

SOLDAGEM DE MANUTENÇÃO EM RODETES: análise do comportamento do revestimento em diferentes ligas metálicas

MAINTENANCE WELDING ON ROLTS: analysis of the behavior of the coating in different metal alloys

João Paulo Sachetto[I]
Alessandro Fraga Farah[II]
Ruy Ribeiro da Silva Junior[III]
Wendel Gustavo de Andrade[IV]
Junio César Garcia[V]

Área: A3. Gestão da Manutenção e Processos Industriais (GEMAPI)
Subárea: S15**.** Outros Temas de Interesse em Manutenção Industrial

RESUMO

Alguns componentes mecânicos de sistemas usados em usinas de açúcar e etanol, especialmente aqueles que atuam no setor de preparação e extração do caldo, são sujeitos a desgaste severo. Engrenagens de transmissão de potência são exemplos destes componentes que exigem periodicamente manutenções, que neste caso, podem ser executadas por meio de deposição de solda na região do dentado. Neste trabalho buscou-se encontrar o aço ideal para a fabricação do componente rodete da moenda identificando aquele que apresenta, após a aplicação do depósito de solda dura, o revestimento mais homogêneo. O metal base das amostras revestidas, usadas para os experimentos foram de três classes distintas de aços com porcentagens similares de carbono: SAE 1045, 4140 e 4340. Para a aplicação do revestimento utilizou-se o eletrodo de solda dura E450 ESP, da marca Fênix, e a máquina Power Wave s350. As imagens metalográficas dos revestimentos demonstraram microestrutura martensítica e os valores de dureza e resistência ao desgaste concordaram com os resultados microestruturais. Como o comportamento dos revestimentos independe do metal base, fica evidente, sob este aspecto, que o revestimento deve ser aplicado sobre o Aço SAE 1045, material que apresenta o menor custo de aquisição.

Palavras-chave: Aço1045, Aço 4140, Aço 4340, Rodetes. Revestimentos.

[I] Prof. Me. Da Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: joao.sachetto@fatec.sp.gov.br
[II] Professor Dr. da Etec José Martimiano da Silva – Ribeirão Preto – SP – Brasil. E-mail: ruy.silva4@etec.sp.gov.br
[III] Professor Dr. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: alessandro.farah@fatec.sp.gov.br
[IV] Aluno da Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: wendeandrade2010_@hotmail.com
[V] Aluno da Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail:junio.garcia@fatec.sp.gov.br



ABSTRACT

Mechanical machinery of systems used in sugar and ethanol plants, especially used in some sugar manufacturing and manufacturing components, are subjected to severe wear. transmission are examples of components that periodically require transmission maintenance, can be sent transmission power by means of sale in this transmission medium in the tested region. In this work, we sought to find the ideal steel for the manufacture of the component, identifying the one that presents, after the application of the dura deposit, the most homogeneous coating. The base metal of the original weld samples, used for similar steel electrodes with percentages of three different carbon classes: SAE 1045, 4140 and 4340, and the Power Wave s350 machine. The metallographic images of the clearcoats and the martensitic microstructure results of wear resistance and wear agreed with the microstructural results. As the behavior of the coatings is independent of the base metal, it is evident from this point of view that the coating must be applied over SAE 1045 Steel, material that has the lowest acquisition cost.

Keywords: Steel 1045, Steel 4140, Steel 4340, Wheels. Coatings.

Data de submissão do artigo: 31/07/2022.
Data de aprovação do artigo: 14/09/2022.
DOI: **10.33635/sitefa.v5i1.226**

1 INTRODUÇÃO

Componentes de máquinas estão sujeitos aos diversos tipos de desgaste, no caso dos rodetes da moenda, pelo fato de trabalharem praticamente 24 horas por dia, todos os dias, durante o período da safra, sofrem com o desgaste dos dentes e em alguns casos até mesmo há fratura total ou parcial. Obviamente, o componente não pode retornar ao funcionamento antes que ele seja reposto ou feita a devida manutenção.

Em relação aos rodetes, a manutenção normalmente é a corretiva, que é adotada somente depois da parada da safra e constatado que ele não possui as condições de funcionamento adequadas. Esse tipo de manutenção é adotado porque após a parada da safra existe um período necessário para manutenção dele, não sendo necessário para o funcionamento da moenda; outro motivo é o baixo custo em relação à fabricação de outro componente novo.

A recuperação dos rodetes acontece por meio do depósito de eletrodo de solda dura nos dentes danificados do componente, devido ao desgaste e/ou quebra parcial dele.

Ainda se encontram rodetes fabricados em alguns tipos de aço, entre eles o SAE 1045, 4340 e 4140 e foi com o intuito de entender mais profundamente qual seria o melhor aço para a fabricação do componente que foram realizados os ensaios mecânicos.

Esse trabalho tem como objetivo analisar e concluir qual é o aço ideal para ser utilizado na fabricação do rodete de moenda, para se obter uma maior vida útil do componente, tendo em vista que, o mesmo após todas as safras, necessita que seja depositado um revestimento para recuperação, baseando-se nos testes de dureza, desgaste e análise metalográfica.

Com os testes citados pretende-se entender quais são as diferenças de dureza entre os aços, assim como no teste de desgaste, e examinar com a ajuda do microscópio as similaridades e peculiaridades em relação ao tamanho dos grãos, formação e tipo da estrutura dos metais base, por meio da análise metalográfica.

2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE RODETES

Em síntese, na fabricação, os rodetes passam por diversos processos de manufatura, como fundição, normalização, usinagem, tempera por indução na região do dentado e revenimento.

2.1 Rodete

Os rodetes são grandes engrenagens utilizadas para transmitir torque entre os eixos de moendas de usinas sucroalcooleiras e que se diferenciam de outras rodas dentadas, pois a obtenção do dentado é obtido diretamente pelo processo de fundição, não sendo aplicado processo de usinagem como ocorre na maioria das engrenagens de uso industrial. (ROCANSALIA, 2015). A figura1 abaixo mostra um rodete usado em ternos de moenda.

Figura 1 - Rodete da Moenda



Fonte: Autores (2022)

2.2 Manutenção em rodetes por meio de revestimentos de solda

O conceito de manutenção corretiva é: “um conjunto de procedimentos que são executadas com a finalidade de atender imediatamente a produção, a máquina ou o equipamento que parou” (ALMEIDA,2015, pg.16). A manutenção preventiva é planejada antecipadamente com planos de ações. Em relação à definição de manutenção preventiva, Almeida afirma:



> Manutenção preventiva é a manutenção planejada e controlada, realizada em datas predeterminadas, de modo a manter a máquina ou o equipamento em corretas condições de funcionamento e conservação, evitando paradas imprevistas. O planejamento é possível utilizando-se a documentação das operações de manutenção corretiva realizadas (Ficha de Execução de Operações de Manutenção Corretiva) e informações sobre a vida útil das peças, fornecidas pelo fabricante (ALMEIDA, 2015, p.17).

Em soldagem de manutenção, revestimentos corretivos são aplicados após ocorrência de perda de massa metálica em função do desgaste que ocorre pela interação entre dois e/ou três corpos. No caso de rodetes, este procedimento é realizado na primeira intervenção, já que, na primeira etapa da vida útil, não há aplicação de solda, a resistência ao desgaste é esperada mediante ao aumento de dureza provocado pelo processo de tempera indutiva e revenimento, sendo esta combinação de processos metalúrgicos, etapa final de manufatura do rodete. A pós determinado período de trabalho, considerando que o revestimento aplicado tem dureza e resistência ao desgaste superior ao metal base, esta aplicação retarda o desgaste a partir da segunda etapa de vida útil deste componente, atuando como procedimento preventivo ao desgaste pré-maturo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho de pesquisa caracteriza-se como bibliográfica e experimental. Na pesquisa bibliográfica foi realizado um estudo geral sobre os principais trabalhos, revestidos de importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados com o tema (MARCONI; LAKATOS, 2003). Pesquisa experimental ou laboratorial é aquela que consiste em manipulação experimental exploratória e que têm por finalidade manipular uma variável independente, a fim de localizar variáveis dependentes que potencialmente estejam associadas a ela, estudando-se o fenômeno em seu meio natural. Tem como propósito demonstrar a viabilidade de determinada técnica como uma solução, potencial e viável (MARCONI; LAKATOS, 2003).

O presente estudo de caso, refere-se a uma investigação sobre o comportamento dos revestimentos de solda em diferentes ligas metálicas fundidas, comumente usadas na fabricação de rodetes, engrenagens usadas na transmissão de potência em ternos de moendas de usinas de açúcar e etanol. Após levantamento em empresas que prestam serviços de manutenção nestes componentes, selecionou-se o consumível de solda, eletrodo revestido, de fabricação especial, projetado especificamente para ser aplicado como revestimento corretivo nos flancos de dentes destas engrenagens, a fim de reestabelecer a massa metálica perdida pelo desgaste, oriundo da interação entre o par de rodetes e terceiros elementos (lubrificação, bagaço de cana). A presente pesquisa se dedicou a estudar o comportamento destes revestimentos, baseados em ensaios mecânicos, de dureza conforme norma ASTM E18-1, de desgaste conforme norma ASTM G 65-16e1, e análise microestrutural conforme norma ASTM E3-11, do metal base, sendo os Aços SAE 1045, 4140 e 4340 e no revestimento realizado com o referido consumível.

A pesquisa laboratorial foi realizada nos laboratórios de Ensaios Mecânicos e Análise Metalográficas da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – SP – Brasil



3.1 Materiais

Para realização da pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

3.1.1 Metal Base

Para soldagem de revestimento da pesquisa, foram usados como metais bases, aços que são aplicados na fabricação de rodetes, dentre os quais se destacam, SAE 1045, SAE 4140 e SAE 4340, nos estados fundidos, cujas composições químicas nominais são informadas na tabela 1.

Tabela 1 – Composição Química Metais Base

Liga Metálica	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Aço SAE 1045	0,43 – 0,50	-	0,60 – 0,90	0,003	0,005	-	-	-
Aço SAE 4340	0,38 - 0,43	0,15 – 0,35	0,60 - 0,80	0,003	0,004	0,07 – 0,90	0,2 – 0,3	1,65 – 2,00
Aço SAE 4140	0,38 - 0,43	0,15 – 0,35	0,75 – 1,00	0,035	0,040	0,8 – 1,10	0,15 – 0,25	-

Fonte: (AÇOVISA, 2022)

3.1.2 Metal de revestimento

Após seleção e obtenção dos metais base, realizou-se o processo de revestimento utilizando o eletrodo de solda dura E450 ESP da marca Fenix, cuja composição química é informada na tabela abaixo. Este eletrodo, após depósito, possui uma dureza média de 54 HRC segundo o próprio fabricante.

Tabela 2 - Composição química do depósito de solda % de peso

C	Mn	Si	Cr	P	S
0,44	1,19	0,39	4,12	0,006	0,01

Fonte: (FENIX, 2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados nas subseções a seguir.

4.1 Ensaio de Dureza

As medidas de dureza foram realizadas em Durômetro de bancada analógico tipo Rockwell C, com 5 endentações, extraindo-se a média.
A Tabela 3 mostra os resultados do ensaio de dureza apenas nos metais base.



Tabela 3 - Dureza HRC dos metais base

Identificação da Amostra	Escala	Média
1045	HRC	15,4
4140	HRC	21,8
4340	HRC	25,2

Fonte: Autores (2022)

A Tabela 4 mostra os resultados de dureza obtidos nos metais após a aplicação do revestimento com eletrodo de solda dura.

Tabela 4 - Dureza HRC dos metais pós revestimento

Identificação da Amostra	Escala	Média
1045	HRC	52,8
4140	HRC	52,1
4340	HRC	51,6

Fonte: Autores (2022)

Analisando o resultado de dureza obtido dos aços e comparando com a literatura, pode-se salientar que eles estão dentro da faixa de dureza do material. Segundo F. Martinelli (2018, p.1), o aço 1045 tem uma dureza média entre 170-220 HB o que converge com o resultado obtido no ensaio de dureza que foi 15,4 HRC que depois de convertido seguindo a norma de conversão de durezas ASTM E140-12b o valor alcançado foi de 212 HB.

4.2 Ensaio de desgaste

O ensaio de desgaste foi realizado nos laboratórios da Fatec-Sertãozinho com o abrasivo: Areia 50/70; vazão de abrasivo: 350g/min e carga de 130kn sendo realizado apenas 1 vez por corpo de prova. Foi utilizado a norma ASTM G65 procedimento “A” para realização do ensaio de desgaste com aproximadamente 6000 ciclos.

A pesagem foi realizada na balança analítica modelo AG 200. A Tabela 5 mostra o ensaio de desgaste que foi feito nos corpos de prova após o revestimento.

Tabela 5 - Resultados obtidos no ensaio roda de borracha após o revestimento

Identificação da Amostra	Massa Inicial (m0)	Massa Final (mf)	Perda de Massa (g)
1045	172,0470g	171,9118g	0,1352g
4140	199,1890g	199,0628g	0,1262g
4340	198,1560g	198,0477g	0,1083g

Fonte: Autores (2022)

A Tabela 6 exibe os resultados obtidos no ensaio de desgaste no metal base.

Tabela 6 - Resultados obtidos no ensaio de roda borracha no metal base

Identificação da Amostra	Massa Inicial (m0)	Massa Final (mf)	Perda de Massa (g)
1045	83,6313g	83,4520g	0,1793g
4140	117,0904g	116,9426g	0,1478g
4340	130,0769g	129,9067g	0,1702g

Fonte: Autores (2022)

4.3 Metalografia

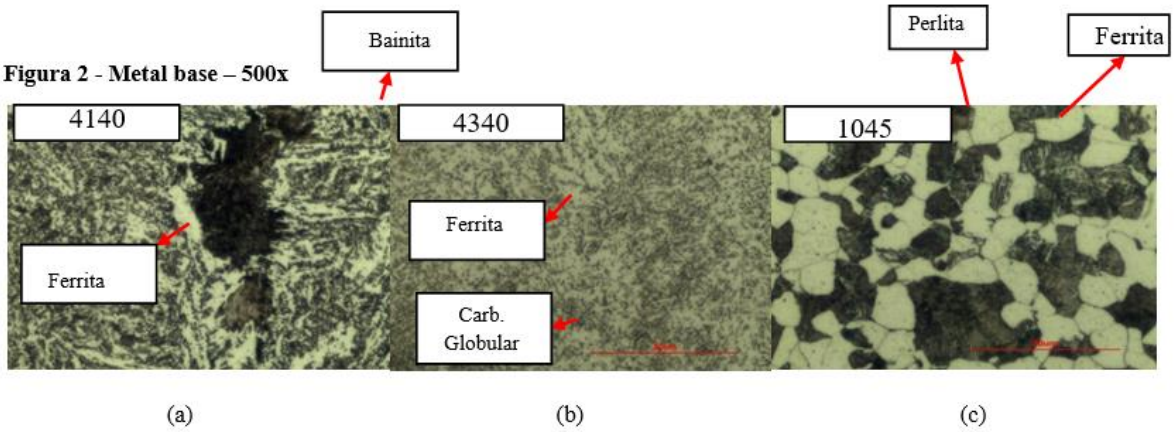
A Figura 2 mostra a metalografia feita nos três metais base (SAE 1045,4140,4340) na condição normalizado. Antes de começar a análise, é importante salientar que o processo de conformação mecânica, tratamento térmico e o processo de soldagem afetam diretamente na microestrutura dos aços analisados.

Pode-se observar, na Figura 2c o aço 1045 apresenta contornos de grão bem definidos com a matriz sendo constituída por grãos de ferrita, que é a parte mais clara, e grãos de Perlita (Ferrita + Cementita) que é a parte mais escura.

Ao analisar a Figura 2a, o aço 4140 demonstra que sua matriz é constituída por bainita que é representada pela parte mais escura e ferrita representada pela parte mais clara. Uma propriedade dos aços com matriz bainita é a elevada resistência vinculada a uma boa tenacidade pelo fato de não se tornar uma estrutura lamelar como a perlita, tendo assim resultado direto na sua tenacidade. (Hashimoto, et al, 2006).

O aço 4340 indicado na Figura 2b apresenta uma matriz ferrítica caracterizado pela parte mais clara com carbonetos globulares dispersos, geralmente chamada de estrutura esferoidizada, caracterizado pela parte mais escura, indicando que é uma estrutura com médio e alto teor de carbono. (FAGUNDES, 2006).

Figura 2 - Metal base – 500x

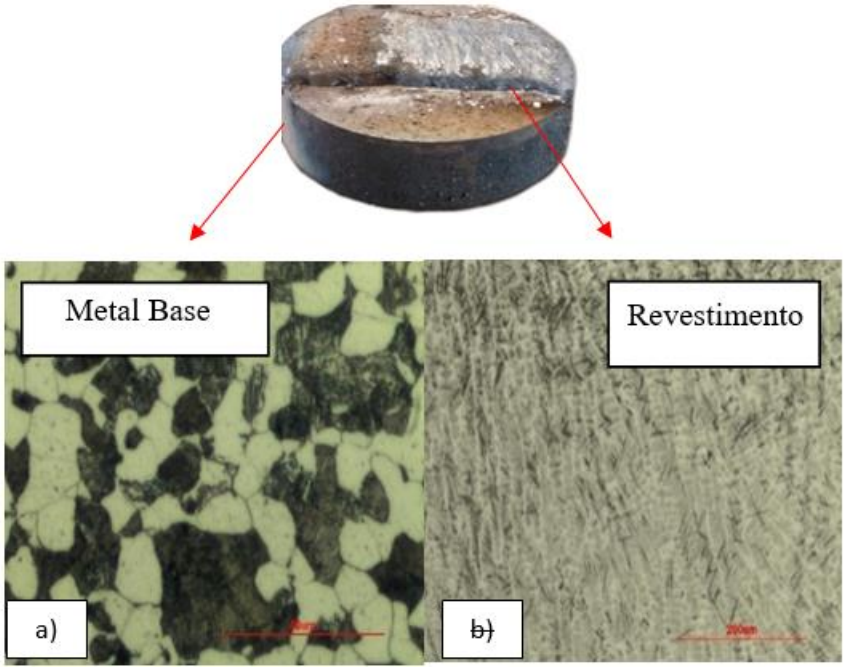


Fonte: os autores (2022)

Para que se possa entender melhor o trabalho que está sendo apresentado, buscar-se-á apresentar as terminologias utilizadas:

- Metal base é o aço que está recebendo o depósito, figura 3a;
- Revestimento é o depósito que foi aplicado sobre o metal base, figura 3b.

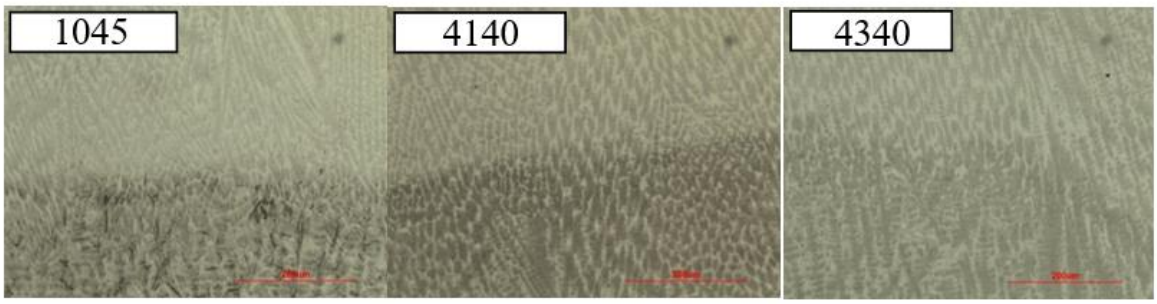
Figura 3– Identificação da amostra



Fonte: os autores (2022)

Após o revestimento com o eletrodo de solda dura pode-se observar na figura 4 uma microestrutura em formato acicular (agulhas) em ambas, que caracteriza a morfologia da martensita. Fica nítido também, que a interface entre os dois passes é bem menos visível nos depósitos aplicados sobre o aço SAE 4340, indicando maior homogeneidade da solda nesta região.

Figura 4- Revestimento entre passe 100x



Fonte: autores (2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi constatado e validado através dos ensaios de dureza e desgaste, que a soldagem com revestimento de solda dura colabora para o aumento da dureza dos aços analisados e, consequentemente, prolongamento da vida útil do componente.

Os ensaios de desgastes estão em consonância com os valores obtidos nos resultados nos ensaios de dureza, uma vez que, dureza, resistência e desgaste são propriedades



diretamente proporcionais. Para sustentar este argumento, podemos analisar o valor obtido no ensaio de dureza do aço 1045 que foi 15,4 (HRC) e a perda de massa foi de 0,1793g. Comparando com os outros dois aços, fica evidente que conforme a dureza aumenta, a perda de massa diminui.

Contextualizando os resultados obtidos nos ensaios com a metalografia, podemos entender o aumento e similaridade dos resultados de dureza com a estrutura martensítica formada após o depósito do revestimento em ambos os aços.

Em posse dos resultados similares que foram obtidos, nos ensaios de dureza e desgaste, o aço ideal para ser revestido com solda dura é o SAE 1045, pelo fato de ser o aço com a melhor relação custo-benefício.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Paulo Samuel. **Manutenção Mecânica Industrial**: Conceito Básicos e Tecnologia Aplicada. Érica, 2015.

AÇOVISA. **Produtos Siderúrgicos.** Disponível em: https://www.acovisa.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Catalogo-Acovisa-2021-Completo.pdf.Acesso em: 31 de jul. 2022.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E18-19**. Standard methods for Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials. ASTM International, USA, 2019.

_____. **ASTM G65-16e1**. Standard TestMethod for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. ASTM International, USA, 2016.

_____. **ASTM E3-11**,Standard Guide for Preparation of Metallografic Specimens. ASTM International, USA, Dec. 2011

FAGUNDES, Edson José. **Análise da influência do ciclo de Recozimento de Esferoidização nas Propriedades Mecânicas do Aço SAE 1050**. Editado pelo Autor, 2006.

FENIX. **Eletrodo Solda Dura**. Disponível em: https://mega.nz/file/UdonhKaL#Iv4mO0JOq8WJ4VeG_3Ej1FqbGffCobOB8tvYE5YPkCU. Acesso em: 12 de março de 2021.

HASHIMOTO, T.M. **Formação Bainítica em aços de baixo carbono**. São José dos Campos: Revista Brasileira de Aplicação de Vácuo, 2006.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

ROCANSALIA, **Lucas Aléssio, Estudo do processo metalúrgico de fabricação de rodetes.** 2015. Trabalho de conclusão de curso. Centro Universitário Toledo, Araçatuba, 2015.