



AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE REVESTIMENTOS SOLDADOS PARA APLICAÇÃO EM BRITADOR DE CARVÃO MINERAL

Guilherme Schulter Sumara¹

Adelor Felipe da Costa²

Fabio Peruch³

Alexandre Milanez⁴

José Luiz Salvador⁵

Resumo: O britador é um equipamento do setor de mineração que demanda manutenção diária em seu revestimento responsável pela quebra do carvão. O desgaste abrasivo que ocorre nesse sistema é o principal responsável pela necessidade de tais manutenções. O presente trabalho trata do estudo de ligas alternativas que objetivam aumentar a vida útil do revestimento nos equipamentos, diminuindo a necessidade de uma manutenção tão frequente e conseqüentemente reduzindo os custos do setor. Um caminho a seguir para isso acontecer é o uso de outro tipo de liga de revestimento duro. O estudo a seguir irá apresentar além da liga usada atualmente, mais três ligas alternativas, todas elas como arames tubulares soldadas através do processo FCAW. O objetivo final seria indicar e sugerir outra liga à empresa carbonífera em que o trabalho foi realizado. Para tanto foram realizados testes microestruturais e ensaios em corpos de prova em que as ligas estudadas foram soldadas. Os ensaios são os estudos principais deste trabalho uma vez que simula o ambiente abrasivo do equipamento. O principal ensaio, com roda de borracha para verificar a abrasão, normatizado pela ASTM G65, irá apresentar qual liga possui a melhor propriedade antidesgaste. Os resultados obtidos demonstraram um melhor desempenho para as ligas que possuem teores de Titânio, material altamente formador de carbonetos que apresentam sua estrutura microestrutural arredondada, da qual apresenta maior resistência abrasiva. A liga com Titânio apresentou, além da menor taxa de desgaste entre as ligas, uma maior dureza e um acabamento de solda quase isento de trincas e falhas.

Palavras-chave: Revestimento Duro. Soldagem. Carbonetos. Britagem. Desgaste abrasivo.

1 INTRODUÇÃO

A mineração de carvão é uma atividade econômica de grande importância para os municípios da região de Criciúma, sendo responsável pelo surgimento e

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, UniSATC. E-mail: guilhermeschulter@hotmail.com

² Prof. UniSATC. E-mail: adelor.costa@satc.edu.br

³ Prof. UniSATC. E-mail: fabio.peruch@satc.edu.br

⁴ Prof. UniSATC. E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br

⁵ Prof. UniSATC. E-mail: jose.salvador@satc.edu.br



desenvolvimento de diversas cidades. Em contexto mais abrangente a mineração tem grau elevado de importância para história do Brasil, principalmente na extração de ouro e metais. A relação das cidades da região da AMREC com a extração de carvão mineral teve início na década de 50, não apenas pelo grande consumo nas siderúrgicas nacionais, mas também, e principalmente pelo surgimento da Sociedade Termelétrica de Capivari, que veio a ser conhecido futuramente como Tractebel (BELOLLI et al, 2010).

Um equipamento crucial ao processo da mineração nos dias atuais é o chamado britador, responsável pela separação do material aproveitável do material destinado ao descarte, que acontece através do impacto e contato do material minerado bruto que levado por uma correia transportadora, cai sobre dois rolos revestidos de material duro em rotação. Além disso, o britador também deve diminuir a granulometria do carvão mineral para este seguir o processo.

O problema do seguinte trabalho surge no momento em que ocorre a quebra e desgaste demasiado no equipamento de separação do carvão. O desgaste é um fator inevitável ao equipamento devido aos processos tribológicos que ocorrem, porém, deveria ocorrer em menor quantidade, e a quebra é um problema que não deveria existir, ou, pelo menos, existir com menor incidência.

Apesar de o objeto de estudo surgir na indústria da mineração de carvão, o desgaste de componentes também é encontrado na maioria das empresas do ramo metal mecânico, cerâmico e alguns setores da agricultura. Redução de custos e otimização da produção são termos amplamente discutidos entre as organizações e profissionais desses setores.

O desgaste e quebra do equipamento ocasiona não apenas paradas diárias de máquina como também efeitos colaterais para o processo, como redução do faturamento, aumento do consumo de consumíveis de solda, necessidade de um operador exclusivo para o equipamento e também aumento na quantidade de material de boa qualidade para descarte.

Cientes dos danos ocasionados pelo desgaste, as instituições de ensino, muitas vezes auxiliadas pelas empresas, estudam o desgaste afim de minimizá-lo ou evita-lo. Muitas vezes a troca do equipamento desgastado não é viável, sendo a solda de revestimentos duros uma saída normalmente utilizada pelas empresas.

Hoje, a empresa onde foi realizado o trabalho, encaminha grande quantidade de material para descarte, o que gera alto custo, porém inevitável a uma



empresa do ramo. Contudo, conforme informações fornecidas pela empresa, 5% do material descartado é material que seria aproveitável, e poderia agregar ao faturamento da empresa, e ainda, reduzindo uma parte interessante do peso do descarte.

Além desses valores, a empresa ainda tem um custo de R\$ 13000,00 (Treze mil reais) mensais destinados atualmente para a compra de revestimento duro, além do valor de mão de obra destinado ao colaborador exclusivo para a manutenção do rolo de britagem.

Em um parâmetro geral, Fagundes (2015) comenta que cerca de 2% a 4% do PIB de um país industrializado é designado a manutenção de componentes deteriorados, principalmente devido ao desgaste abrasivo. Para isso, o estudo a seguir surge para aumentar o tempo de vida útil de ressaltos presentes em um rolo britador da indústria de mineração de carvão, melhorando a qualidade do processo de britagem atual. Para isso, será estudado diferentes ligas de revestimentos duros que já tiveram semelhantes aplicações, não apenas na mineração, mas também no setor agrícola, cerâmico e industrial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A indústria atual exige de seus colaboradores soluções rápidas e que eliminem um problema de forma eficaz. Para solução do problema do presente trabalho, algum embasamento teórico se mostra necessário, assim como o estudo de casos semelhantes.

2.1 PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO DE COMPONENTES

Equipamentos e construções são projetados pela engenharia prevendo um tempo de serviço, porém, também são levadas em consideração eventuais falhas que possam interromper sua deterioração natural. Nunes (2012), explica que há várias formas de deterioração, mas entre as principais podem-se citar fraturas mecânicas e desgastes mecânicos.



2.1.1 Desgaste

O desgaste de componentes está presente em vários ramos de atividades produtivas, como por exemplo a industrial, a agrícola e a mineração, para esses setores, fonte de estudos afim de minimizar os danos causados, dos quais podem-se citar a depreciação do capital adquirido e uma grande fonte de despesas com manutenção (SPECTRU, 2018).

Desgaste mecânico é definido por Ribeiro (2004) como a remoção de material submetido à uma ação mecânica. Esse desgaste pode ser dividido em quatro grupos, sendo eles: Desgaste Adesivo, Desgaste Abrasivo, Desgaste por fadiga da superfície e Desgaste corrosivo.

2.1.1.1 Desgaste Abrasivo

O desgaste por abrasão é ocasionado pelo escorregamento ou deslizamento de partículas não metálicas em contato com materiais metálicos. Essas partículas não metálicas são chamadas de abrasivos e são classificadas em dois grupos: vegetais e minerais (SPECTRU, 2018)

De acordo com os autores citados, inúmeros são os fatores que influenciam no aparecimento ou não destas modalidades de desgastes, sendo eles: tamanho de partícula; dureza de partícula; dureza do metal base; velocidade e frequência do contato; tamanho de grão da estrutura do metal base; entre outras.

Conforme Ribeiro (2004) essa modalidade de desgaste é considerada a mais severa e por essa maneira ainda se divide em três grupos: Abrasão por Goivagem, caracterizado por perda de material devido à ação de partículas de grandes dimensões e, na maioria das vezes, pontiagudas; Abrasão à baixa tensão, acontecendo devido a prensagem de partículas abrasivas contra o metal, sendo exercida por pressões fortes e médias, e; Abrasão a baixa tensão, onde partículas livres deslizam sobre a superfície desgastadas, exercidas por baixa pressão.

Para mensurar o desgaste abrasivo em corpos de prova, após os mesmos passarem por ensaios a respeito dessa deterioração, Lima (2012), em estudos sobre o desgaste abrasivo em revestimento em facas picadores de cana-de-açúcar, adota a seguinte Eq. (1):



$$Desg = P_{bal} - P_{trab} \quad (1)$$

Onde:

Desg = Desgaste sofrido (kg);

P_{bal} = Peso após o balanceamento (kg);

P_{trab} = Peso após o ciclo de trabalho (kg).

A equação acima seria suficiente para estudos entre o mesmo revestimento e que troquem apenas alguns parâmetros de fabricação, pelo fato da densidade não variar entre as amostras. Segundo Silva (2014), para pesquisas que apresentam diferentes tipos de materiais, é interessante utilizar o resultado da Eq. (1) para encontrar a perda de materiais em volume (mm³), e com isso utilizar a equação de Archard, encontrando um coeficiente de desgaste de cada material.

O autor adota para seu estudo de desgaste uma equação adaptada de Archard, denominada variação de Czichos Eq. (2). Tal equação também foi utilizada no presente trabalho.

$$V = k \cdot N \cdot x \quad (2)$$

Onde:

V= Perda em Volume (m³);

k= Taxa de desgaste específica (Pa⁻¹);

x= Distância de deslizamento (m);

N= Carga Aplicada (N).

Silva (2014) justifica o uso dessa equação pois apresenta resultados lineares que possibilitam uma melhor comparação entre as diferentes amostras submetidos a um estudo de desgaste.

2.2 LIGAS APLICÁVEIS À RECUPERAÇÃO DE COMPONENTES COM DESGASTE

Para definição de novos consumíveis para alguma aplicação de manutenção é necessário o conhecimento dos defeitos que ocorrem no processo bem como as características desejadas das ligas. Para tanto, segundo Cunha



(2013), é necessário uma análise criteriosa do equipamento com necessidade manutenção, obtendo dados profundos do processo como, por exemplo: Temperatura de trabalho; Tipo do metal base; Custos de hora parada; entre outros.

Segundo Veiga (2011) a resistência aos diferentes tipos de deterioração é influenciada pela forma, distribuição e a quantidade de carbonetos presentes nessas ligas, que podem variar suas matrizes na região austenítica, martensítica ou ferríticas. A formação de carbonetos vem sido amplamente usada em trabalhos de manutenção do desgaste.

Os carbonetos mais comuns usados em ligas antidesgaste são os de Cromo, Titânio, Vanádio e Tungstênio. Porém, ainda podemos citar outros materiais como o Molibdenio, o Nióbio e o Manganês. A combinação dos elementos supracitados busca adicionar propriedades ao material base que objetivam a minimização dos danos causados pelo impacto, erosão e abrasão. De acordo com Fagundes (2015), essas propriedades podem ser citadas principalmente como aumento de dureza, tenacidade, tensão de escoamento, estabilidade química e elevado ponto de fusão.

2.2.1 Liga de revestimento duro com carbonetos de Cromo

A adição de carbonetos de cromo é o material mais utilizado no combate ao desgaste de componentes de máquinas (FAGUNDES, 2015). Além da alta dureza que esse carboneto pode atingir, a preferência por este está associado também ao seu baixo custo.

Estudos conduzidos por Kang *et al.* (2016) mostram que a resistência ao desgaste está diretamente relacionada com a porcentagem de Cromo presente no material. Os estudos foram realizados em pás de cultivo agrícola e apresentou resultados satisfatórios no combate a deterioração com aplicação de carbonetos de cromo através de solda. Tais resultados podem ser aplicados à outros setores produtivos.

As ligas que possuem Cromo como elemento principal podem conter outros elementos de liga que objetivam ganhos de propriedades mecânicas. Dentre esses elementos pode-se citar, além do Carbono, o Silício, o Manganês, o Molebdênio, o Vanádio e o Tungstênio.



Além da dureza elevada que os carbonetos destes elementos podem atingir, algumas outras propriedades podem ser atribuídas à adição dos mesmos na liga soldada. Segundo Modenesi (2012), o manganês, em uma quantidade balanceada com Cromo e Carbono pode diminuir a incidência de fissuras na solda. Mota (1998), ainda cita o Manganês como o elemento de liga mais importante em resistência mecânica após o Carbono e conclui, após testes realizados, que teores do elemento entre 0,54% e 0,8% resultaram em um menor índice de porosidade, afetando diretamente na probabilidade de ocorrer quebras do material soldado.

Tenacidade e a redução de fissuração na solda são propriedades de extrema importância quando usado ligas FeCrC. Deve-se ter cautela ao aumentar o teor de carbono, pois segundo Ribeiro (2004), esse tipo de revestimento tende a apresentar trincas superficiais, atribuídas à baixa ductilidade que a fase martensítica da matriz pode atingir e também devido às tensões existentes na região de interface do carboneto de cromo e matriz em que o material é depositado. Macedo (2010) reforça essa tese concluindo, após a análise microestrutural realizada em seus estudos, que os carbonetos de cromo apresentam formas prismáticas e facetadas, e faz a ligação com sua referência teórica que diz que essas estruturas podem gerar trincas na solda para alívio das tensões.

2.2.2 Liga de revestimento duro com adição de carbonetos de Titânio

O Titânio é outro elemento de liga formador de carboneto bastante utilizado para o combate do desgaste abrasivo. Nos estudos conduzidos por Macedo (2010), é possível observar uma liga soldada com exclusividade de carbonetos de cromo. A morfologia de sua estrutura possui maior arredondamento, o que, segundo o próprio autor, está relacionada a uma maior resistência ao desgaste.

Como um exemplo disso pode-se citar os estudos realizados por Lima e Ferraresi (2009) onde mostrou que, em testes de facas picadoras de cana de açúcar, o revestimento com adição de carbonetos de titânio obteve maiores taxas de resistência à abrasão, em sua aplicação em campo, do que comparada à ligas FeCrC, e ligas com adição de carbonetos de nióbio.

A liga FeCrCTi utilizada no presente trabalho bastante se assemelha em sua composição química à liga estudada por Colaço (2013) em situações de desgaste abrasivo. Podem-se citar informações relevantes e referenciais da liga. A



dureza encontrada na liga soldada, 730 HV, foi maior que a dureza informada em catálogo pelo fabricante. O autor explica que fatores como velocidade de resfriamento, preaquecimento e temperatura entre os passes foram responsáveis pela diferença.

A microestrutura encontrada revela uma matriz martensítica contendo, em sua maioria, carbonetos com formatos arredondados, típico dos carbonetos de titânio. Esse tipo de estrutura foi encontrada em maior número na segunda camada de solda. Alguns carbonetos secundários de forma prismática, correspondente ao cromo, foram encontrados, devido à liga conter teor considerável do elemento.

A menor perda de massa encontrada pelo autor foi de 137,9 mg, pertencente à solda realizada com alta energia, duas camadas e sem a adição de gás de proteção, onde é encontrada uma diluição de solda de 45,1%, sendo esse, também, o menor valor encontrado entre as amostras.

Os estudos conduzidos por Egito (2017) reforçam a conclusão que uma alta energia de soldagem é responsável por um melhor desempenho no combate ao desgaste, pois a microestrutura nessas condições apresentou carbonetos mais difíceis de serem arrancados do material de solda.

2.2.3 Liga de revestimento duro com adição de carboneto de Nióbio

Destaca-se também, nos grupos dos elementos de liga, o Nióbio, ainda que, segundo Woydt (2014), o carboneto que esse elemento pode formar, possui propriedades tribológicas pouco exploradas. Apesar disso, o Nióbio apresenta propriedades interessantes quando aplicados a aços, metais duros para corte e ferro fundido.

Correa (2015) cita o nióbio como um elemento extremamente importante quando adicionado em ligas FeCrC, agregando importantes características pobres do carboneto de cromo. O autor explica que carbonetos de Nióbio, assim como, Vanádio, Titânio e Tungstênio, possuem dureza mais elevada que carbonetos de cromo e com uma morfologia propícia para uma resistência ao desgaste adequada.

Como método experimental de seu trabalho, o autor compara a resistência ao desgaste, microestrutura e dureza entre uma liga FeCrC e outra liga bem semelhante, porém com adição de Nióbio em sua composição. Inclusive, a liga



que possui esse elemento tem grandes semelhanças com as ligas que possuem Nióbio nesse trabalho.

A dureza encontrada no estudo em questão foi de 763 HV para a liga contendo Nióbio, e apresentou, em soldagem com baixa tensão, melhor resistência ao desgaste que a outra liga analisada. A perda de volume do revestimento apenas com Carboneto de Cromo apresentou valores aproximadamente 40% maiores que a liga com o carboneto de Nióbio. O autor explica isso como uma resposta à presença de partículas desses carbonetos que impedem a penetração de abrasivos.

Assim como o Titânio, o Nióbio apresenta seu carboneto com morfologia arredondada, o que auxilia na resistência ao desgaste. Macedo (2010) apresenta esse tipo de microestrutura em liga constituída quase exclusivamente de Nióbio e Ferro e conclui que essa morfologia tende a apresentar melhores respostas à ambientes com severos processos tribológicos.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 MATERIAIS

Para aplicação do trabalho, é necessário submeter às ligas sugeridas em ambientes parecidos com a aplicação, para isso, serão usados chapas metálicas correspondente ao metal base revestidas com os materiais. Após fabricação e ensaios, será feito análise para prever qual liga solda se comportará da melhor forma no equipamento. Os corpos de prova foram fabricados de aço 1020 e possuem dimensões de 30x100x200mm. As grandes dimensões foram escolhidas devido à possibilidade de empenamento do metal base, decorrente da alta energia utilizada para as soldas do revestimento.

3.1.1 Ligas de revestimento duro

Para realização das soldas foram usadas algumas ligas existentes no mercado para revestimentos. No presente trabalho, são apresentadas referências correspondentes à três grupos de revestimento duro. Seriam eles: Ligas com carbonetos de Cromo, ligas com carbonetos de Cromo e Titânio e ligas com carbonetos de Titânio e Nióbio.



Os revestimentos duros com Cromo como carboneto primário são os mais utilizados na indústria, tanto pela facilidade de ser encontrado quanto pelo baixo custo. Para esse grupo será estudado um revestimento soldado. Ainda é estudado uma liga com carbonetos primários variando entre o Cromo e Titânio, da qual se encaixa no segundo grupo, e por último, duas ligas com adição de carbonetos de Nióbio. A Tab. 1 apresenta as ligas com suas respectivas composições químicas:

Tab. 1: Composição química das ligas:

| Composição | C | Cr | Mn | Si | Mo | Ti | W | Nb | S | P |
|--------------|-----|-------|------|------|-------|-----|---|------|-------|-------|
| 1 FeCrCNb(1) | 5,5 | 22,00 | 0,30 | 0,3 | - | - | - | 7 | - | - |
| 2 FeCrC | 0,6 | 6,00 | 2,00 | 1,00 | 1,50 | - | 1 | - | - | - |
| 3 FeCrCTi | 1,8 | 5-7 | 1,45 | 1,6 | 1-1,5 | 4,5 | - | - | - | - |
| 4 FeCrCNb(2) | 4,5 | 22,00 | 0,50 | 0,60 | - | - | - | 6,50 | 0,002 | 0,001 |

Fonte: Fonte: Adaptado de Voestalpine (2016) e Eutectic.

Todas as ligas de revestimento duro têm classificação conforme a DIN 8555. Segue abaixo, na tab.2, nomenclaturas DIN 8555 referente aos materiais usados neste trabalho:

Tabela 2: Nomenclatura DIN 8555:

| Referência | Nomenclatura Din 8555: |
|---------------|------------------------|
| 1 FeCrCNb(1) | MF-10-GF-60-GR |
| 2 FeCrC | MF-4-GF-55-ST |
| 3 FeCrCTi | MF 6-60-GP |
| 4 FeCrCNb (2) | MF-10-GF-65-GR |

Fonte: Adaptado de Voestalpine (2016) e Eutectic.

Cada divisão da nomenclatura caracteriza a liga soldada de diferentes formas. A primeira sigla é correspondente ao processo de soldagem, sendo assim, MF é atribuído para Arco Elétrico utilizando-se arames tubulares.

A segunda divisão é numérica e faz a classificação pelo tipo de metal de adição. Nas ligas usadas no trabalho temos o numeral 4, 6 e 10 correspondendo, respectivamente, aos grupos “Ligado, com propriedades dos aços rápidos”, “Ligas,



com mais de 5% de Cr, com um teor maior de C (até mais ou menos 0,2% a 2,0%)” e “Com um teor alto de C e alto teor de Cr e sem agentes adicionais formadores de carbonetos”.

A terceira divisão diz respeito ao seu método de produção e está ligado com o processo de soldagem, por exemplo, a sigla GF corresponde aos materiais tubulares.

A quarta divisão é feita pela faixa de dureza em que o revestimento atinge quando soldado. 60 é o numeral correspondente à faixa de dureza entre 57 e 62 HRc e 55 à 52 e 57 HRc.

A última divisão atribui propriedades do metal de adição à liga e está descrita na Tab. 3 abaixo:

Tabela 3: Propriedades do metal de adição conforme DIN 8555.

| Sigla | Propriedades do metal de adição |
|-------|--|
| C | Resistentes à corrosão |
| G | Resistente ao desgaste abrasivo |
| K | Capaz de endurecer em trabalho |
| N | Não Magnetizável |
| P | Resistente ao impacto |
| R | Resistente à formação de carepa |
| S | Habilidade de corte (aços rápidos, etc) |
| T | Tão resistente a altas temperaturas quanto os aços ferramenta para trabalho a quente |
| Z | Resistente ao calor (não formadores de carepa), para temperaturas acima de 600 °C |

Fonte: Adaptado de Esab (2013).

Como podemos observar na tabela 2, a última divisão pode ser apresentada com duas ou mais siglas, conforme a característica do metal de adição presente na composição da liga. Dentre as ligas soldadas para fins de estudos desse trabalho encontramos propriedades interessantes como “Resistente ao desgaste abrasivo” e “Resistente ao impacto”.



3.2 MÉTODOS

3.2.1 Soldagem

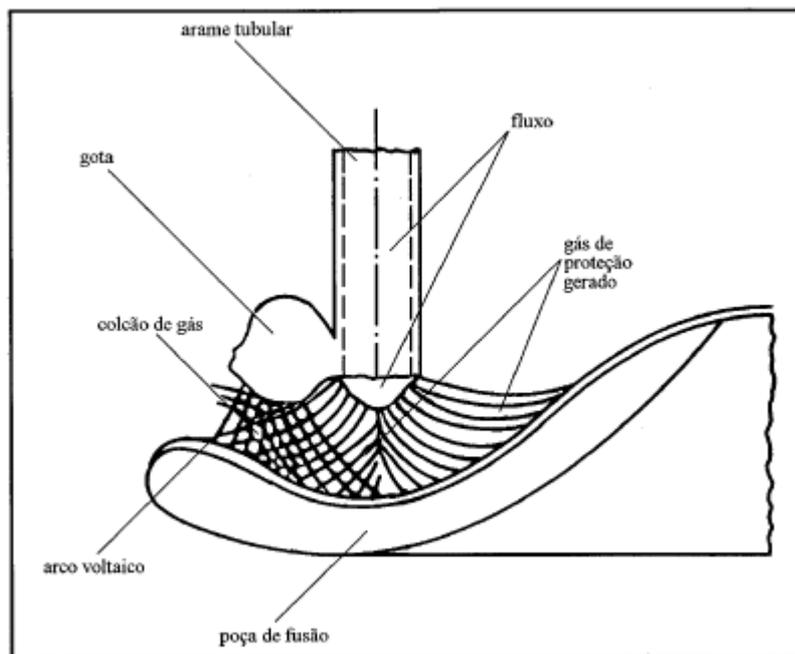
A norma AWS A3.0 (2010), diferencia solda e soldagem, definindo o segundo termo como “um processo de união que produz a coalescência dos materiais pelo aquecimento dos mesmo até a temperatura de soldagem, com ou sem aplicação de pressão, ou somente pela aplicação de pressão, com ou sem o uso de metal de adição”.

Essa união é um importante processo na fabricação de peças novas, e também, na recuperação de peças comprometidas. Para tanto, alguns processos foram surgindo e classificados ao longo dos anos segundo Modenesi *et al.* (2012), sendo os mais conhecidos: Soldagem com eletrodos revestidos (SMAW); Soldagem GTAW; Soldagem GMAW; Soldagem a Arco Submerso; Soldagem com Arame Tubular (FCAW).

O processo utilizado para fabricação das amostras foi a soldagem por arco com arame tubular (FCAW), onde, segundo Modenesi *et al.* (2012), acontece a fusão de um eletrodo contínuo tubular do qual possui um fluxo composto de materiais orgânicos em seu interior, responsáveis pela proteção da poça. Mota (1998), explica que tal fluxo desempenham funções como: Estabilização do arco voltaico, geração de vapores e gases, adição de elementos de liga entre outros.

A Fig. 1 demonstra o processo de soldagem por meio de arames tubulares.

Figura 1: Processo de Soldagem Fcaw



Fonte: Mota (1998)

Na Fig. 1 observamos como ocorre a ação de proteção do fluxo que Colaço (2014) comprova, por meio de estudo exclusivamente com liga com acréscimo de carboneto de titânio, onde os resultados obtidos por meio de ligas soldadas com fluxo interno do arame não mostraram diferença em relação à materiais soldados com a presença de gás externo, uma eficiência semelhante de proteção em relação a outros processos.

Modenesi (2012), ainda indica algumas vantagens do processo como: Elevada produtividade, assim como o processo GMAW; Custo relativamente baixo; e Soldas de boa qualidade. Segundo Mota (1998), essa característica de autoproteção facilita a visualização da poça de fusão, melhorando a qualidade da solda, e ainda explica que todo parâmetro de soldagem influencia de forma diferente na proteção da poça de fusão.

Para a realização do trabalho foi utilizado uma fonte modelo Digiplus A7 da marca IMC soldagem com parâmetros apresentados na Tab. 4:



Tabela 4: Parâmetros de soldagem

| | Composição | Tensão utilizada (V) | Velocidade de | | |
|---|-------------|----------------------|---------------------|----|----|
| | | | Alimentação (m/min) | Ks | Kd |
| 1 | FeCrC+Nb(1) | 26,2 | 4,2 | 15 | 32 |
| 2 | FeCrC | 26,5 | 3,7 | 15 | 29 |
| 3 | FeCrCTi | 27,5 | 3,5 | 15 | 29 |
| 4 | FeCrC+Nb(2) | 26,5 | 3,7 | 15 | 29 |

Fonte: Do autor (2018)

Os valores apresentas na Tab. 4 são reguláveis na fonte de solda. Esses fatores irão determinar os valores de corrente e energia.

3.2.2 Ensaio com líquido penetrante

Após a conclusão das soldas nos corpos de prova, já foi possível realizar um teste preliminar, chamado teste com líquido penetrante e revelador, onde é possível identificar os locais de trincas existentes na solda realizada. Conforme Feltrin (2010), esse ensaio é realizado sem ocorrer danificação na peça. Sendo assim, seu uso é largamente usado na indústria de fundição e em empresas que possuem a solda em seu processo produtivo.

O líquido penetrante foi do tipo PCG-53, e o revelador DCG-S2, ambos da marca Carbografite. O processo consiste na aplicação do líquido penetrante sobre a superfície soldada livre de sujeiras, respingos ou carepa. Após a ação do líquido penetrante por pelo menos 5 (cinco) minutos, conforme recomendação do fornecedor do produto, a superfície deve ser novamente limpa, eliminando todo o produto aplicado. Em seguida, deve-se aplicar o revelador, que irá agir sugando o líquido penetrante presente nas trincas, mostrando em quais locais elas incidiram.

3.2.3 Preparação dos corpos de prova

Para a realização dos testes necessários para conclusão do trabalho, os corpos de prova devem passar pelo processo de usinagem para diminuição de seu



tamanho e processo de retífica que possibilitarão os ensaios de microdureza, ensaio ao desgaste abrasivo e análise metalográfica.

A usinagem do corpo de prova soldado foi realizada em uma Máquina Fresadora Romi U-30, com um avanço de 280mm/min e uma rotação de 504 rpm, chegando em uma amostra final com dimensão 76x25,4x12,7mm destinada ao ensaio de desgaste e metalografia.

Para a retífica do material foi realizado a máquina Mello 1500, com um avanço de 15000 mm/min e uma rotação de 3000 rpm. O rebole utilizado foi da marca Norton de granulometria 100.

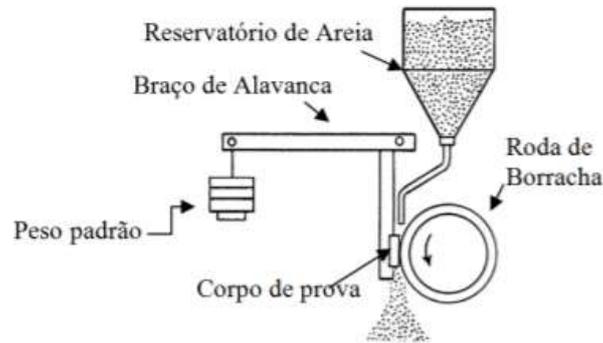
3.2.4 Ensaio de desgaste abrasivo roda de borracha

Para simular ambientes onde ocorrem processos abrasivos, praticamente todos os estudos utilizam o ensaio determinado pela norma ASTM G65-16, o ensaio de desgaste por roda de borracha, do qual segundo Nuernberg (2010), é possível esmerilhar a superfície desejada com areia, de forma a analisar seus resultados posteriormente.

Segundo Galindro (2016), a areia deve ser seca e controlada, e é condicionada a fluir de forma constante entre a roda de borracha e a amostra do material. A areia, após ser peneirada, é submetida a trinta minutos em um forno doméstico para retirar a umidade. A roda de borracha giratória é responsável por aplicar a força desejada e fazer com que o abrasivo seja aplicado contra a superfície.

Como é percebido na Fig. 2, a roda de borracha tem ligação a um braço, onde é aplicado a força desejada por meio de pesos padrão. O método do ensaio consiste em comparar as massas antes e depois do processo. O resultado é convertido em milímetros cúbicos, levando em consideração as diferentes densidades dos materiais estudados. A Fig. 2 ilustra o ensaio de abrasão com roda de borracha:

Figura 2: Funcionamento do equipamento abrasômetro:



Fonte: Galindro (2016).

O processo utilizado foi baseado na norma ASTM G 65, onde o procedimento foi classificado como “A”, sendo um teste severo com bastante utilidade na classificação de materiais com média a extrema resistência à abrasão. A norma requer tempo de ensaio de 30 minutos sendo a cada 6 (seis) minutos, feita a retirada da máquina de ensaio, para então ser realizada a limpeza com álcool com o auxílio de uma máquina METASON-14, e pesada para saber a perda de massa. A pesagem ocorreu através de uma balança de precisão AD500. Além disso os corpos de prova são submetidos a uma secador térmico para eliminar qualquer tipo de umidade.

Os parâmetros utilizados nesse ensaio são identificados na tabela 5.

Tab. 5: Parâmetros utilizados para o ensaio de desgaste

| Dados do ensaio | Valores |
|-------------------------------|---------|
| Diâmetro do disco de borracha | 225mm |
| Tempo de desgaste | 30min |
| Rotação do disco | 200 rpm |
| Peso Padrão | 130 N |

Fonte: Do autor (2018)

Os valores acima são de extrema importância para fins de análise com outros estudos semelhantes, procurando utilizar parâmetros idênticos ou máxima semelhança para obter uma maior padronização e linearidade de resultados. Valores como tempo de desgaste, diâmetro do disco de borracha e rotação do disco informam ao autor a distância percorrida, informação da qual será usada na Eq. 2 para obter a taxa de desgaste específica apresentada no próximo capítulo.



O abrasômetro utilizado para ensaio está localizado no laboratório Lavitre na instituição de ensino Faculdade SATC.

3.2.5 Análise metalográfica e dureza

Segundo Feltrin (2010), ao fazer a análise metalográfica de uma amostra, o autor objetiva relacionar a estrutura do material com suas propriedades físicas obtidas no processo de soldagem. A micrografia que será utilizada no trabalho tem como finalidade apresentar a granulação do material, a forma, o tipo e a quantidade de carbonetos presentes nos corpos de prova.

Para uma metalografia com maior precisão, foi utilizado o mesmo método de preparação utilizado por Nuernberg (2010) que solicita que o corpo de prova passe por lixamentos com granulometria 80, 120, 220, 320, 400, 600 e 1200, mudando o sentido de lixamento em 90° a cada mudança de grão. Esse processo é realizado com lixas rotativas e água.

Após o processo de lixamento, as amostras 3 e 4 são submetidas a polimentos para eliminar os riscos, deixando a superfície lisa. Os corpos de prova foram submetidos ao ataque de Nital 2%. A análise metalográfica foi realizada com o auxílio de microscópio modelo Olympus BX 60M, apresentados fotos com 50x, 100x, 200x, 500x e 1000x de aumento.

Após a metalografia, foi determinado a dureza dos revestimentos, utilizando o ensaio de dureza Vickers, através de um durômetro da marca Wilson.

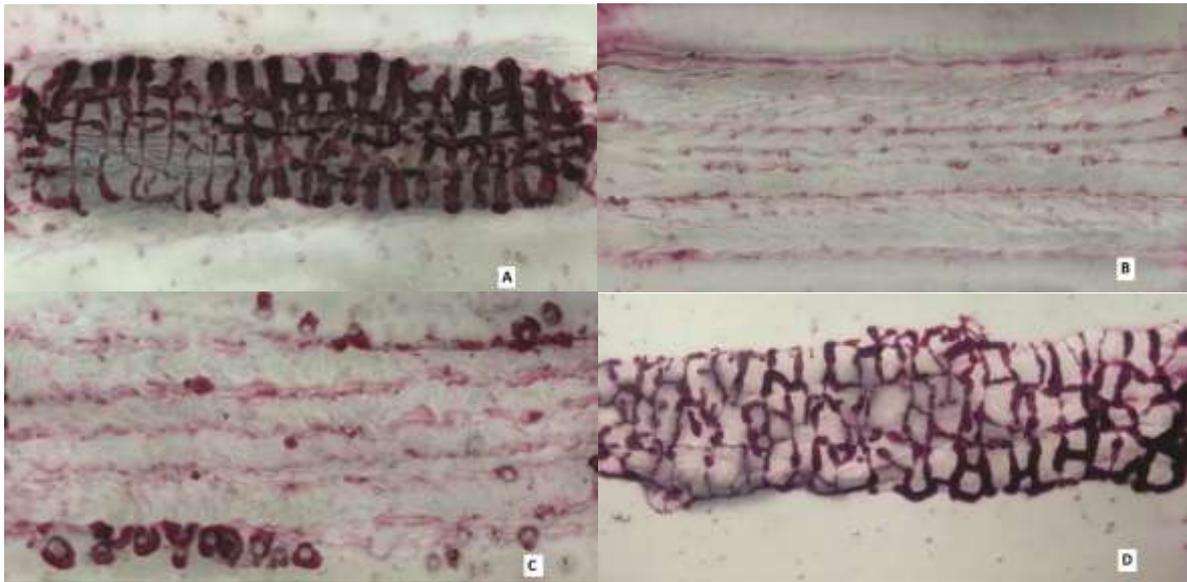
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a fabricação dos corpos de provas, já é possível fazer algumas considerações sobre a qualidade visual das ligas soldadas. Algumas trincas já são perceptíveis e serão validadas na conclusão do ensaio com líquido penetrante. Os testes de microdureza, ensaio ao desgaste abrasivo e realização da análise metalográfica permitem o conhecimento de parâmetros não visíveis a olho nú, porém de extrema importância quanto à sua influência em uma liga soldada para fins de revestimento.

4.1 ENSAIO COM LÍQUIDO PENETRANTE

As conclusões feitas a respeito da aplicação do líquido penetrante são provenientes de análise visual após a passagem da substância reveladora, conforme Fig. 3:

Figura 3: Resultado de ensaio com líquido penetrante referente a: a) Amostra 01; b) Amostra 02; c) Amostra 03; d) Amostra 04:



Fonte: Do Autor (2018).

Analisando as imagens com a ação do revelador sobre o líquido penetrante nas soldas realizadas, observa-se uma maior incidência de trincas nas amostras 01 e 04. Fazendo uma análise comparativa entre essas amostras e, paralelamente com suas composições químicas correspondentes, é percebida uma quantidade de cromo elevada, 22% do elemento para ambas as ligas. Fazendo ligações com os estudos de Ribeiro (2004) e Macedo (2010), pode-se relacionar essa quantidade de trincas às tensões localizadas entre os carbonetos e a matriz, e apesar das ligas 01 e 04 possuírem teores consideráveis de Nióbio, que é um formador de carboneto isento dessas tensões, o alto teor de Cromo, que possui morfologia prismática e altamente facetada, eleva a incidência deste problema.

Já a amostra 03, apresenta uma quantidade de trincas bem menor, o que pode ser explicado pelo balanceamento dos carbonetos primários entre o cromo e o Titânio. Diferente do carboneto de Cromo, o carboneto de Titânio tem como

característica de sua estrutura morfológica uma forma arredondada, livre de tensões na interface com a matriz, que resultam em trincas.

A amostra 02, assim como a 03, também apresenta poucas ou nenhuma trinca e também pode ser explicado devido ao baixo teor de carbono e outros elementos da liga.

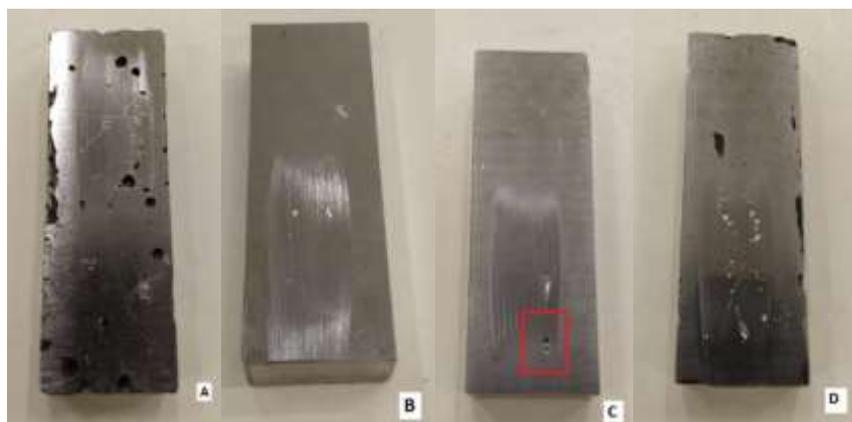
A presença de trincas pode comprometer o funcionamento do equipamento que passou por manutenção. Além da menor resistência ao desgaste abrasivo que pode ocasionar, as trincas são associadas à incidência de perda de lascas de materiais, caracterizando um revestimento com pouca resistência ao impacto, que é um fator desejável à aplicação desse trabalho.

4.2 ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO COM RODA DE BORRACHA

Com a preparação dos corpos de prova para posteriores ensaios, o processo de retífica possibilitou a padronização da rugosidade de 0,4 a 0,5 um, medido com o equipamento DuroTwin Plus. Essa rugosidade serve apenas para um referencial uma vez que perderá seu valor quando aplicada na roda de borracha.

Após a aplicação das amostras de materiais em um ensaio em ambiente abrasivo, alguns resultados visuais são verificados. Independente da perda de massa que será calculada, o acabamento superficial da peça após o processo tribológico pode prever características de seu comportamento no momento da aplicação. A Fig. 4 demonstra essa aparência visual.

Figura 4: Corpos de provas após passarem pelo ensaio à abrasão referente a: a) Amostra 01; b) Amostra 02; c) Amostra 03; d) Amostra 04:



Fonte: Do Autor (2018).



As análises que as imagens acima possibilitam é muito semelhante a análise feita pelo ensaio com líquido penetrante. Nota-se que as amostras 02 e 03 possuem poucas falhas na superfície soldada, assim como a quase ausência de trincas. Na amostra 03 é visualizada apenas uma falha indicada em vermelho. No entanto, as amostras 01 e 04 possuem alta presença de falhas. Na amostra 01 observa-se a presença de pequenos buracos circulares, também encontrados nos estudos de Correa (2015), onde o autor chama o fenômeno de “caroço” e atribui à baixa tenacidade da matriz em que o carboneto está depositado. A amostra 04 está apresentando um menor índice de material arrancado comparada à amostra 01, porém é perceptível alta incidência de trincas, que como já foi citado, é atribuída ao alto teor de Cromo da liga.

Apesar da análise visual, o ensaio com roda de borracha é maior aproveitado quando analisado as diferenças de peso do material e posterior aplicação na Eq. 2. A Tab. 6 apresenta os valores relacionados à perda de massa em kg. Para isso foi utilizada a Eq. 1, onde trata apenas de diferença entre os valores iniciais e finais de massa.

Tabela 6: Perda de massa em kg.

| | Composição | Pbal (kg) | Ptrab (kg) | Desg (kg) |
|---|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 1 | FeCrC+Nb(1) | 0,000186416 | 0,000186315 | 0,000101 |
| 2 | FeCrC | 0,000192146 | 0,000192077 | 0,000069 |
| 3 | FeCrCTi | 0,000191291 | 0,000191248 | 0,000043 |
| 4 | FeCrC+Nb(2) | 0,000188003 | 0,000187887 | 0,000116 |

Fonte: Do autor (2018)

Como a perda de massa é um resultado não linear, os valores acima foram convertidos através da Eq. 2 e geraram os resultados apresentados pela Tab. 7. Os valores de carga e distância percorrida, sendo 130 N e 4241,15 m, respectivamente, foram retirados da Tab. 5:



Tabela 7: Perda de massa em mm³.

| | Composição | Densidade do material (kg/m ³) | Perda em volume (m ³) | Taxa de Desgaste específica (Pa ⁻¹) |
|---|-------------|--|-----------------------------------|---|
| 1 | FeCrC+Nb(1) | 7583,86 | 1,33 x 10 ⁻⁸ | 2,41 x 10 ⁻¹⁴ |
| 2 | FeCrC | 7816,98 | 8,83 x 10 ⁻⁹ | 1,60 x 10 ⁻¹⁴ |
| 3 | FeCrCTi | 7782,19 | 5,52 x 10 ⁻⁹ | 1,00 x 10 ⁻¹⁴ |
| 4 | FeCrC+Nb(2) | 7648,43 | 1,52 x 10 ⁻⁸ | 2,75 x 10 ⁻¹⁴ |

Fonte: Do autor (2018)

Como pode ser observado na tabela 7, apesar das ligas possuírem densidades diferentes, o resultado, quando se trata da sequência crescente de desgaste e taxa de desgaste, não possui diferença quando observado a perda por desgaste em kg.

As ligas de Nióbio tiveram resultados de taxa específica de desgaste superiores, não exclusivamente pelo desgaste que ocorreu na peça, mas também como pedaços de solda e carbonetos que foram arrancados da peça durante o processo de ensaio. Na conclusão do estudo feito por Macedo (2010), o autor também encontrou falhas que interferiram no resultado final nas amostras soldadas com ligas formadas exclusivamente com carbonetos de Nióbio.

Assim como o estudo de Macedo (2010), ao menos quando observado a perda por desgaste na primeira camada de solda, o presente trabalho também apresentou menores taxas de desgaste nas ligas soldadas com teores de Titânio, assim como maiores valores para a dureza das superfícies de solda.

O corpo de prova que contém a liga disponibilizada pela empresa Carbonífera, a amostra 2, com teores baixos de Cromo, atingiu níveis intermediários de taxa de desgaste. Por ter níveis baixos de elementos de liga, também não apresentou falhas e trincas.

4.3 DUREZA

A dureza é conhecida, de forma errada, como a principal característica de um revestimento duro. Sabe-se que não é apenas esse fator que influencia, mas os estudos citados nesse trabalho mostram que geralmente uma alta dureza está sim



ligado a um melhor impedimento do desgaste em superfícies. A tab. 8 mostra os valores de dureza Vickers para os corpos de prova.

Tabela 8: Dureza Vickers.

| | Composição | Dureza Vickers (HV) |
|---|-------------------|--------------------------------|
| 1 | FeCrC+Nb(1) | 715 |
| 2 | FeCrC | 640 |
| 3 | FeCrCTi | 720 |
| 4 | FeCrC+Nb(2) | 740 |

Fonte: Do autor (2018)

Como indicado, a liga de titânio apresentou valores maiores, atrás apenas da segunda liga de Nióbio. Devido a liga de Nióbio apresentar inúmeras falhas e trincas no revestimentos não se pode ter uma comparação adequada de perda de desgastes e relacionar essa propriedade com a dureza dos materiais. A liga atualmente usada apresentou menor dureza.

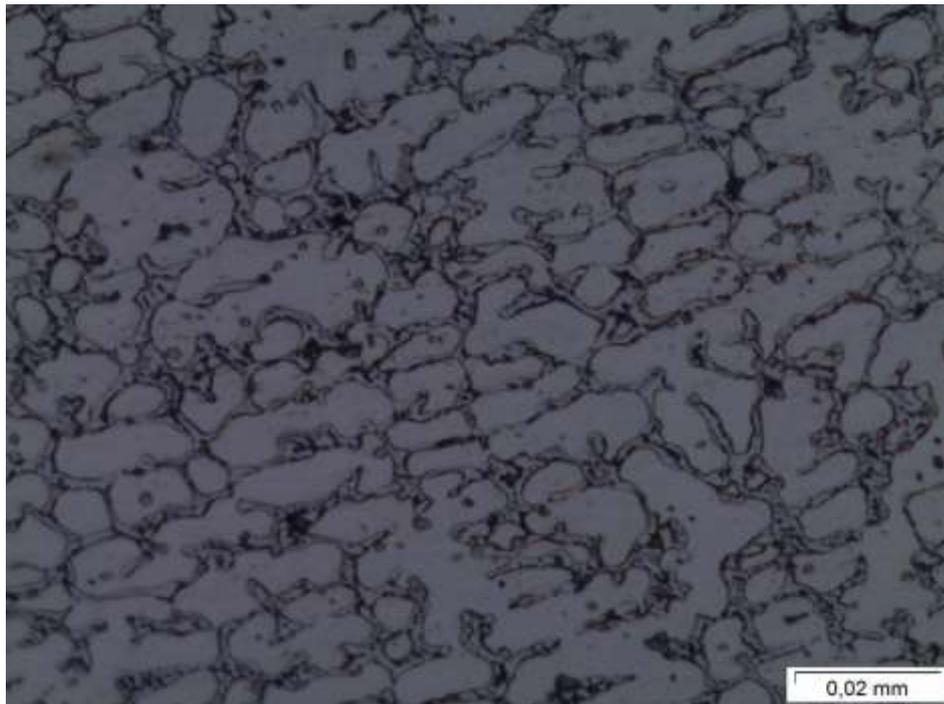
Ainda pode-se relacionar a dureza da liga de titânio do presente trabalho para o trabalho de Colaço (2013) que variou 10 HV. Como o próprio autor menciona, isso se deve a fatores como velocidade de resfriamento e pré aquecimento, explicando o fato de sua dureza também estar diferente da informada pelo fabricante do consumível de solda. O valor de dureza da amostra 4 também variou para o trabalho citado de Correa (2015) e também pode ser explicados pelos fatores que Colaço mencionou.

4.4 ANÁLISE METALOGRAFICA

Como o revestimento soldado é influenciado em grande parte pelas estruturas dos carbonetos presentes, a análise metalográfica se faz necessária para a verificação dos carbonetos de Nióbio e Titânio.

A fig. 5 representa a liga 4 do estudo, representando as ligas contendo carbonetos de Nióbio:

Figura 5: Amostra 4, aumento de 1000x.

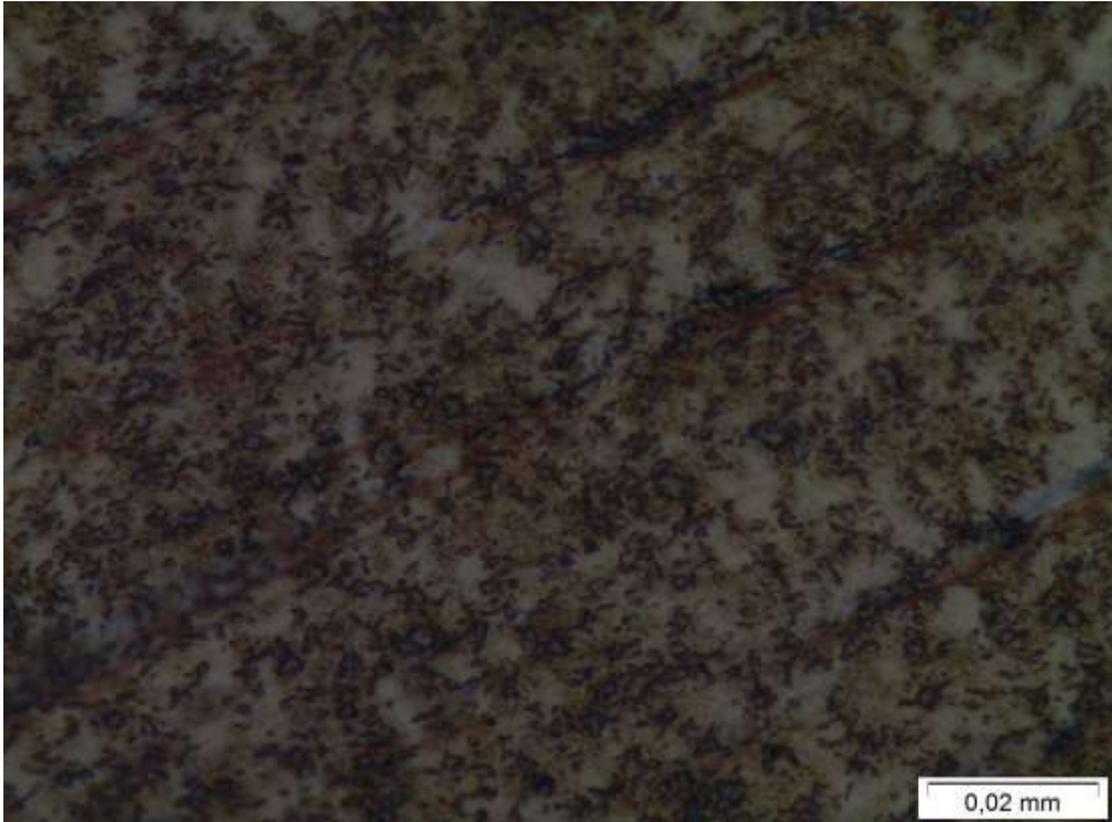


Fonte: Do autor (2018).

A imagem mostrada é constituída em grande parte pela matriz. Em alguns pontos é percebido a presença de formas circulares que podem ser constituído por Carbonetos de Nióbio. Zampieri (1983), comenta que esse carbonetos são tingidos por uma solução de permanganato de Potássio em hidróxido de Sódio. O nital, líquido no qual a amostra foi atacada, não permitiu a clara visualização do elemento. Entre as matrizes foi possível a visualização dos carbonetos de Cromo, de forma hexagonal, em grande quantidade. O formato do carboneto foi grande influenciador das falhas do corpo de prova.

A fig. 6 objetiva mostrar outro elemento comentado no presente trabalho, o Carboneto de Cromo.

Figura 6: Amostra 3, aumento de 1000x.



Fonte: Do autor (2018).

Como é percebido na imagens, é mostrada uma matriz intercalando seus carbonetos de forma bem dispersa. Podemos observar duas estruturas diferentes. Uma mais facetada, em menor quantidade, correspondente ao Carboneto de Cromo. A outra forma mais arredondada corresponde ao Carboneto de Titânio. Os resultados de metalografia desta liga são semelhantes aos resultados encontrados por Colaço (2013). Essa dispersão e heterogeneidade da matriz pode explicar seu alto grau de impedimento ao desgaste. Conclue-se que os carbonetos estão bem fixados na matriz, juntamente com sua dureza extremamente elevada torna a superfície capaz de minimizar as agressões causadas pelas partículas abrasivas.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho proporcionou ao autor uma experiência do dia a dia de um engenheiro, que lida, muitas vezes, com resolução de problemas que visam diminuição de custos e aumento da capacidade produtiva.



As conclusões específicas que podem ser retiradas dos resultados desse trabalho:

As ligas de Nióbio, ainda que citada em referências como uma importante liga na minimização de desgaste, apresentou inúmeras falhas e trincas na superfície soldada. Muitos desses problemas são decorrentes do alto teor de Cromo encontrado nas ligas. Esse fator não possibilitou ter uma clara visão do seu poder no acréscimo na resistência ao desgaste que esse material pode agregar na liga. Dessa maneira, a liga não seria uma boa sugestão para aplicação em britadores de carvão, local de extrema agressão a superfície dos rolos, onde o material arrancado é um problema grave.

A liga de Titânio mostrou ser um importante caminho para a inibição do desgaste em componentes. Com um carboneto apresentado em forma circular, a superfície soldada com esse material mostrou-se quase isenta de falhas. Pode-se perceber isso tanto no resultado do ensaio com líquido penetrante, quanto no resultado final do ensaio de desgaste com roda de borracha. Dessa maneira, a liga com titânio é uma boa sugestão para a aplicação em britadores de carvão, principalmente por apresentar taxas de desgaste menores que a liga atualmente usada, onde o único formador de carboneto primário é o Cromo.

Independente da liga usada, como conclusão do trabalho pode-se tirar os fatores que influenciam em uma solda de revestimento duro. O tipo de carboneto, bem como seu tamanho, quantidade e dispersão, continua sendo o principal influente no resultado de resistência ao desgaste, porém outros fatores se mostraram importante como energia de soldagem, proteção adequada da poça de fusão e dureza. Esse último pode ser considerado, a grosso modo, uma referência a resistência ao desgaste. Quanto maior a dureza maior a dificuldade dos abrasivos e do processo tribológico retirar material da superfície estudada. Obviamente, como apresentado no trabalho, deve-se haver uma análise de maior aprofundamento em qualquer superfície que se deseja estudar.

REFERÊNCIAS

AMERICAN WELDING SOCIETY, Standard Welding Terms and Definitions: Including terms for Brazing, Soldering, Thermal Spraying and Thermal Cutting. 3 Ed. Florida. 2010. 127p. ISBN: 9780871716248.



BELLOLI, Mario; QUADROS, Joice; GUIDI, Ayser. **A história do carvão em Santa Catarina**. 1 ed. Santa Catarina: Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina 2012, 300 p.

CATÁLOGO: Arames tubulares. Rev. 01. Indaiatuba – SP. Eutectic do Brasil Ltda. 12p

CATÁLOGO: Consumíveis para manutenção e cladding. Rev. 08/2016. São Paulo – SP. Voestalpine Böhler Welding Soldas do Brasil Ltda. 2016. 15p.

CATÁLOGO: Catálogo de Consumíveis. Rev. 11/2013. São Paulo – SP. ESAB. 2013. 37p.

COLAÇO, Fernando Henrique Gruber; MARANHO, Ossimar. Avaliação da perda de massa de revestimento duro depositado por soldagem com arame tubular de liga FeCrC-To. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 58-68. Jan./Mar. 2014. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242014000100008>>. Acesso em: 21 de outubro de 2018.

CORREA, E.O et al. The effect of microstructure on abrasive wear of a Fe-Cr-C-Nb hardfacing alloy deposited by the open arc welding process. **Surface & Coatings Technology**. São Paulo - Brasil, v. 276, p. 479-484, 2015. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.06.026> >. Acesso em: 21 de outubro de 2018.

CUNHA, Lélis da. **Solda: Como, Quando e Por quê**. Porto Alegre: Ed. Imprensa Livre. 3 ed. 2013. 366 p. ISBN: 9788576973263.

EGITO, Guilherme de Marco Pessôa do. **Avaliação da resistência ao desgaste do metal de solda GTAW reforçado por carbonetos de titânio**. 2017. 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo – SP.

FAGUNDES, José Gedael Junior. **Reciclagem de cavacos para a formação de carbonetos de titânio no metal de solda produzido por soldagem GTAW em Aço-Carbono**. 2015. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2015. Disponível em < <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/126636>> Acesso em: 21 de outubro de 2018.

FELTRIN, Fabiano Ronchi. **Recuperação por Soldagem de Peças de Ferro Fundido: Preenchimento e União**. 2010. 61f. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica), Faculdade SATC. Criciúma.



GALINDRO, Guilherme Nascimento. Análise de desgaste abrasivo do revestimento duro a base de carbonetos de cromo depositado por SMAW. **Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica**. Madrid, v. 20, n. 2, p. 13-23, 2016.

KANG, A; et al. Improving wear resistance via hardfacing of cultivator shovel. **Materials Today: Proceedings**. Punjab – Índia, v. 4, p. 7991-7999, 2016.

LIMA, Aldemi Coelho. FERRARESI, Valtair Antonio. Análise da resistência ao desgaste de revestimento duro aplicado por soldagem em facas picadoras de cana-de-açúcar. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 140-150. Abr./Jun. 2009. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242009000200006>>. Acesso em: 21 de outubro de 2018.

LIMA, Aldemi coelho et al. Soldagem de revestimentos duros em facas picadoras de cana-de-açúcar da indústria sucroalcooleira: Eletrodo Revestido versus Arame Tubular. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 07, 2012. Palmas. **Anais...** Palmas: Instituto Federal do Tocantins. 2012.

MACEDO, Bruno Pereira Navarro et al. Revestimentos Duros Depositados por Soldagem: O Papel dos Carbonetos sobre a Resistência ao Desgaste Abrasivo. In: CONGRESSO NACIONAL DE SOLDAGEM, 36, 2010. Recife. **Anais...** Ilha Solteira: Associação Brasileira de Soldagem. 2010.

MODENESI, PAULO J., MARQUE, Paulo V., Santos, Dagoberto B. **Introdução à metalurgia da Soldagem**. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais. <http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf> – acessado em 22 de abril de 2018.

MOTA, Carlos Alberto Mendas da. **Níquel e Manganês como Controladores da Tenacidade na Soldagem com Arames Tubulares Autoprotetidos**. 1998. 199f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

NUNES, Laerce de Paula. **Materias, aplicações de engenharia, seleção e integridade**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 2012, 502p. ISBN 9788571932883.

NUERNBERG, Gabriel Rosa. **Estudo da resistência ao desgates dos dentes de britadores de carvão mineral revestidos com diferentes materiais de adição através do processo SMAW**. 2010. 75f. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica), Faculdade SATC. Criciúma

SPECTRO Instrumental Científico Ltda. Revestimentos Duros Resistentes ao Desgaste Depositados por Soldagem Utilizados na Recuperação de Elementos de Máquinas. Disponível em: <http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/soldadesgaste.pdf>. Acesso em: 15 de abril de 2018.



RIBEIRO, Anderson Clayton Nascimento. **Avaliação da soldagem do aço naval AH36 microligado soldado pelo processo arco submerso com um e dois arames**. 2015. Dissertação (Mestrado). Engenharia metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal de Campina Grande. 2015. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-16112015-002331/en.php>> Acesso em: 21 de Outubro de 2018.

SILVA, Tiago Pinho. **Estudo dos efeitos de acumulação de dano por desgaste**. 2014. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica. Disponível em <<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/38952/1/Estudo%20dos%20efeitos%20de%20acumulacao%20de%20dano%20por%20desgaste.pdf>> Acesso em: 21 de Outubro de 2018.

VEIGA, Emílio. **Soldagem de manutenção**. São Paulo: Globus Editor. 1 ed. 2010. 218p. ISBN: 9785879810497.

WOYDT, Mathias; MOHRBACHER, Hardy. The use of niobium carbide (NbC) as cutting tools and for wear resistant tribosystems. **Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials**. Berlim - Germany, v. 49, p. 212-218, 2015.

ZAMPIERI, Paulo Roberto. **Microestrutura e resistência ao desgaste abrasivo de uma liga para revestimento duro contendo Nióbio**. 1983. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia de Campinas, SP.

AGRADECIMENTOS

Os primeiros agradecimentos são destinados a empresa Carbonífera em que o trabalho foi realizado por abrir as portas para a academia, não barrando, em nenhum momento o acesso ao equipamento e disponibilizando os materiais necessários para o andamento do estudo.

Outra empresa que merece ser citada é a AM montagens, por também disponibilizar materiais em chapas de seu estoque, bem como o tempo de máquinas de corte e solda.

Também devo agradecer as pessoas que me cercam e me apoiam em tempo integral, sendo elas meu pai e minha mãe, Antônio e Edilene, e minha namorada, Mialyn. Um agradecimento especial também a todos os professores e colegas acadêmicos que se envolveram nesse trabalho.