

# AÇO MICROLIGADO PARA RODAS FERROVIÁRIAS

(Eng. MSc Domingos José Minicucci – MWL Brasil)

Durante muitos anos os aços para rodas ferroviárias não tiveram evolução significativa. A Norma AAR introduziu a classe C em meados da década de 70 e por mais de 20 anos esta classe foi indicada para serviços severos, incluindo o transporte de minério e de carga em geral. O transporte ferroviário foi evoluindo e a necessidade do aumento de carga por eixo também, chegando ao “heavy haul”, que são vagões com mais de 30 toneladas por eixo. Com todo este esforço, o material da roda teve que evoluir resultando nos aços bainíticos com baixo teor de carbono e alta liga. Rodas fabricadas com estes aços apresentam propriedades mecânicas muito superiores aos aços carbono, como a classe C, porém o custo de fabricação é muito alto. Nesta mesma vertente surgiram os aços microligados que com pequenas adições de elementos de liga (menores que 0,1% em massa) propiciam a melhora das propriedades mecânicas e aumento da resistência ao desgaste com custos competitivos.

Em 2009 a AAR M107/M208 introduziu o aço microligado na fabricação de rodas, criando uma nova classe específica para “heavy haul” denominada classe D. A norma AAR M107/M208 determina que a composição base do aço classe D deve seguir as mesmas faixas da classe C, porém com adição de microligas que fica a critério do fabricante da roda definir. A faixa de dureza é definida conforme a tabela 1 da norma AAR M107/M208:

## Propriedades do aço microligado

Os elementos mais usados como microligas na fabricação dos aços microligados são: vanádio, nióbio e titânio. Estes elementos contribuem para o aumento da tensão de escoamento do material e da tenacidade, bem como refinam o grão e aumentam a temperatura de transformação evitando ou retardando a formação de martensita

**Tabela 1: Durezas – Norma AAR M107/M208**

CLASSE	DUREZA MÍNIMA (BHN)	DUREZA MÁXIMA (BHN)
L	197	277
A	255	321
B	302	341
C	321	363
D	341	415

durante um superaquecimento da roda em serviço. Nos aços microligados, podemos destacar as seguintes propriedades:

## Tensão de escoamento elevada

A maioria dos projetos modernos vem reconhecendo a tensão de escoamento do material como propriedade a ser considerada no projeto mecânico. O conceito de que uma relação elástica (limite de escoamento/ limite ruptura) baixa seria necessária para prevenir instabilidade plástica está sendo

**Figura 1**

**Shelling na pista de roda ferroviária**



**Figura 2**

**Fatiga frágil**



substituído pelo uso criterioso do limite de escoamento para prevenir a deformação plástica generalizada. Nas rodas ferroviárias fabricadas com aços microligados, os benefícios do aumento da tensão de escoamento se notam na redução do “shelling” (escamação) conforme figura 1.

O shelling ocorre normalmente em rodas submetidas a altas tensões de contato (heavy haul),

as quais estão mais sujeitas ao fenômeno da fadiga de contato roda trilho. O shelling ocorre quando a tensão de contato da roda ultrapassa a tensão de escoamento facilitada pelo processo de fadiga. Este fenômeno é inibido ou reduzido nas rodas com aço microligado, pois a tensão de escoamento nestes materiais é maior que nos aços convencionais.

## Refino de grão e tenacidade

O elemento químico responsável pela microliga neste tipo de aço, promove o refino do grão, que conduz simultaneamente a um aumento da tenacidade e do limite de escoamento. A melhora da tenacidade, está diretamente relacionada com o controle da quantidade e forma das inclusões não metálicas. Este tipo de estrutura com aumento da tenacidade previne a fratura rápida ou catastrófica em rodas ferroviárias, visto que o controle da tenacidade é fundamental na prevenção da fratura rápida frágil, conforme figura 2.

## Redução da ZTA (Zona Termicamente Afetada)

Uma das propriedades do aço microligado é o aumento da soldabilidade, isto é, elimina a formação de trincas e de martensita na área termicamente afetada pela solda. A solda não se aplica de forma alguma nas rodas ferroviárias, mas esta propriedade indiretamente presta uma contribuição para as rodas, onde altas temperaturas são atingidas na pista de rolamento durante frenagens

bruscas ou com travamento da roda. Durante este processo a área de contato da roda com o trilho sofre um superaquecimento que possibilita uma têmpera localizada do material na ZTA com formação de martensita, que posteriormente trinca e se destaca da roda. A maior tolerância dos aços microligados a este tipo de ocorrência é pelo fato de que o elemento da microliga aumenta a temperatura de transformação (723 C para aços comuns). Para haver tempera localizada na roda é necessário que ela ultrapasse a temperatura de 723 C no ponto de contato e depois esfrie. Para os aços microligados esta temperatura é maior, logo é mais difícil de ser atingida havendo uma possibilidade menor de formação de martensita na ZTA. O gráfico da figura 3 mostra este fenômeno, onde Ac1 é a linha que define a temperatura de transformação e Ac3 é a linha que define a total transformação da estrutura do material em austenita (austenitização).

### Dureza

Os aços microligados possibilitam a obtenção de durezas maiores na pista de rolamento da roda, valores que não são possíveis de serem atingidos com aços comuns como o classe C da AAR. A grande vantagem do aço microligado é que consegue aliar altas durezas sem prejuízo da tensão de escoamento e da tenacidade. O mapa de dureza da figura 4 mostra o gradiente de dureza de uma roda microligada.

Tabela 2: Propriedades mecânicas – Rodas ferroviárias

ENSAIO	UN.	AAR - C	MICROLIGADO 1	MICROLIGADO 2
<b>Tração</b>				
Escoamento	MPa	794,95	916,3	889,85
Resistência	MPa	1193,0	1100,2	1158,4
Estricção	%	25,77	40,14	34,7
Alongamento	%	12,03	14	14
<b>Charpy</b>				
Média	Joules	12,25	10	11
<b>K1c</b>				
Média	MPa√m	47,14	51,22	58,57
<b>Dureza</b>				
(Max – Min)	Brinell	321 - 363	415 - 380	388 - 341

### Propriedades mecânicas

A grande vantagem dos aços microligados é conciliar algumas propriedades mecânicas que até algum tempo atrás não conseguiam conviver juntas, tais como: alta dureza e alta tenacidade, alta resistência ao desgaste com resistência a fadiga. Esta combinação de propriedades mecânicas torna a aplicação do aço microligado ideal para o ramo ferroviário, principalmente para o transporte de carga onde é necessária a combinação de altas cargas com resistência ao desgaste e a fadiga.

A tabela 2 mostra uma comparação entre rodas com materiais diferentes, onde podemos observar propriedades mecânicas superiores e diferenciadas do aço microligado ao nióbio produzido pela MWL Brasil.

### Conclusão

Os aços microligados são empregados atualmente em larga escala no transporte ferroviário na modalidade “heavy haul”, pois melhoram as condições operacionais quanto ao desgaste e fadiga. O custo de fabricação deste tipo de aço é compatível com o custo operacional das ferrovias viabilizando a relação custo benefício. A MWL Brasil desenvolveu seu próprio aço microligado em parceria com a UNICAMP, onde o elemento da microliga pode ser nióbio ou vanádio dependendo das propriedades a serem atingidas.

### Referências bibliográficas

- Villas Boas, R. Desenvolvimento de Aços Microligados para Rodas Ferroviárias. UNICAMP – Tese de Mestrado 2009, pg 11, 86
- Mei, P.R. Silva, A.L.C. Aços e Ligas Especiais. Editora Edgard Blucher, 2006, pg 331.
- Colpaert, H. Silva, A.L.C. Metalografia. Editora Edgard Blucher, 2008, pg 451.
- Krauss, G. Principles of Heat Treatment of Steel. American Society for Metals, 1985, pg18.

Figura 3: Diagrama ferro – carbono

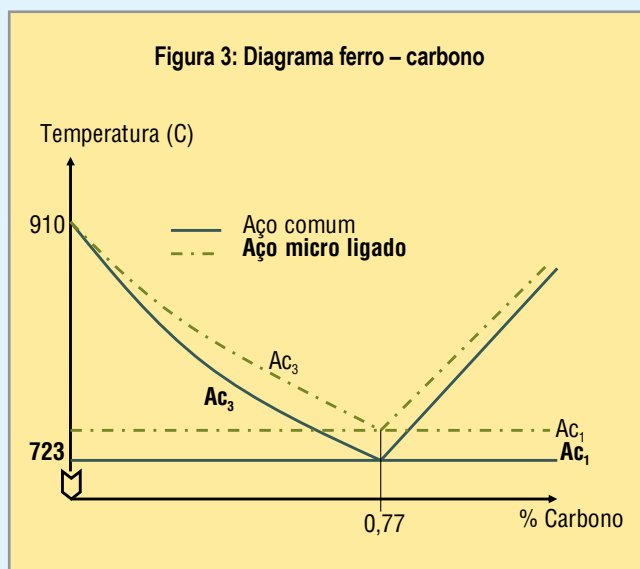


Figura 4: Mapa de dureza de roda microligada

