



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE TRANSFERÊNCIA DE METAL DE ADIÇÃO NA SOLDAGEM MIG/MAG

Cleomar Maraga, cleomar.maraga@gmail.com¹

Guilherme Schabbach, guischabbach@gmail.com¹

Giácomo Gai Soares, giacomsoares@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul-Campus Farroupilha, Avenida São Vicente, 785 – Cinquentenário, Farroupilha

Resumo: Os processos de soldagem possibilitam uma grande variabilidade de características. Dentro dos métodos de maior importância, o método GMAW, ou MIG/MAG, se destaca por proporcionar características de eficiência e eficácia. Deste modo, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência dos diferentes métodos de transferência de metal de adição nas características da microestrutura da zona termicamente afetada e da zona fundida. O experimento se deu através da execução de diversos cordões de solda sobre uma chapa de aço SAE 1020 de 1/4" de espessura, alterando-se os parâmetros de tensão e intensidade de corrente. Foram utilizados parâmetros apresentados pela literatura para cada método de transferência. Dando continuidade, foi realizada uma análise das zonas fundidas e zonas termicamente afetadas por meio de macrografias e micrografias. Na análise de macrografia, para o método de transferência por curto-circuito, observou-se penetração e zona termicamente afetada pequena. Para o método de transferência globular nota-se cordão mais largo, com penetração e zona termicamente afetada maior que o primeiro método. Já o método de transferência por aerossol, caracterizou-se por uma elevada taxa de deposição, ou seja, apresentou cordão mais largo que os outros dois métodos e maior penetração e zona termicamente afetada. No que tange a micrografia da zona fundida, em todas as amostras notou-se a presença de três fases de ferrita: de contorno de grão, de Whidmanstätten e acicular. Destaca-se nos corpos de prova soldados pelo método de transferência por aerossol um refino de grão na região fundida. Na zona termicamente afetada, observou-se a presença de ferrita de contorno de grão e de Whidmanstätten, bem como o característico crescimento de grão. Desta maneira, a utilização de diferentes métodos de transferência de metal de adição influenciou de forma mais significativa a microestrutura da zona fundida dos corpos prova soldados por aerossol. Acredita-se que a presença do grão refinado proporcionará melhor comportamento mecânico destas amostras nos ensaios a serem realizados posteriormente.

Palavras-chave: soldagem, GMAW, MIG/MAG, transferência de metal, metalografia

1. INTRODUÇÃO

Os processos de união de peças são primordiais para as atividades indústrias nos tempos modernos. Entre os processos de união, um dos mais utilizados está a soldagem. Segundo Naidu *et al.* (2003), embora existam diversos tipos de soldagem, aproximadamente 40, apenas alguns são relevantes. Dentre os tipos de soldagem, os dois tipos mais importantes são a solda por eletrodo revestido, ou SMAW, *Shield Metal Arc Welding*, e a soldagem MIG/MAG, ou GMAW, *Gas Metal Arc Welding*.

O arco elétrico como fonte de calor é um termo que se refere a uma diversa gama de processos de soldagem que usam um arco elétrico para derreter o metal de adição com o calor produzido. Segundo Holmes e Resnick (1979), na indústria de fabricação de metal, a soldagem a arco elétrico é a terceira maior categoria de trabalho estando atrás de apenas montagem e usinagem.

O processo de soldagem GMAW é um processo onde há a presença de variados tipos de energia e de diferentes fenômenos como física de plasma, fluxo de calor e de fluido, e transferência de calor e de metal de adição, como mencionado por Hardt (1993). No processo há a interação de sólidos, líquidos, gases e até mesmo plasma. Nesse processo de soldagem ocorrem fenômenos que necessitam de conhecimentos de química, física, metalúrgica, mecânica, e de ciência dos materiais para serem bem compreendidos. Esses variados fenômenos, somados com o fato deles

ocorrerem simultaneamente, em um curto espaço de tempo e em um pequeno volume fazem com que o processo seja muito complexo, Bollinger (1987).

A soldagem MIG/MAG possui diversas vantagens e por esse motivo o processo desempenha um importante papel nos processos de fabricação industrial. Quando comparado com os outros métodos de soldagem mais utilizados, como o eletrodo revestido, TIG (*Tungsten Inert Gas*) e arco submerso, podem-se destacar as seguintes vantagens, segundo ESAB (2005): possibilidade de execução em diversas posições, taxa de deposição de metal de adição elevada, velocidades de soldagem mais alta, poucas distorções das peças, não necessidade de remoção de escória e menores perdas de ponta de eletrodo, além disso o processo possibilita uma boa facilidade de automação, devido ao fato de não necessitar de trocas de eletrodo durante seu processo e nem de limpezas no cordão.

O elevado número de parâmetros no processo MIG/MAG faz com que se possa obter uma variabilidade muito grande de características da soldagem, como apontado por Ibrahim *et al.* (2012). Dentre tais parâmetros se destacam a penetração do cordão, estudado por Karadeniz *et al.* (2005) e o custo estimado do procedimento, estudado por Chayoukhi *et al.* (2007). Para garantir as características da solda para determinada aplicação, fatores como a escolha do gás de proteção, diâmetro do eletrodo, intensidade da corrente elétrica e a tensão podem ser modificados para atender as necessidades da junta de solda.

Os métodos de transferência de metal de adição merecem uma atenção especial, eles envolvem todas as variáveis descritas anteriormente, e por isso podem atender a uma quantidade muito grande de aplicações. Deste modo, o objetivo do presente é estudar e comparar experimentalmente as principais diferenças entre os processos de transferência por curto-circuito, globular e por aerossol, dando atenção aos seus parâmetros, bem como as características do cordão final, e de sua microestrutura.

2. MÉTODOS DE TRANSFERÊNCIA DE METAL DE ADIÇÃO NA SOLDAGEM MIG/MAG

A transferência de metal de adição é classificada comumente entre transferência por curto-circuito, globular ou por aerossol, também conhecida como goticular ou por spray. Norrish, (2013) propôs uma extensão de mais dois grupos chamados Métodos de Transferência Controlados e Métodos de Operação Estendidos, além de considerar os métodos mais comuns de transferência como Métodos de Transferência Natural. Uma outra forma de classificação orientada para aplicações científicas foi proposta por Scotti *et al.* (2012), essa classificação satisfaz a necessidade de se ter um método mais sistemático que descrevam todos os tipos de transferência de metal na soldagem MIG/MAG, o que facilitaria a comunicação de pesquisadores, acadêmicos e engenheiros.

O presente trabalho irá focar nos três métodos da classificação mais comum, onde a intensidade da corrente elétrica, a tensão elétrica, o gás de proteção utilizado e o diâmetro do arame têm influência na determinação do tipo de transferência de metal. Para determinado gás de proteção e diâmetro de arame pode-se alcançar os três métodos de transferência de metal, como mostrado na Fig. 1.

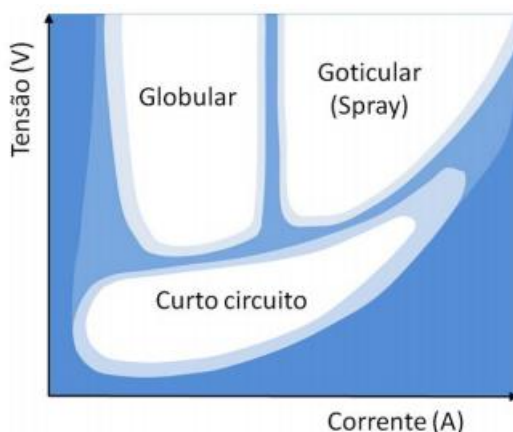


Figura 1: Representação esquemática da condição de tensão e intensidade de corrente para os métodos de transferência de metal de adição, por Modenesi.

2.1. Curto-circuito

A soldagem por curto-circuito usa os menores valores de corrente entre os três métodos de transferência. Como características desse processo podem ser citadas a produção de uma poça de fusão pequena, de rápido resfriamento, e com pouca produção de respingos. Por esses motivos esse método é indicado para a soldagem de seções finas, onde se deseja distorcer minimamente a peça, além da soldagem em todas as posições, principalmente fora da posição plana.

Nesse método, a transferência ocorre quando o arame toca a peça a ser soldada, é nesse momento que ocorre o curto-circuito que aquece o arame o suficiente para causar o derretimento do metal de adição. A estabilidade do arco elétrico deve ser garantida usando baixos valores de corrente elétrica, a magnitude da corrente varia com o diâmetro do arame, conforme os valores da Tab. 1.

Tabela 1: Valores ideais de corrente elétrica de acordo com o diâmetro do arame, por ESAB (2005).

Diâmetro do arame		Corrente de soldagem (A)	
pol (")	mm	Mínima	Máxima
0,030	0,76	50	150
0,035	0,89	75	175
0,045	1,10	100	225

2.2. Globular

Na transferência globular, os valores de corrente elétrica devem ser aumentados, superando os valores de corrente do método de curto-circuito. Esse método possui diversas limitações, sendo somente aplicadas na posição plana. Nesse método há a ocorrência de mais respingos quando comparado com os outros métodos, embora quando aplicadas maiores correntes e utilizando CO₂ como gás de proteção os respingos podem ser bastante reduzidos, como apontado por Mathison (2008).

A transferência do metal nesse método se dá pela força da gravidade, pois na ponta do arame são formadas grandes gotas de metal derretido, geralmente maiores que o diâmetro do próprio arame, que facilmente se desprendem do mesmo.

2.3. Aerossol

O terceiro método de transferência de metal usa uma intensidade de corrente maior que os outros dois métodos, mostrados na Tab. 2, nessa situação o gás a ser utilizado deve ser rico em argônio. A transferência ocorre de maneira a serem transmitidas muitas gotículas de metal de adição a uma taxa muito elevada.

Nesse tipo de transferência não há a ocorrência de respingos, a transmissão do metal se dá em forma de pequenas gotas, que, cuja alta força de impulso supera os efeitos da gravidade, esse fato possibilitaria uma solda em qualquer posição. Entretanto, a alta taxa de deposição nesse método faz com que o peso de metal de adição derretido seja muito grande, o que pode causar um desprendimento dele do metal base, isso faz com que esse método seja utilizado na maioria das vezes na posição horizontal. A transferência por aerossol é indicada para grandes espessuras, sendo que em peças muito finas, as forças do arco podem causar um corte na peça, causando o rompimento da peça através da fundição da mesma, e não uma solda, segundo Curso de Inspetor de Soldagem.

Tabela 2: Relação entre a corrente mínima da transferência por aerossol para diferentes diâmetros e materiais de arame e tipo de gás de proteção, por ESAB (2005).

Tipo de arame	Diâmetro do arame		Corrente mínima de aerossol (A)	Gás de proteção
	pol (")	mm		
Aço Carbono	0,030	0,76	150	98% Ar / 2% O ₂
	0,035	0,89	165	
	0,045	1,10	220	
	0,052	1,30	240	
	0,062	1,60	275	
Aço Inoxidável	0,035	0,89	170	98% Ar / 1% O ₂
	0,045	1,10	225	
	0,062	1,60	285	
Alumínio	0,030	0,76	95	Argônio
	0,046	1,19	135	
	0,062	1,60	180	
Cobre Desoxidado	0,035	0,89	180	Argônio
	0,045	1,10	210	
	0,062	1,60	310	
Bronze ao Silício	0,035	0,89	165	Argônio
	0,045	1,10	205	
	0,062	1,60	270	

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O metal de base para a operação de soldagem foi obtido cortando-se uma barra longa de Aço SAE 1020 com o uso de uma serra a fita, assim se obteve uma peça de aproximadamente 35 cm de comprimento, com uma espessura de 1/4".

Esse metal de base foi escovado com uma escova de metal para remover sujeiras da superfície da peça e assim garantir que na poça de fusão não fosse incluído substâncias indesejadas.

3.1. Soldagem

O processo de soldagem foi realizado com uma máquina de solda múltiplas funções, utilizando-se uma polaridade inversa. A polaridade foi de muita importância no experimento, pois uma polaridade inversa significa que haverá mais calor no metal base, e não no eletrodo, isso faz com que o processo inteiro aconteça sem interrupções causadas pelo superaquecimento do eletrodo e da tocha, o que facilmente pode causar obstruções no bocal da tocha. Foi usado um eletrodo de 0,8 mm de diâmetro, e como gás de proteção foi utilizado o Argônio puro com uma vazão de 11 litros/minuto.

A obtenção dos valores de tensão, corrente elétrica, velocidade de arame foi baseada na Tab. 1 e Tab. 2, porém foram realizadas diversas tentativas para se conseguir a melhor combinação de parâmetros.

Para os cordões com transferência por curto-circuito foi usado uma tensão de arco de 16,8 V, uma intensidade de corrente elétrica de 127 A, e uma velocidade de arame de 5,5 m/min. Durante o processo de transferência por curto-circuito notou-se a geração de respingos, além de se notar um som de “pipocamento”, gerado quando o arame encosta no metal de base e provoca o curto-circuito. Foram feitos 4 cordões com esse tipo de método de transferência, sendo que o melhor deles foi cortado da peça para depois serem feitos a macrografia e micrografia no microscópio.

Os parâmetros usados para a transferência globular foram: tensão de arco de 23,8 V, intensidade de corrente de 165 A e velocidade de arame de 7 m/min.. Durante o processo pôde ser visto que houve a criação de gotas de metal derretido na ponta do eletrodo que caracterizam a transferência globular, além disso, obteve-se a produção de respingos, numa proporção maior que na transferência por curto-circuito.

Para obter-se uma transferência por aerossol teve que se elevar os valores de intensidade de corrente e também a velocidade do arame, pois nesse método a taxa de transmissão de metal é significativamente mais elevada. Deste modo foram usados valores de tensão de arco de 28,2 V, intensidade de corrente elétrica de 214 A e velocidade do arame de 10 m/min.

3.2. Metalografia

Para ser possível estudar as variações de profundidade e tamanho da área termicamente afetada de cada um dos tipos de transferência de metal de adição, bem como sua influência na granulação da peça foram realizados os processos de micrografia e macrografia utilizando-se microscópios.

Para visualizar as áreas mencionadas houve a necessidade da realização de um corte transversal nas peças com o cordão de solda. Foi utilizada a mesma máquina de corte anteriormente mencionada utilizada para o corte da barra de aço. Após o corte das peças notou-se que a seção transversal não estava devidamente nivelada, deste modo foi-se usada uma máquina fresadora para fazer o nivelamento das peças.

Tendo-se as peças devidamente niveladas, deu-se o processo de lixamento das seções, foram usadas lixas número 180, 240, 320, 400, 600, 800 e 1200. Os movimentos na operação de lixamento ocorriam em direções diferentes nas lixas em sequência, a passagem de uma lixa para outra ocorreu-se quando não era possível visualizar marcas da lixa anterior. Após fazer o lixamento utilizando a lixa com menor rugosidade, as peças foram submetidas a um processo de polimento de suas seções transversais, fazendo-se o uso de alumina com uma granulidade de 1µm.

Para poder se visualizar as propriedades macro e microscópicas da solda foi necessário um ataque químico nas seções com o uso de nital com concentração de 5%, sendo esse atuando na peça por aproximadamente 5 segundos.

Após a preparação das peças, foram realizadas macro e micrografias nas mesmas. As macrografias foram realizadas com uma aproximação de 6,3 vezes, enquanto as micrografias foram realizadas utilizando aumentos de 200 e 500 vezes. A análise das micrografias foi realizada visando três diferentes partes da peça: metal de adição, metal base e zona termicamente afetada. Essa análise foi realizada nos corpos de prova dos processos de solda com transferência de metal por curto-circuito, globular e aerossol.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Macrografia

Analisando as imagens resultantes do processo macrográfico, mostradas na Fig. 2, foi possível comparar algumas características do cordão de solda, *e.g.*, dimensões do cordão, penetração da zona fundida, tamanho da zona termicamente afetada.

No processo de transferência por curto circuito, pôde-se observar a pouca penetração obtida e o excesso de reforço presente na junta, como mostra a Fig. 2 (a). Isso ocorreu principalmente devido à grande espessura da peça soldada, ¼”. Essa grande espessura, associada aos baixos valores de corrente e tensão, resultou em uma baixa taxa de fusão do metal de adição, junto ao metal base, devido ao baixo calor transmitido pela tocha durante esse método de transferência. Os valores de tensão e corrente utilizados, que foram 16,8V e 127A, não forneceram energia suficiente para que fosse possível uma maior penetração da mesma. Ao mesmo tempo, essas características eram esperadas, devido a análise da

literatura realizada junto ao experimento. É importante citar que além dos valores de tensão e corrente que indicam que o método de transferência obtido foi o curto circuito, outras características foram observadas para corroborar o método de transferência em que a solda foi realizada, como grande quantidade de respingos, pequena poça de fusão gerada durante a soldagem além de pequenas distorções na peça devido ao calor a que a mesma foi submetida.



Figura 2: Imagens macrográficas obtidas, com aproximação de 6,3 vezes, para a soldagem por curto-circuito (a), soldagem globular (b) e soldagem por aerossol (c).

No processo de solda com transferência de metal globular, foi possível obter melhores características em relação ao processo de curto circuito, no que diz respeito a taxa de penetração, reforço apresentado, além de uma melhor soldabilidade da peça. Por outro lado, durante a soldagem foi observada uma maior incidência de respingos, devido a instabilidades resultantes desse tipo de processo. Além disso, durante o processo de soldagem, foi possível observar de maneira clara a transferência de metal ocorrendo através dos glóbulos que se desprendiam da ponta da tocha, indo em direção a poça de fusão. Os valores de tensão e intensidade de corrente utilizadas foram de 23,8 V e 165 A. Tais verificações experimentais vão de acordo com os resultados esperados e estão de acordo com as informações obtidas sobre esse processo na literatura relacionada à soldagem.

Ao se analisar a Fig. 2. (b) pode ser notado que esse método resulta em uma espessura da penetração muito maior que a penetração desenvolvida pelo método que usa curto-circuito como método de transferência, além disso, as dimensões da zona termicamente afetada são maiores e o cordão de solda é mais largo e mais baixo.

No método de transferência por aerossol, obtido mediante um fino ajuste das variáveis do processo, como tensão, corrente, velocidade do arame e vazão de gás, pôde-se observar uma alta taxa de deposição de material, alta temperatura do metal de adição, alta taxa de penetração, além de baixa quantidade de respingos. Além disso, a peça soldada apresentou boa soldabilidade para os parâmetros de tensão e corrente de 28,2 V e 214 A respectivamente. É importante citar que para esses valores de corrente e tensão, a taxa de deposição de metal de adição é extremamente alta, o que resulta em dois fatores principais, um negativo e outro positivo. Por um lado, é possível obter um fator de ocupação extremamente alta nesse processo, ao mesmo tempo que devido à grande quantidade de material fundindo junto a poça de fusão, a solda fica impossibilitada de ser submetida a outras posições de soldagem, limitando-se a posição plana.

Ao fazer a análise da macrografia desse cordão, representada pela Fig. 2 (c), foi possível observar uma profunda espessura da penetração obtida, bem como grande zona termicamente afetada. É possível também observar que a razão largura por altura do cordão de solda nesse caso é maior que nos outros métodos utilizados. Na solda aerossol o reforço observado mostrou uma melhor relação do que as obtidas nas soldas por curto circuito e globular.

4.2. Micrografia

No que tange a microestrutura observada, notou-se grandes modificações da estrutura original do aço 1020, mostrado para efeitos de comparação na Fig. 3, em comparação com as zonas termicamente afetadas das transferências por curto-circuito, globular e por aerossol.

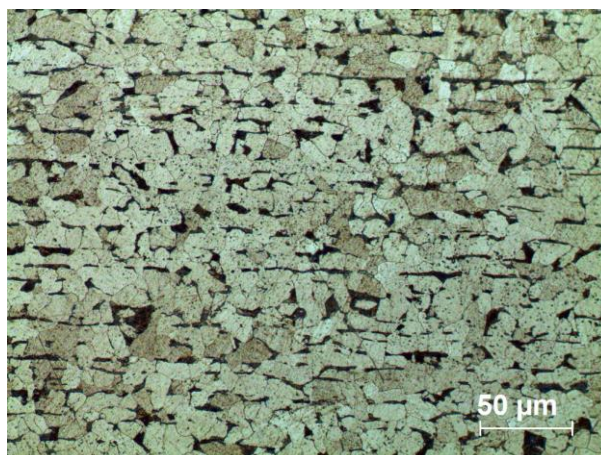


Figura 3: Microestrutura observada no metal base, com um aumento de 200 vezes.

A Fig. 4 mostra a microestrutura típica do aço SAE 1020, nela pode-se ver a presença característica de ferrita, parte branca da estrutura, e a perlita, parte preta. Observa-se que o tamanho de grão é uniforme, com formatos típicos e previsíveis.

Mesmo na soldagem por curto-circuito, onde as temperaturas de trabalho são menores daquelas obtidas pelos outros métodos, houve uma grande mudança na microestrutura. Nessa região, analisando os constituintes da microestrutura nota-se que a ferrita está passando por um processo de mudança de formato, comparando com a Fig.3, cujos grão apresentavam um formato poligonal, essa região apresenta ferrita com grão mais alongados, além de regiões intragranulares com a presença de uma ferrita mais pequena, que pode estar relacionada com a formação de ferrita acicular, como mostra a Fig. 4 (a).

Para a amostra soldada pelo método globular, notou-se o comportamento típico de aumento de grão na região mais próxima à zona fundida e de uma redução de grão na zona termicamente afetada mais afastada da zona fundida, essa região é mostrada na Fig. 4 (b). Nessa região observou-se a presença de ferrita com grãos mais alongados, que podem estar ligados com a pré-formação de ferrita de contorno de grão, encontra-se também, embora que em pouca quantidade, a ferrita de Widmanstätten.

Já para o método de transferência por aerossol, também pôde-se observar as duas regiões distintas na zona termicamente afetada, porém nesse método a distinção foi notada com mais clareza, já que essas regiões foram maiores que aquelas encontradas nos outros dois métodos.

A importância da zona termicamente afetada se dá porque essa é a região do metal base que sofrerá maior influência, devido ao fato dessa região estar adjacente à poça de fusão, e por esse fato, ela é submetida a altos valores de temperatura.

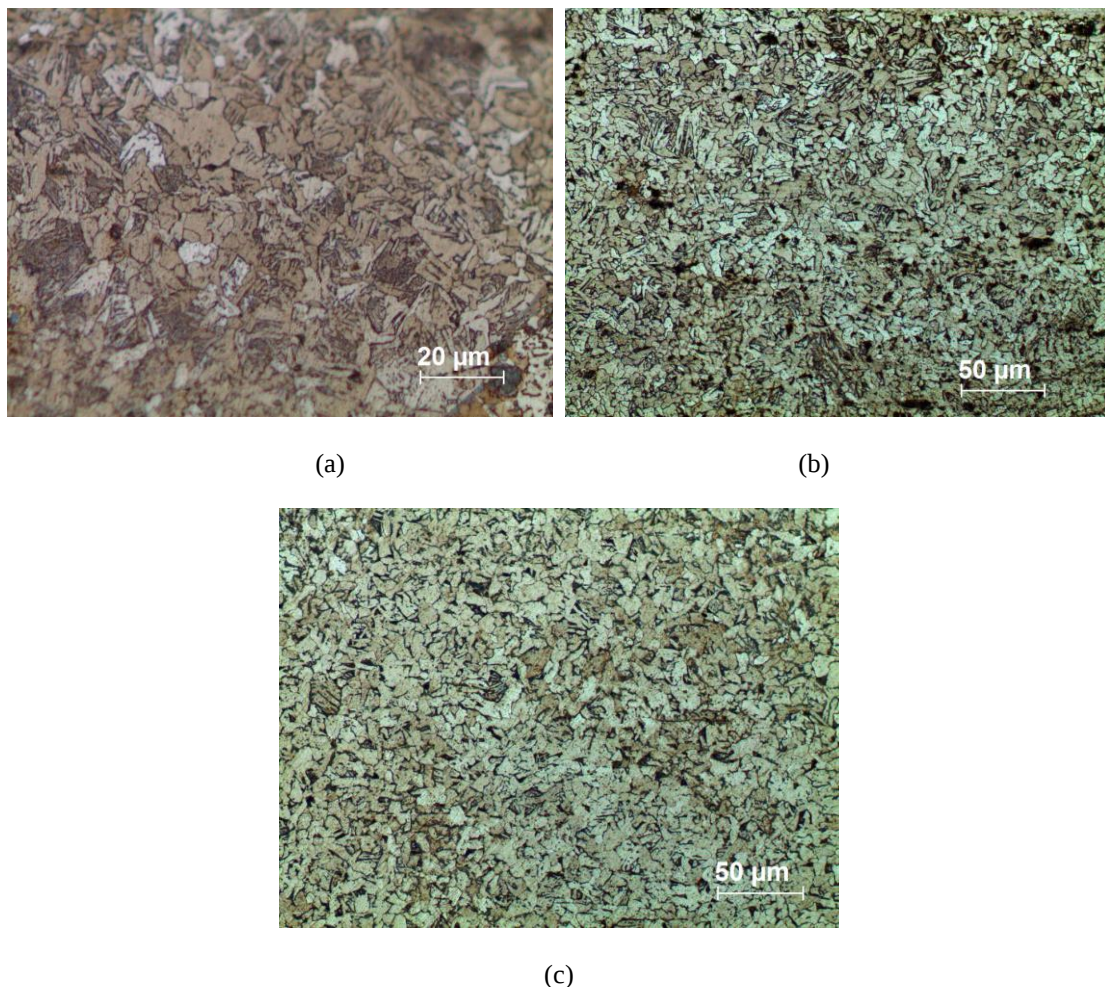


Figura 4: Imagens da microestrutura observada nas zonas termicamente afetadas para o método de transferência por curto circuito, 500 vezes de aumento (a), por transferência globular, 200 vezes de aumento (b) e por aerossol com 200 vezes de aumento (c).

A zona fundida, por sua vez, é submetida a temperaturas ainda maiores que a zona termicamente afetada, e por esse motivo já é esperado que nessa região estejam presentes microestruturas ainda mais diferentes.

Na zona fundida obtida no método com curto-circuito, vista na Fig. 5 (a), foi observada a presença de ferrita acicular, região contendo um grão muito pequeno e sem direção definida, pequenas quantidades de ferrita de contorno de grão e de Widmanstätten. Esse último tipo de ferrita apresenta um formato com diversas pontas afiadas, semelhante à um pente, e se desenvolve no aço em altas temperaturas, segundo Bhadeshia (2000).

Por sua vez, a microestrutura da zona fundida, que pode ser vista na Fig. 5 (b), se mostrou uma região onde grandes extensões de ferrita de Widmanstätten se formaram e se propagaram. Embora haja muita discussão sobre o meio de propagação da ferrita de Widmanstätten, várias fontes (Townsend e Kirkaldy, 1968; Kirkaldi, 1992) relacionam esse fenômeno com a propagação de uma interface instável. Além desse tipo de ferrita, tem-se a presença de ferrita acicular, uma ferrita que se apresenta em grão pequenos e desalinhados.

Na zona fundida, mostrada na Fig. 7 (c), encontrou-se uma maior quantidade de ferrita de contorno de grão, com a presença da ferrita de Widmanstätten e da ferrita acicular.

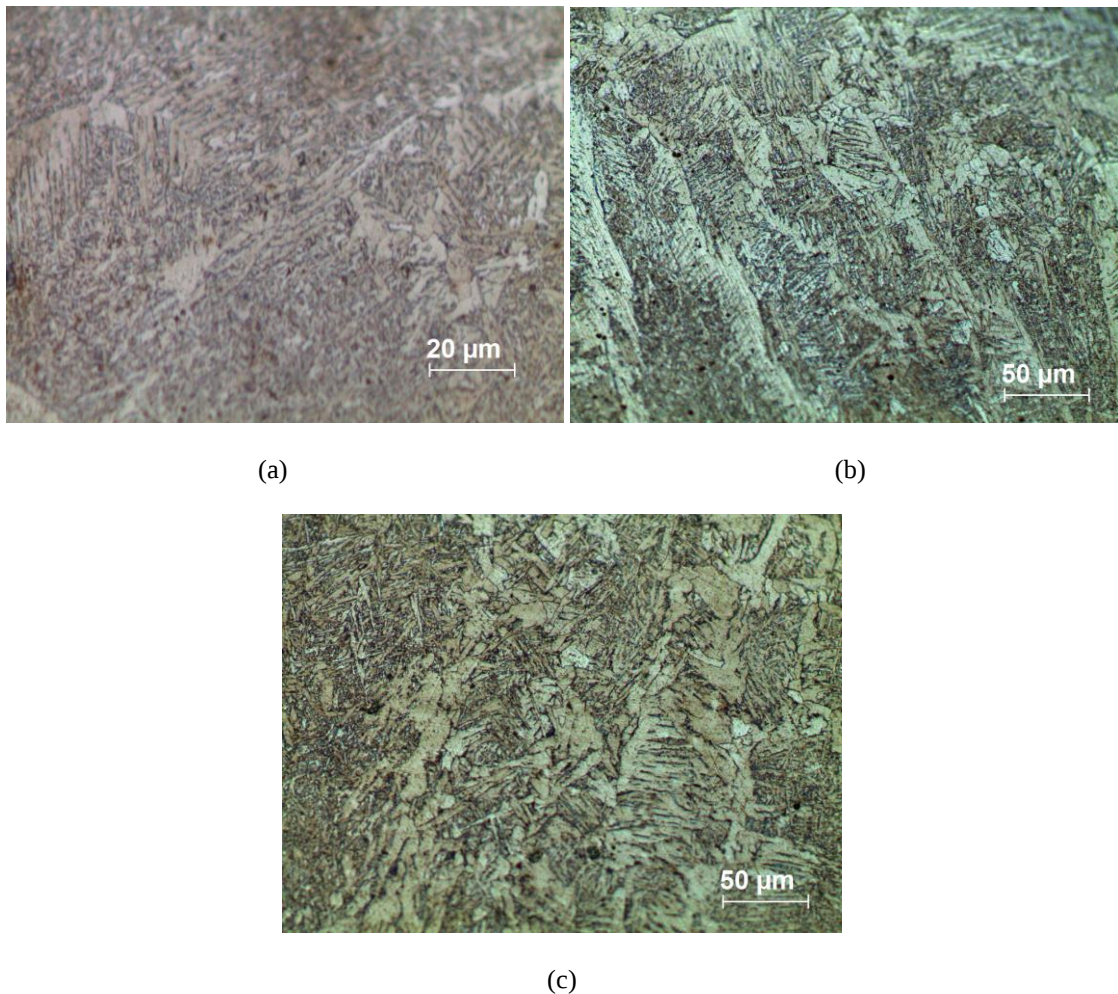


Figura 5: Microestrutura observada nas zonas fundidas para o método de transferência por curto circuito, 500 vezes de aumento (a), por transferência globular, 200 vezes de aumento (b) e por aerossol com 200 vezes de aumento (c).

5. CONCLUSÕES

O processo de soldagem MIG/MAG, se mostrou um processo que proporciona uma variabilidade muito grande de configurações, esta variabilidade está relacionada a diversos fatores, sendo um dos mais importantes o método de transferência do metal de adição. De fato, foi retratado que o método de transferência de metal de adição está associado com a mudança de diversas variáveis simultaneamente. Caso tenha-se uma solda GMAW feita com transferência por curto-circuito, isso indica que os parâmetros de soldagem se referem à um processo com correntes e tensões não muito elevados, além de uma velocidade de arame baixa. Esses dados são obtidos porque esse método gera menos calor que os outros métodos de transferência. Do lado oposto tem-se que uma solda aerossol lida com correntes, tensões, e velocidade de arame extremamente altas. Além do mais, parâmetros intermediários possibilitam outro método de transmissão, o globular.

Do mesmo modo que os parâmetros variam, as características também apresentam mudanças compatíveis. Foi observado que na solda com transferência por curto-circuito não houve a troca de calor tão grande, resultando numa penetração rasa, com uma pequena zona termicamente afetada. Do mesmo modo, pode ser notado o aumento da taxa de

transmissão de calor e taxa de deposição de metal para o método globular, isso gerou um cordão de solda mais largo, com uma penetração mais profunda e uma zona termicamente afetada maior que na transferência por curto-circuito. O método por transmissão por aerossol foi o que apresentou a maior taxa de calor produzido, o que resultou em uma taxa de transmissão de metal de adição também muito elevada, esse fato é facilmente comprovado considerando que esse método usou uma velocidade de arame superior aos outros dois métodos e mesmo assim gerou um cordão mais largo, muito profundo e com uma zona termicamente afetada muito grande, o que torna esse método ideal para espessuras superiores, onde há a necessidade de penetrações profundas.

Na análise micrográfica pode-se então ver a microestrutura dos cordões de solda, tanto na zona fundida quanto na zona termicamente afetada, as três microestruturas principais encontradas nessas regiões foram a ferrita acicular, a ferrita de contorno de grão e a ferrita de Widmanstätten, essa última presente principalmente nas zonas fundidas dos métodos por transferência globular e por aerossol. Além disso, o fenômeno de refino de grão esteve presente na zona termicamente afetada dos três métodos de transferência de metal.

Acredita-se que essas estruturas terão uma influência direta nas propriedades mecânicas da peça soldada. De acordo com (Petersen, 1973; Hall, 1951; Garstone e Johnson, 1963), o refino de grão tende a melhorar as características do metal soldado, como a dureza, ductilidade, resistência e a vida útil sob fadiga. Já a presença de ferrita acicular na zona termicamente afetada reduz a energia de iniciação e de propagação de trincas, segundo Xiong *et. al.* (2015). Além disso, a ferrita acicular, como mencionada por (Gallego e Ventrella, 2014; Modenesi, 2012), são constituintes da microestrutura que estão relacionados com um aumento da resistência mecânica e tenacidade ao cordão de solda. A ferrita de Widmanstätten, segundo Leont'ev e Buzovskii, (1968), aços com estrutura de Widmanstätten possuem maior resistência e características plásticas que aços com uma estrutura ferrítica-perlítica granular.

6. REFERÊNCIAS

- Naidu, D.S., Ozcelik, S., Moore, K.L., 2003. "Modeling, Sensing and Control of Gas Metal Arc Welding". Elsevier.
- J. G. Holmes e Resnick, 1979. "A flexible robot arc welding system". Proceedings of the American Society of Mechanical Engineers, páginas 1-15.
- ESAB, 2005. "Apostila de Soldagem MIG/MAG". Disponível em < http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0_apostilasoldagemmigmag_low.pdf>. Acesso em 25/11/2015.
- Hardt, D.E., 1993. "Modeling and control of manufacturing processes: getting more involved". Transactions of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and control. 115, páginas 291-300.
- Bollinger, J.G., 1987. "Control of Welding Processes". National Research Council. Washington, DC, 1987.
- Ibrahim, I.A., Mohamat, S.A., Amir, A., Ghalib, A., 2012. "The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) processes on different welding parameters". International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012.
- Karadeniz, E., Ozsarac, U., Yildiz, C., 2005. "The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes". Sakarya University, Sakarya, Turquia.
- Chayoukhi, S., Bouaziz, Z., Zghal, A., 2007. "Cost estimation of joints preparation for GMAW welding process using feature model". Ecole Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis, Tunis, Tunisia.
- Scotti, A., Poromarev, V., Lucas, W., 2012. "A scientific application oriented classification for metal transfer modes in GMA welding". Journal of Materials Processing Technology 212 (2012), páginas 1406-1413.
- Norrish, J., 2003. "A Review of Metal Transfer Classification in Arc Welding". IIW Doc. XII-1769-03.
- Modenesi, P. "Transferência de Metal na Soldagem GMAW (MIG/MAG)". Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- Curso de Inspetor de Soldagem. "Processos de Soldagem, Soldagem MIG/MAG". Disponível em < http://www.fbts.org.br/quantum/cursos/000071/downloads/M1_D4_T4_MIG%20MAG.pdf>. Acesso em 25/11/2015.
- Mathison, J., 2008. "Understanding transfer modes for GMAW". Practical Welding Today. Florence, EUA.
- Albuquerque, V.H.C., Cortez, P. C., Alexandria, W. M. A., Silva, E. M.; 2007. "Sistema de segmentação de imagens para quantificação de microestruturas em metais utilizando redes neurais artificiais". Revista Matéria, v. 12, n. 2, pp 394-407.
- Sarruf, B.J.M.; Cidade, R. A.; Braga, V.; Santana, G. J.; 2015. "Avaliação do desempenho de classificadores em metalografia quantitativa". Matéria (Rio J.) vol.20 no.2
- Daer, S.B.R.; Rolim, E.; Baptista, A.L.B.; Nascimento, I.A.; Baptista, L.A.C.; "Desenvolvimento e produção de componentes hidráulicos em ferro fundido vermicular destinados ao saneamento e irrigação". Portal Metalica Construção Civil.
- Cardoso, R. P.; "Materiais de Engenharia, Ferros Fundidos". Disponível em <[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM343/074Ferros%20fundidos\(nao%20revisado\).pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM343/074Ferros%20fundidos(nao%20revisado).pdf)>.
- Bhadeshia, H.K.D.K., 2000. "Widmanstätten Ferrite". Materials Science & Metallurgy.
- Townsend, R.D., Kirkaldy, J.S., 1968. "Widmanstätten ferrite formation in Fe-C alloys". Transactions of the ASM, 1968, vol. 61, pp. 605-19.
- Kirkaldy, J.S., 1992. "Spontaneous evolution of spatiotemporal patterns in materials". Reports on Progress in Physics, vol. 55, pp. 723-95.
- Xiong, Z.; Liu, S.; Wang, X.; Shang, C.; Li, X.; Misra, R.D.K.; 2015. "The contribution of intragranular acicular ferrite microstructural constituent on impact toughness and impeding crack initiation and

propagation in the heat-affected zone (HAZ) of low-carbon steels”. Materials Science & Engineering A 636 (2015) 117–123.

Petersen, W. A. 1973. “Fine Grained Weld Structures”. Welding Journal 52(2): pgs 74 a 79.

Hall, E. O. 1951. “The deformation and ageing of mild steel”. Proceeding of the Physical Society. Vol. 64B, p. 747.

Garstone, J., Johnson, F. A. 1963. “Impact Properties of Mild Steel Weld Metals”. British Welding Journal. Vol. 10.

Gallego, J., Ventrella, V.A. 2014. “Inclusões na formação da ferrita acicular: caracterização por microscopia eletrônica de transmissão”. 69º Congresso Anual da ABM. São Paulo, Brasil.

Modenesi, P.A., 2012 “Soldabilidade dos Aços Transformáveis”. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil.

Leont'ev, B.A., Buzovskii, Y.N., 1968. “Mechanical properties of steel with a Widmanstätten structure”. Metal Science and Heat Treatment, Vol. 10, pp 930-932

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

THE INFLUENCE OF ADDITIVE METAL TRANSFER METHOD ON THE MIG/MAG WELDING

Cleomar Maraga, cleomar.maraga@gmail.com¹

Guilherme Schabbach, guischabbach@gmail.com¹

Giácomo Gai Soares, giacomo.soares@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul-Campus Farroupilha, Avenida São Vicente, 785 – Cinquentenário, Farroupilha

Abstract. *The welding processes enable a large variability of characteristics. Among the most important methods, gas metal arc welding (GMAW), or MIG/MAG welding, distinguishes itself for allowing good characteristics of efficiency and effectiveness. Thus, the main goal of this article is to evaluate the influence of the metal transfer method in the microstructure of the heat affected zone and in the fusion zone. The experiment was conducted through the execution of several weld beads on a 6.5-millimeter-thick SAE 1020 steel plate, changing the parameters of tension and electrical current intensity. It was used parameters collected from the literature for each metal transfer method. Following this, it was performed an analysis of the fusion zone and heat affected zones through macro and micrographs. In the macrographic analysis, for the short-circuit method, it was observed shallow penetration and a small heat affected zone. For the globular method it was observed a thicker bead, with penetration and heat affected zone larger than the first method. The metal transfer mode using spray was characterized by an enhanced deposition rate, it generated the thickest weld bead, deepest metal penetration and largest heat affected zone among the three metal transfer methods. Regarding the micrograph in the fusion zone, it was noted, for every sample, the presence of three types of ferrite: grain boundary, Widmanstätten and acicular ferrite. It is highlighted in the samples welded by spray a grain refinement in the fusion region. In the heat affected zone, it was observed the presence of boundary grain and Widmanstätten ferrite, as well as the characteristic grain growth. Therefore, the use of different metal transfer methods influenced in a more significant manner the microstructure of the fusion zone of the samples welded by spray. It is believed that the appearance of refined grain will improve the mechanic behavior of the samples in the mechanical tests to be performed afterwards.*

Keywords: Welding, GMAW, MIG/MAG, metal transfer, metallography.