

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO DO REVESTIMENTO FEMNCR NO AÇO ASTM A128 GRAU C

Fabricio Willer Gonçalves Farias¹, Marcos Dorigão Manfrinato²

¹ Aluno de Graduação em Tecnologia em Processos Metalúrgicos da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba. Av. Eng. Carlos Reinaldo Mendes, 2022 – Além Ponte, Sorocaba-SP, fabricio.willer@hotmail.com

² Orientador: Professor Mestre da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba. Av. Eng. Carlos Reinaldo Mendes, 2022 – Além Ponte, Sorocaba-SP, marcos.manfrinato@fatec.sp.gov.br

Resumo – O presente trabalho mostra a análise do revestimento FeMnCr soldado em peças de aço ao manganês e a sua resistência ao desgaste para utilização em britagem primária de minérios, e faz parte de um programa de pesquisas para avaliar a possibilidade de soldagem de reparo nestes aços, com garantia da integridade estrutural dos equipamentos. Foram utilizados corpos de prova de aço fundidos ao manganês do tipo Hadfield classificados pela norma ASTM A128 grau C, amplamente usados na indústria de mineração e acessórios de sistemas plantas de mineração. Foi avaliado, portanto, as propriedades de resistência ao desgaste nos efeitos da soldagem com cordões de solda em aços Hadfield. Onde foi possível notar que o revestimento de FeMnCr apresentou uma maior perda de massa em relação ao metal de base, mesmo com composições químicas similares. Sendo utilizado o método de ensaio de desgaste por roda de borracha, pode-se observar que quanto maior o tempo sem interrupções da exposição do corpo de prova em contato com a roda, ocasiona em uma maior perda de massa devido ao superaquecimento da borracha e a aderência de material abrasivo na mesma causando o desgaste por riscamento e sendo assim removendo uma maior taxa de material.

PALAVRAS CHAVE: Aço manganês, Hadfield, Solda, Desgaste, Mineração.

Abstract- The present work shows the evaluation of FeMnCr in coating parts and its analysis for use in crushing of primary materials, and makes an evaluation program for the possibility of building repair surveys in these steels, with steel guarantee Equipment structure. Industry used steel specimens and ASTM A 128 Grade C cast product types used in the mining industry and mining system accessories were used. It was evaluated, therefore, as wear resistance properties in fixing repairs with weld seams in Hadfield steels. Where it was possible to notice that the mass FeMnCr coating compared to the base metal, even with greater representation of similar models. The distribution method by rubber wheel, it can be observed that the longer the test time in contact with the wheel, the occasional greater loss due to overheating of the rubber and the adaptation to the user of abrasive material in the same substance or wear by scratching and thus a higher rate of material is removed.

KEY WORDS: Manganese steel, Hadfield, Welding, Wear, Mining.

INTRODUÇÃO

Os aços manganês austeníticos foram criados por Sir Robert Abbott Hadfield, em 1882. Foram adicionadas um teor de 7 a 20% de manganês ao aço carbono visando o aumento das propriedades mecânicas no mesmo. Foi utilizada uma proporção entre os teores de carbono e manganês de 1/10. Os aços ao Mn com a composição química na faixa de 1-1,4% C e 10-14% Mn apresentaram um aumento significativo nas propriedades mecânicas de resistência ao desgaste e de tenacidade à fratura quando comparados aos aços carbonos simples. (HADFIELD,1882).

A liga de aço manganês conhecida como aço Hadfield é geralmente utilizada em aplicações que necessitam de resistência ao desgaste e impacto. É composta comumente por 1,2%C e 13%Mn e dispõe de uma estrutura austenítica metaestável que endurece rapidamente por deformação quando sujeita a repetidos impactos, através do chamado processo de encruamento. Com esse mecanismo a austenita metaestável se transforma em martensita, podendo-se obter uma dureza em sua superfície de 500 HB, prezando as propriedades originais de seu núcleo com dureza próxima de 230 HB. Este comportamento torna essa liga muito aplicada em equipamentos para mineração como britadores, moinhos e cruzamentos de linhas férreas que requerem dureza junto a tenacidade. (MINATTO et al., 2020).

No processo de fundição dos aços Hadfield podem ocorrer defeitos que são inerentes do processo e sendo eles de variados tipos e tamanhos, dependendo do defeito, pode-se fazer a recuperação por solda na região da peça seguindo os parâmetros corretos para que mesma não seja condenada e aumente os custos da empresa, de forma que não influencie na qualidade e no desempenho da peça em serviço. (SILVA,2007).

Segundo a pesquisa de Souza, o surgimento de porosidades no aço Hadfield podem ocorrer por duas possíveis maneiras, sendo elas exógenas, que se originam devido a fragmentos de machos ou do próprio molde ou endógenas que podem surgir a partir do banho metálico. (SOUZA, 2018).

O desgaste é um fenômeno diretamente ligado com a vida útil do equipamento e ao elemento da máquina, que com isso afeta a disponibilidade dos mesmos para a produção, impactando diretamente na produtividade e eficiência da empresa. A intensidade e as condições que trabalham as máquinas e equipamentos podem acelerar os defeitos que levam a quebras prematuras do equipamento, como trabalho em ambiente corrosivo e sobre forte agente desgaste como na mineração. (VENKATESHA, 2015).

Determinados componentes dispõem de diferentes fases de falhas e geralmente não costumam falhar em uma única etapa de desgaste, mas eles falham pela junção dos vários mecanismos de desgaste sendo exercidos sobre a peça, sendo eles como adesão, erosão, abrasão, corrosão e oxidação. (MÜLLER, 2013) (VENKATESHA, 2015).

Uma das maneiras de realizar o reparo em peças que possuem defeitos do processo de fundição é a utilização do processo de soldagem a arco elétrico. A American Welding Society (AWS) define soldabilidade como "a capacidade de um material ser soldado nas condições de fabricação impostas por uma estrutura específica projetada de forma adequada e de se comportar adequadamente em serviço". No trabalho realizado por Minatto em 2020 o pesquisador estudou a aplicação de três ligas de revestimento duro, depositadas por arame tubular. Os revestimentos foram caracterizados por e ensaio de abrasão por roda de borracha conforme especificação da norma ASTM G65-16 com o objetivo de identificar o revestimento com melhor desempenho contra o desgaste abrasivo entre duas ligas similares de FeCrC+Nb e FeCrC+Ti. Os resultados alcançados demonstram que a liga FeCrC+Ti, com microestrutura martensítica e maior teor de carbono dentre as analisadas, apresentou a maior resistência ao desgaste abrasivo (MINATTO et al., 2020).

OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho é analisar a resistência ao desgaste abrasivo conforme a norma ASTM G65-16 dado revestimento de FeMnCr em peças fundidas de aço Hadfield realizado pelo processo de arame tubular (FCAW), avaliando a taxa de desgaste na região soldada com arame tubular e na região sem solda.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Manganês (Mn) tem como sua principal função estabilizar a fase austenítica, causando um atraso na formação de martensita no material, o Mn é um elemento gamagênico, que mantém a fase Gama γ (Austenita) em temperatura ambiente. Souza explica a comparação de se realizar um resfriamento em um aço carbono simples contendo um teor de Mn de 1%, onde ocorreria uma transformação isotérmica por volta de 370° C, em um tempo de 15 segundos, e se o mesmo procedimento fosse realizado com o mesmo aço, mas contendo 13% de Mn, a transformação isotérmica poderia levar mais de dois dias para ocorrer. (SOUZA, 1989).

Segundo o pesquisador Modenesi, na maior parte dos casos, o calor e/ou a deformação plástica que são gerados pela solda, podem alterar a microestrutura do metal de base, ressaltando que as soldas podem apresentar defeitos típicos como trincas, inclusões ou até mesmo descontinuidades e entre outros. (MODENESI, 2011).

Afirma Venturelli, que a energia de falha de empilhamento (EFE) está correlacionada com os mecanismos de deformação plástica e as suas propriedades, visto que a maneira como se advém a deformação plástica do aço, onde é possível que ocorra transformação martensítica, um deslizamento de discordâncias e originar a formação de maclas mecânicas e assim esses fatores dependem da energia de falha de empilhamento. (VENTURELLI, 2018).

Segundo Curtze e Kuokkala os aços manganês austeníticos possuem um mecanismo de deformação que depende da energia de falha de empilhamento, típico de ocorrer em metais que apresentam a estrutura cristalina cúbica de face centrada (CFC), tendo assim dois fatores que influenciam a energia de falha de empilhamento de um material, são eles a composição química do material e a sua temperatura. (CURTZE; KUOKKALA, 2010).

A Figura 1 apresenta três aços com diferentes EFE, em temperatura ambiente os aços austeníticos que possuem o EFE acima de 50 mJ/m² ocorre a deformação por escorregamento de discordâncias já nos aços com EFE abaixo de 18mJ/m² ocorre a transformação de fase de austenita para martensita, já nos aços com EFE consideradas mediana entre 18 e 50mJ/m² a deformação plástica ocorre por maclação. (CURTZE; KUOKKALA, 2010).

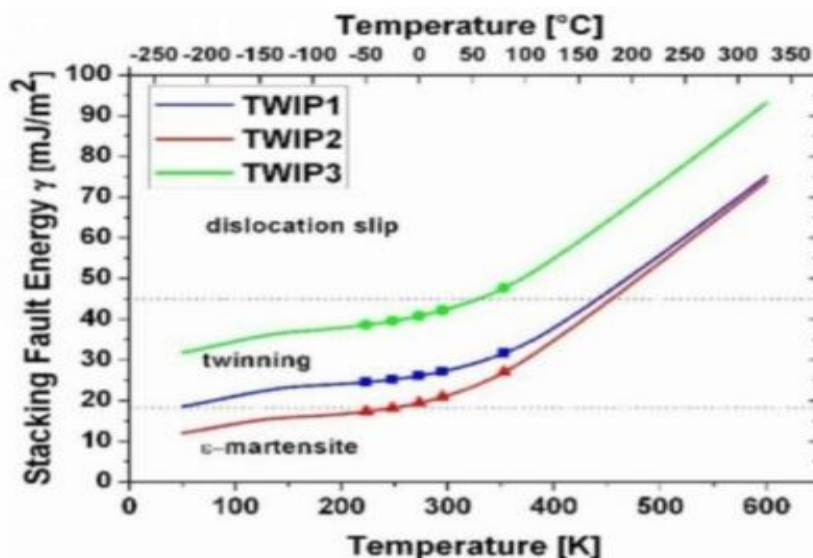


Figura 1 – Influência da energia de falha de empilhamento no mecanismo de deformação plástica em três aços austeníticos com variação da temperatura. Fonte: (CURTZE; KUOKKALA,2010 apud VENTURELLI, 2018).

Na tentativa de juntar as vantagens do processo MIG / MAG (semiautomático ou automático) com o processo de soldagem por eletrodo revestido, foi criado o processo de soldagem com arame tubular. O eletrodo maciço foi substituído pelo arame tubular com alma de fluxo fusível similar ao usado no processo de soldagem de arco submerso. Os arames tubulares podem ser de dois tipos, como o autoprottegido, que tem a proteção da poça de fusão e do arco originada por um fluxo de pó que está contido no núcleo do arame tubular e não necessita de um gás adicional de proteção para o processo ou os arames tubulares com proteção adicionais de gases, que ainda com o gás gerado pelo fluxo, se faz necessário uma quantidade adicional de gás, que passa pelo mesmo bocal onde o arame tubular passa, sendo os gases mais utilizados o 100% de gás carbônico CO₂; Argônio(Ar)+2% de oxigênio O₂ e Argônio (Ar)+ 18 á 25% de Gás carbônico CO₂. (DA LUZ, 2018)

A escória formada sobre o metal de solda possui as mesmas funções metalúrgicas das usadas nos processos de soldagem com eletrodo revestido e arco submerso. Aliada a estas funções, a escória promove um ótimo acabamento. Pode-se obter altas taxas de deposição, boa penetração da solda e velocidades de soldagem altas quando utilizados arames de diâmetro maior e bandas de corrente elétricas mais altas. (MOTA, 1998).

O pesquisador Modenesi relata que os aços possuem um grande problema em relação a sua soldabilidade, como por exemplo a formação de trincas que surgem devido ao hidrogênio presente, principalmente na zona afetada pelo calor (ZAC). Todavia existem problemas mais próprios sendo a diminuição da tenacidade na ZAC, ou na zona fundida (onde pode ocorrer a formação de estruturas de granulação grosseira, no decorrer da soldagem com elevado aporte térmico, e a formação de martensita em soldagem com baixo aporte térmico), também pode originar a formação de trincas de

solidificação em peças que estejam contaminadas ou que também estejam expostas a um alto aporte térmico durante a soldagem). Logo que uma seleção inadequada de consumíveis ou de um projeto ou execução incorretos, podem ocorrer problemas de porosidade, mordeduras, falta de fusão, corrosão, etc. (MODENESI, 2011)

No trabalho realizado por Mota, explica que o equipamento de soldagem por arame tubular auto protegido, necessita somente de uma fonte de energia e de um sistema de alimentação do arame, e não se faz necessário um sistema de armazenamento e alimentação externa de gás, este processo permite visualizar tanto o arco voltaico como a poça de fusão. O fluxo é constituído por minerais e componentes metálicos, o que permite a comercialização, em um baixo custo, com variados tipos de arames, entretanto utilizando sempre um único tipo de capa metálica. (MOTA, 1998). Com esse tipo de processo é possível obter uma maior produtividade e assim uma menor probabilidade de que surjam descontinuidades nas soldas, sendo o arame tubular contínuo, isso permite o processo ocorra de maneira mais produtiva, pois não será necessário parar a operação para realizar a troca dos eletrodos. (MOTA, 1998).

Boniszewski e Widgery relatam que a frequência e a severidade com que as falhas ocorrem nos processos de soldagem como por exemplo: a falta de fusão, a falta de penetração, as inclusões de escória, as inclusões de óxidos, porosidade e entre outras são menores nas juntas de arames tubulares auto protegidos do que nos processos que utilizam eletrodos revestidos. (BONIZEWSKI, 1992) (WIDGERY, 1994).

Segundo a norma ASTM A 128/A 128M, (A128/A128M) é autorizado realizar a manutenção por solda nas peças desgastadas de aço manganês, porém alguns cuidados precisam ser tomados, como por exemplo, não permitir que a temperatura atinja a marca de 250°C pois pode deixar o material fragilizado, devido a precipitação dos carbonetos nos seus contorno de grãos. Indica-se manter a temperatura de interpasse abaixo dos 250°C dentro de um raio de 12 mm, contando a partir da superfície de onde será aplicada a solda. (MINATTO et al., 2020). Na Figura 2 apresenta-se um esquema da soldagem a arame tubular autoprotegido.

O esquema representado a seguir na figura 2 mostra o tubo de contato da pistola de soldagem, que possui um arame tubular que na medida de seu consumo vai se auto alimentando, entrando em contato com o material de base e abrindo um arco elétrico que causa coalescência do arame com material a ser soldado.

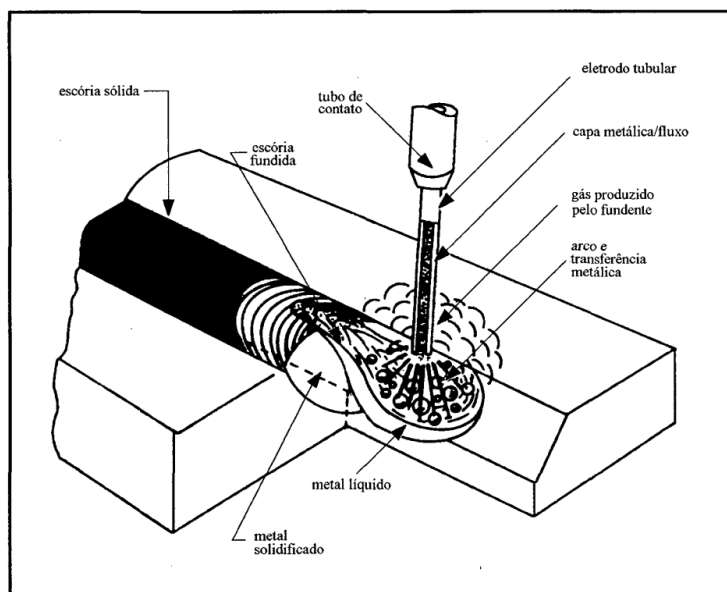


Figura 2 – Esquema de soldagem com arame tubular auto protegido. (NÚCLEO TECNOLÓGICO DE SOLDAGEM & QUALIDADE, 2002).

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foram utilizados corpos de prova de aço manganês ASTM A128 grau C.

Os corpos de prova possuem as seguintes dimensões 100 mm de largura e 250 mm de comprimento e 30 mm de espessura. Foram realizadas análises químicas em percentagem em peso com auxílio de um espectrômetro de emissão óptica da marca Espectro modelo Espectromax onde foram realizadas 5 queimas em cada amostra para apresentar a média da composição química. A Tabela 1 apresenta a composição nominal em percentagem em peso.

Tabela 1 - Composição química nominal em percentagem em peso do aço manganês ASTM A128 grau C.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Al	N	O
1,20%	17,00%	0,60%	-	-	1,75%	Máx - 0,045%	Máx -0,040%	Máx -1,5%

(ASTM A128/A128M,2017)

Os dois corpos de prova foram submetidos ao tratamento térmico de solubilização em forno mufla da marca EDH modelo ER1200 pertencente à FATEC de Sorocaba.

O tratamento térmico de solubilização foi conduzido com uma rampa de aquecimento de 8 horas com uma taxa de aquecimento de 140°C por hora até atingir o patamar permanecendo a 1120°C onde os corpos de prova permaneceram dentro do forno por 3 horas, em seguida foi realizado o resfriamento brusco em água.

O corpo de prova de metal de base foi apenas solubilizado, enquanto o corpo de prova soldado foi solubilizado e aplicado um revestimento de amanteigamento com eletrodo de aço inoxidável pelo processo de arame tubular (FCAW) auto protegido com a composição química conforme especificado na Tabela 2. Para o amanteigamento foi utilizado o arame tubular, Kestra Kst Tub 4370 AO (DIN EN 14700), a soldagem foi realizada na posição plana com tensão CC+ com 27V, corrente de 280A, com uma velocidade de soldagem de 180mm/min e diâmetro do arame tubular de 1,2mm. O equipamento de soldagem utilizado pertence à FATEC Sorocaba sendo a marca Lincoln modelo Powertec 305C. A temperatura de interpasse foi menor que 250°C medida com pirômetro óptico.

Tabela 2 - Composição do arame tubular de aço inoxidável auto protegido (DIN EN 14700)

C	Mn	Cr	Ni	Fe
0,12%	6%	19%	9%	Bal.

(KESTRA,2020)

Após o amanteigamento no corpo de prova soldado, o mesmo foi submetido a soldagem de enchimento multipasses com arame tubular de manganês da Kestra ASME SFA-5.21 FeMnCr, com a composição química em percentagem em peso apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química nominal do arame tubular de manganês.

C	Cr	Mn	Mo	Ni	P	S	Si
0,528%	2,436%	13,53%	0,003%	0,389%	0,031%	0,027%	0,636%

(KESTRA,2020)

A Figura 3(a) apresentada o esquema da soldagem com o amanteigamento e os dois passes com arame tubular de manganês e a Figura 3(b) apresenta a vista superior do corpo de prova após a soldagem das 2 camadas. Utilizou-se uma máquina de soldagem multiprocessado da marca Linconl modelo Powertec 305C pertencente a FATEC Sorocaba com uma tensão de 26V, polaridade positiva, corrente de 270A, soldagem na posição plana e velocidade de soldagem de 450mm/min e diâmetro do arame de 1,6mm. A temperatura de interpasse foi menor que 230°C medido com pirômetro óptico.



Figura 3 – Soldagem de enchimento do corpo de prova. (a) esquema representativo das camadas soldadas. (b) superfície do corpo de prova após soldagem.

Realizou-se os ensaios de desgaste abrasivo por roda de borracha conforme determinado pela norma ASTM G65-16. As dimensões dos corpos de prova para o material soldado e sem solda estão apresentadas na Figura 4(a). O abrasômetro é um equipamento que aplica uma força normal em um disco metálico revestido na superfície com borracha, que rotaciona no mesmo sentido do fluxo abrasivo que se encontra entre a borracha e a amostra, ocasionando o desgaste a três corpos. O equipamento utilizado neste trabalho pertence a FATEC de Sertãozinho-SP. A Figura 4(b) ilustra o esquema do abrasômetro roda de borracha.

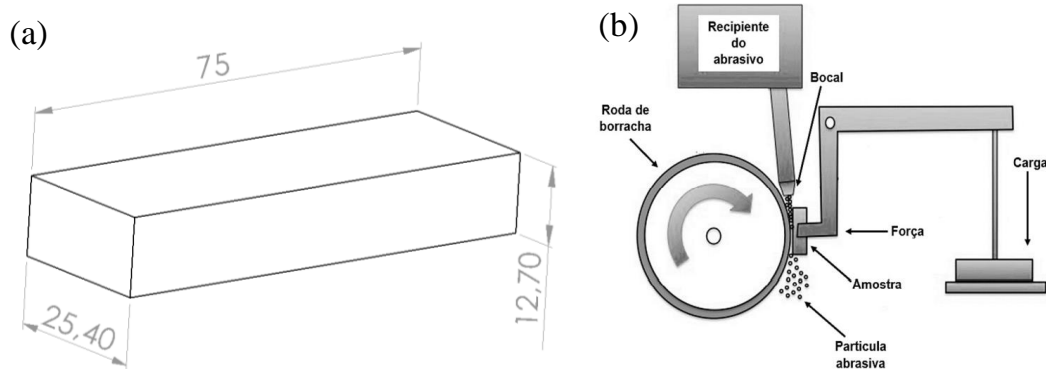


Figura 4 – Ensaio de microdesgaste abrasivo por roda de borracha. (a) dimensões do corpo de prova em milímetros. (b) ilustração adaptada do abrasômetro roda de borracha de acordo com a norma ASTM G65-16 (TEODORO,2021).

Os ensaios de microdesgaste abrasivos por roda de borracha foram os especificados pelo procedimento B da norma ASTM G65-16. O procedimento B da norma pede uma carga aplicada com uma força de 130N com 2.000 rpm de frequência do giro da roda mantendo a vazão do abrasivo uma areia AFS 50/70 de granulometria 212 μm a 300 μm com 350g/min.

Utilizou-se a variação de tempo para os ensaios, sendo dois corpos de prova de cada condição (sem solda e soldado) feito de 10 em 10 minutos até 60 minutos de ensaio ao total e 1 corpo de prova das duas condições (sem solda e soldado) durante intervalo de 30 minutos até atingir 60 minutos.

Posteriormente aos ensaios, as amostras foram limpas com álcool etílico e ar comprimido com 4 bar de pressão e pesadas antes e após o ensaio. Para pesar os corpos de prova em cada etapa de tempo utilizou-se uma balança analítica com resolução de 0,0001g da fabricante Gehaka modelo AG-200, pertencente a FATEC de Sertãozinho.

Para a análises das superfícies depois do ensaio de abrasão com roda de borracha foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura (MEV) no modo elétrons retro espalhados. O MEV de bancada é do fabricante Hitachi modelo TM3000, o equipamento pertence ao Laboratório de Biomassa da UFSCar Campus de Sorocaba.

Para avaliar a confiabilidade dos gráficos apresentados foi utilizado a regressão linear onde a taxa de desgaste é a inclinação da reta e deve ser calculada pelo método da regressão linear para equação do 1º grau com auxílio do software Origin.® conforme realizado por Manfrinato em 2020. O parâmetro R da regressão linear é o quanto perto da reta da regressão os pontos da perda de massa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da composição química em percentagem em peso com auxílio do espectrômetro de emissão óptica estão apresentados na Tabela 4. O material possui a composição química dentro da especificação apresentadas na Tabela 1.

Tabela 4 Composição química em percentagem em peso do aço ao manganês ASTM A128 grau C.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Al	N	O
1,16	12,47	0,77	0,01	0,015	0,45	0,017	0,026	0,71

Observa-se que a perda de massa acumulada aumenta com o aumento do tempo de ensaio. Os ensaios realizados de 10 em 10 minutos apresentam uma menor perda de massa do que os realizados de 30 em 30 minutos. Observa-se que os corpos de prova soldados com o revestimento do arame

tubular ASME SFA-5.21 FeMnCr apresentaram maior perda de massa que os corpos de prova sem solda em todas as condições ensaiadas.

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos do desgaste abrasivo com roda de borracha.

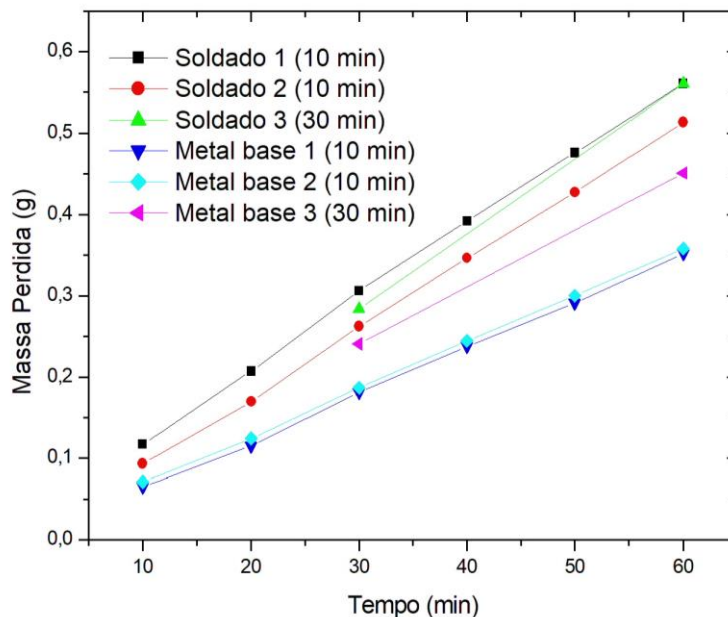


Figura 5 – Gráfico da massa perdida em gramas em função do tempo de ensaio para todas as condições de ensaio.

Com relação ao tempo de realização do ensaio de desgaste abrasivo com roda de borracha, observa-se na Figura 6 que o tempo de 30 em 30 minutos apresentaram uma maior perda de massa que os ensaios realizados de 10 em 10 minutos. Os ensaios realizados de 30 em 30 minutos são os descritos na prática B da norma ASTM G65-16. Nesse tempo de ensaio a roda fica em contato muito tempo com a amostra e as partículas da areia, o que acaba aquecendo a borracha e a amostra. Observa-se apenas para o ensaio de 30 em 30 minutos que a borracha da roda está com areia impregnada o que pode justificar a severidade maior desse ensaio do que no tempo de 10 em 10 minutos.

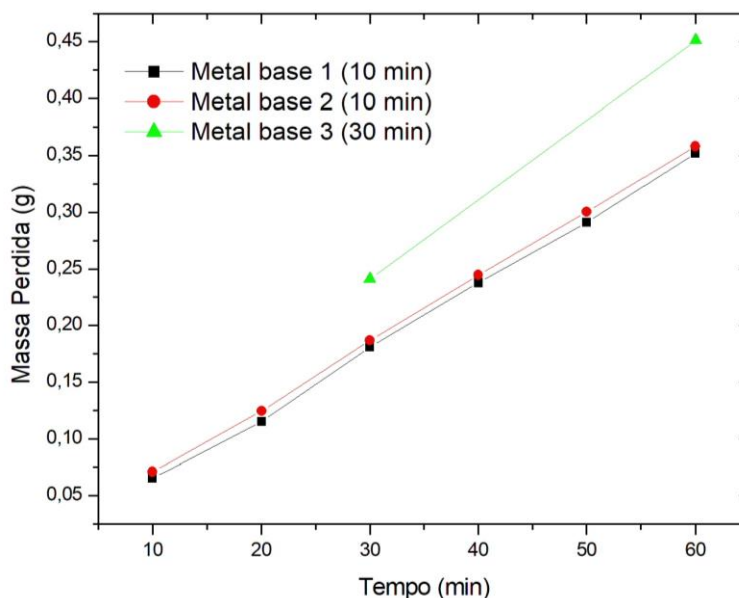


Figura 6 – Gráfico da massa perdida em gramas em função do tempo de ensaio para o metal de base ensaiado de 10 em 10 minutos e de 30 em 30 minutos.

Outra forma de analisar os gráficos da massa perdida em função do tempo de ensaio é através da taxa de desgaste. A Figura 7 apresenta a regressão linear para todas as condições em que foram realizados os ensaios de desgaste abrasivo por roda de borracha. Observa-se nessa Figura 7 que para os ensaios realizados de 30 em 30 minutos não se tem o fator R, pois são apenas dois pontos, e dessa forma, apenas uma reta pode passar entre esses dois pontos e com isso tem-se o R valendo 1 (100% dos pontos estão na reta da regressão linear) é descartado (MANFRINATO, 2020).

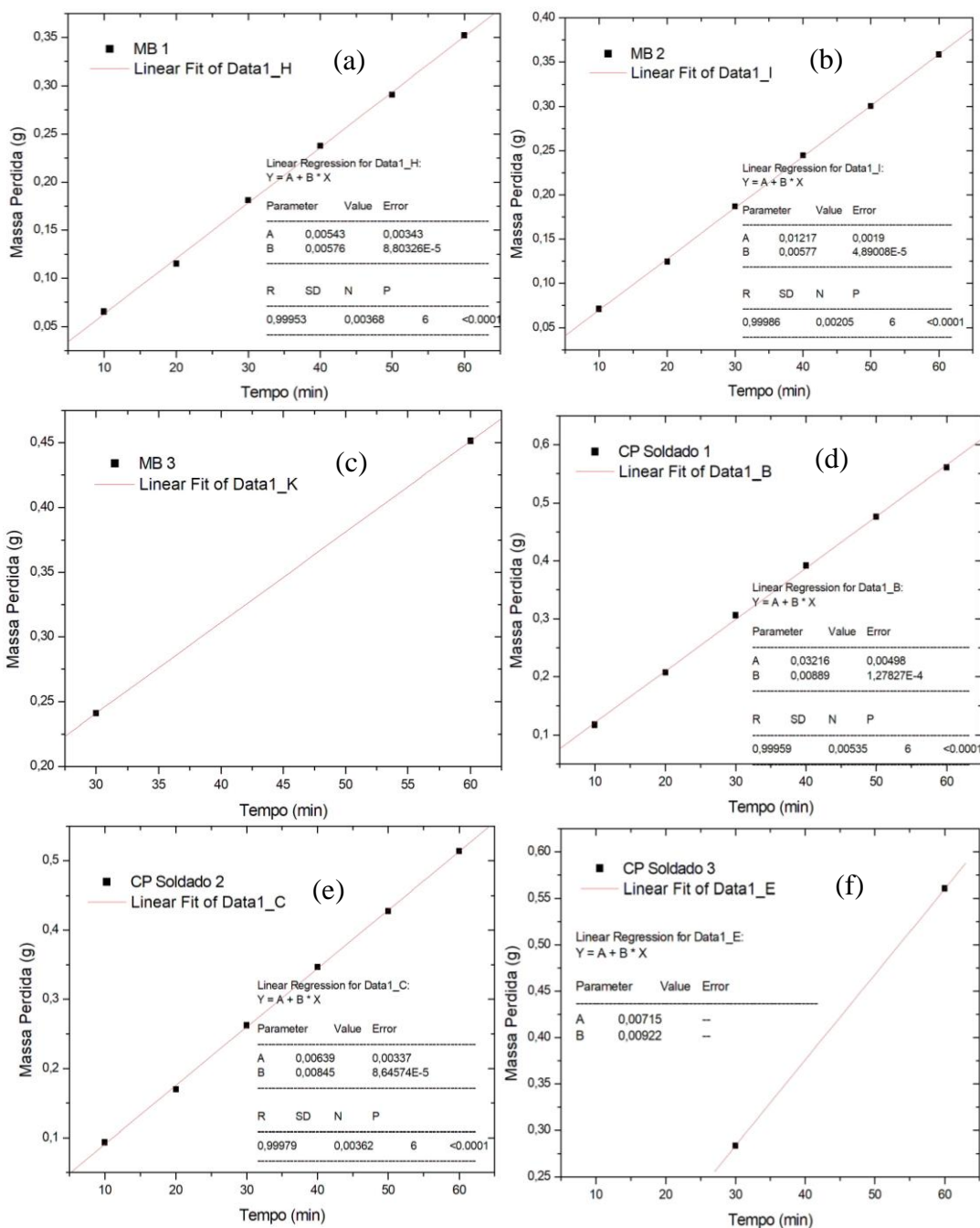


Figura 7 – Determinação da taxa de desgaste (g/min) para as condições (a) MB 1, (b) MB 2, (c) MB 3, (d) CP Soldado 1, (e) CP Soldado 2 e (f) CP Soldado 3.

Para facilitar a visualização da taxa de desgaste apresentada na Figura 7, os dados estão apresentados na Tabela 5. A taxa de desgaste do revestimento soldado apresentou para os ensaios realizados de 10 em 10 minutos uma taxa média de $8,6 \cdot 10^{-3}$ g/min, já os ensaios de desgaste abrasivo realizado de 30 em 30 minutos uma taxa média de $5,7 \cdot 10^{-3}$ g/min. O dado R da regressão linear é uma medida estatística de quão próximos os dados estão da linha de regressão ajustada, e os valores obtidos para os ensaios realizados de 10 em 10 minutos de 0,999, ou seja, 99,9% dos pontos do ensaio de desgaste abrasivo por roda de borracha estão muito próximos, ou mesmo, sobre a própria reta ajustada pela regressão linear.

Tabela 5 – Taxa de desgaste e desvio padrão para cada condição de ensaio.

	Média da taxa de Desgaste (g/min)	Desvio Padrão	R
CP Soldado 1	$8,89 \cdot 10^{-3}$	$1,27827 \cdot 10^{-4}$	0,999
CP Soldado 2	$8,45 \cdot 10^{-3}$	$8,64574 \cdot 10^{-5}$	0,999
CP Soldado 3	$9,22 \cdot 10^{-3}$		
MB 1	$5,76 \cdot 10^{-3}$	$8,80326 \cdot 10^{-5}$	0,999
MB 2	$5,77 \cdot 10^{-3}$	$4,89008 \cdot 10^{-5}$	0,999
MB 3	$7,01 \cdot 10^{-3}$		

Ao analisar a taxa de desgaste para a condição de ensaio de 30 em 30 minutos observa-se que ocorreu um aumento do valor em relação ao ensaio de 10 em 10 minutos. Obteve-se uma taxa de desgaste para o revestimento soldado de $9,2 \cdot 10^{-3}$ g/min e para o metal de base de $7,01 \cdot 10^{-3}$ g/min. A severidade do ensaio de 30 em 30 minutos ser maior demonstra que o ensaio de desgaste aquece tanto o corpo de prova quanto a borracha da roda devido ao maior tempo de ensaio. Dessa forma, a borracha da roda mantém a areia abrasiva aderida em sua superfície.

Segundo Cozza em 2018, para classificar se o desgaste foi realizado por rascamento ou rolamento deve-se analisar as marcas de desgaste produzidas pelas partículas na superfície do corpo de prova, como demonstra a Figura 8. Ao se considerar o movimento de duas superfícies em movimento relativo, no desgaste por rascamento, as partículas abrasivas estão aderidas, porém, não precisam estar incrustadas ou fixadas na superfície, como mostra a Figura 8(a), (b) e (c), contém rascamento evidentes por sulcos. Já na Figura 8(c) também contém rascamento e apresenta manchas em escuro que são os abrasivos.). No desgaste por rascamento as partículas realizam somente o movimento de translação, ou seja, deslizamento sobre o contra corpo. Já no desgaste por rolamento, as partículas abrasivas estão livres entre as duas superfícies, podendo rolar entre estas superfícies, conforme ilustra a Figura 8(b) e Figura 8(d) (COZZA, 2018).

A Figura 8(a), (b) e (c), contém rascamento evidentes por sulcos. Já na Figura 8(c) contém rascamento também e as manchas em escuro são abrasivos.

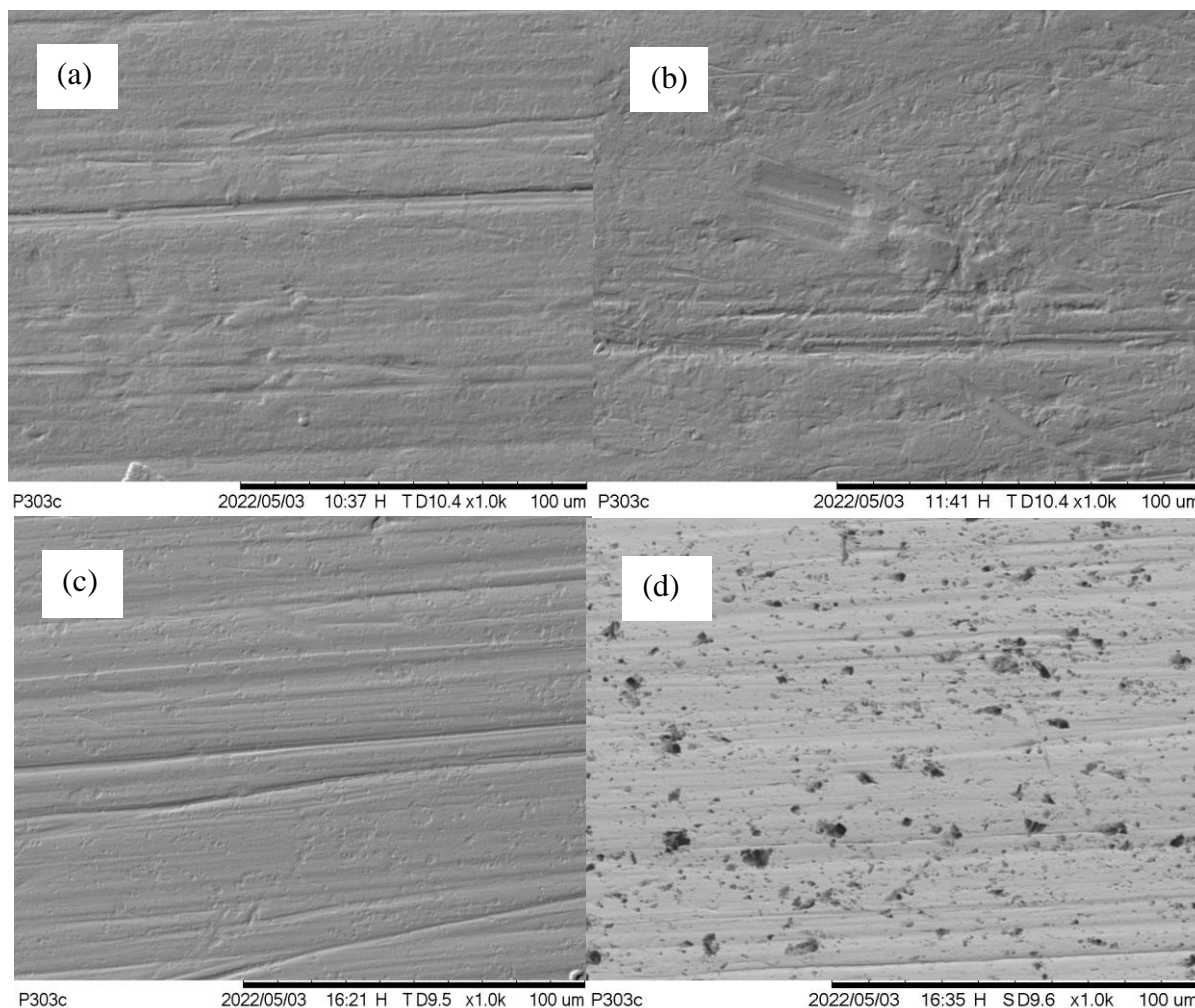


Figura 8 – Imagens de topografia da superfície dos corpos de prova realizadas no MEV de bancada com aumento de 1000x após o ensaio de desgaste com roda de borracha para (a) revestimento soldado ensaiado de 10 em 10 minutos; (b) revestimento soldado realizado ensaio de 30 em 30 minutos; (c) MB ensaio de 10 em 10 minutos e (d) MB ensaio de 30 em 30 minutos.

CONCLUSÕES

Com o trabalho apresentado é possível concluir que o revestimento de FeMnCr não apresentou defeitos como trincas e porosidades visualmente, porém apresentou uma menor resistência ao desgaste abrasivo, sendo assim uma maior taxa de desgaste em comparação com o metal de base do aço ASTM A128 Grau C.

Com relação ao procedimento dos ensaios de roda de borracha de 10 em 10 minutos e de 30 em 30 minutos pode-se concluir que o ensaio realizado de 30 em 30 minutos apresentou uma massa perdida e uma maior taxa de desgaste maior do que os ensaios realizados de 10 em 10 minutos.

Como observado durante o ensaio que o tempo de ensaio de 30 minutos ocorreu aderência de areia na borracha devido ao aumento de temperatura devido ao contato entre a roda o corpo de prova e a areia.

As análises das superfícies após o ensaio de desgaste abrasivo por roda de borracha apresentam, independente ao tempo do ensaio, duas formas de desgaste, riscamento e rolamento na pista de desgaste.

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui meus agradecimentos, primeiramente a Deus por sempre ter me dado forças e por ter me dado uma família que sempre me apoiou em todas minhas escolhas e se fez presente quando mais precisei, à minha mãe Maria, à meu pai Marcio, à minha irmã Giovana, à minha namorada Stela, que tiveram compreensão em meus tempos ausentes por conta dos estudos.

À meus professores Marcos Dorigão, da Fatec Sorocaba por toda ajuda e tempo dedicado na elaboração do trabalho e aos ensinamentos que serão levados para toda a vida, ao Guilherme Vacchi da Fatec Sertãozinho, pela paciência e disposição em poder ajudar a realizar os ensaios de desgaste.

Ào professor Hamilton do SENAI, pela ajuda com a preparação dos corpos de prova.

Àos meus amigos de curso e todo o pessoal do laboratório da Fatec Sorocaba, Rafael, Felipe, Maicon, Miguel, Cesinha, Karine, Douglas, João, Pedro e Ivan.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM A128/A128M – 93 (2017), “Standard Specification for Steel Castings, Austenitic Manganese”, ASTM, vol. A128/A 128M.

ASTM G65. ASTM G65-16. **Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus.** ASTM Special Technical Publication. < <http://10.1520/G0065-16R21>>

BONIZEWSKI, Dr. T. **Self-Shielded arc Welding** (1992). Hand book, Cambridge, England. Abington Publishing.

COZZA, R.C.. **Estudo da Obtenção do Regime Permanente de Desgaste em Ensaio de Desgaste Micro-abrasivo por Esfera rotativa Conduzidos em Corpos de Prova de WC-Co P20 e aço Ferramenta M2 Tool Steel.** Revista Matéria, v.23 n° 1. 2018. doi: 10.1590/S1517-707620170001.0322.

CURTZE, S., KUOKKALA V.-T. **Effects of temperature and strain rate on the tensile properties of twip steels.** (2010) Department of Materials Science, Tampere University of Technology, Tampere, Finland. v. 15, n. 2, p. 157–163.

DA LUZ, G., **Soldagem com arame tubular. Curso de especialização em soldagem.** (Pós-graduação na Faculdade SENAI Rio. Rio de Janeiro, 2018. <https://www.soldagem.gelsonluz.com/2018/09/o-que-e-soldagem-fcaw-com-arames-tubular.html>

DA MOTA C.A.M. **Níquel e manganês como controladores da tenacidade na soldagem com arames tubulares auto protegidos.**(1998). Trabalho de pós - graduação em engenharia mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 199.

MANFRINATO, M.D.; RODRIGUES, R.S.E.; PINTO, A.L.O.; ROSSINO, L.S./ KLIAUGA, A.M. **Estudo das Propriedades Tribológicas e em Corrosão do Aço Inoxidável AISI 321.** Anais do I Congresso de Engenharia da Rede de Cooperação em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Materiais e Equipamento para o Setor Industrial Brasileiro (engBRASIL 2020), UFRN, 2020. Disponível em <http://www.redepdimat/engbrasil2020>.

Manual de consumíveis de soldagem., **KESTRA Universal Soldas Ind., Com., Imp. e Exp. Ltda** São Paulo, Atibaia, 2020. Acesso em: [Kestra Consumíveis de Soldagem](#). Acessado em 20/05/2022.

MINATTO, R. M., COSTA, A. F. da, & DALEFFE, A. (2020). **Estudo comparativo da resistência ao desgaste abrasivo de baixa tensão de três ligas metálicas aplicadas em**

revestimento duro sobre aço manganês hadfield. *Brazilian Journal of Development*, 6(11), 84267–84278. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-004>.

MODENESI.P., **Soldabilidade de algumas ligas metálicas.** (2011). Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal de Minas Gerais. p. 1-26.

MÜLLER. M., HRABĚ.P. **Overlay materials used for increasing lifetime of machine.**(2013). Prague, Czech Republic: Res. Agr. Eng, p. 16-22.

NÚCLEO TECNOLÓGICO DE SOLDAGEM & QUALIDADE. **Manual de tecnologia de fabricação e soldagem.**2002. [Manual de Processos de Soldagem.pdf](#).. Acessado em: 29/05/2022.

SOUSA.A.P (2018). **Estudo de porosidade no aço manganês austenítico tipo Hadfield .** *Trabalho de conclusão de curso* apresentado á Fatec Sorocaba.

SOUZA SA. **Composição química dos aços.** Ed Edgard Blucher 1º edição 1989 82-84.

TEODORO, M.R. **Estudo Comparativo da Resistência ao Desgaste Abrasivo de Revestimentos Duros dos Tipos FeCrC, FeMn, FeTiCW e FeNbC.** *Dissertação (Mestrado)* - Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, 2021.

VENKATESHA.B., SRIKERA.K. (2015). **Wear characteristics of hardfacing alloys:State of-the-art.** K. S. 2nd International Conference on Nanomaterials and Technologies, (CNT 2014). 2ª. ed. Hyderabad, Índia: ScienceDirect, v. 2.

VENTURELLI B.N. **Efeito do refinamento do tamanho de grão pela adição de Hf nas propriedades mecânicas de tração e impacto do aço Hadfield.** *Dissertação de mestrado* apresentado à escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2018. (1) 20-51.

WIDGERY. D.,**Tubular Wire Welding.** (1994) Hand book Cambridge England.Woodhead Publishing.

FAGUNDES, A. B. ; VAZ, C. R. ; OLIVEIRA, I. L. **Caminhos para a Sustentabilidade do Setor de Fundição no Brasil.** In: XII SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 2009, São Paulo.

SILVA, T.C. **Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição.** Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, 2007.