.; ZHU, M. *Phase and microstructural evolution in white etching layer of a pearlitic steel during rolling–sliding friction*. Wear, Elsevier, v. 362, p. 8–17, 2016.
19. WU, J.; PETROV, R. H.; KÖLLING, S.; KOENRAAD, P.; MALET, L.; GODET, S.; SIETSMA, J. *Micro and nanoscale characterization of complex multilayer-structured white etching layer in rails*. Metals, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 8, n. 10, p. 749, 2018.
20. XIANG, L.; LIANG, L.; WANG, Y.; CHEN, Y.; WANG, H.; DAI, L. *One-step annealing optimizes strength-ductility tradeoff in pearlitic steel wires*. Materials Science and Engineering: A, Elsevier, v. 757, p. 1–13, 2019.
21. CULLITY, B. D. *Elements of X-ray Diffraction*. [S.l.]: Addison-Wesley Publishing, 1978.