

Processo MIG/MAG com Eletrodo Rotativo: Investigação das Variações Geométricas Mediante a Distintas Frequências.

MIG / MAG Process with Rotating Electrode: Investigation of Geometric Variations by Different Frequencies.

Arthur Gustavo Moreira Santos¹, Uallas Henrique de Oliveira de Brito¹, Hellinton Direne Filho¹, Marcelo Pompeier Okuyama¹, Mateus Barancelli Schwedersky¹, Regis Henrique Gonçalves e Silva¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, POSMEC / LABSOLDA, Florianópolis – SC, Brasil;

arthur.gustavo.moreira.santos@posgrad.ufsc.br

Resumo

Presente em um cenário contemporâneo, onde a tecnologia está evoluindo em largos passos, não seria diferente com os processos de soldagem, sendo mais específico o processo MIG/MAG. Atualmente diversas variantes modernas são ofertadas para o mercado, onde muitas vezes seu desempenho não se iguala ao que foi exposto pelas frases mercadológicas. Face a este cenário, a vigente investigação se concatena junto aos objetivos do LABSOLDA no que diz respeito a investigações de modernas tecnologias. Este trabalho concentrou em averiguar as possíveis variações geométricas e físicas mediante o uso de um moderna variante do processo MIG/MAG intitulada Spinarc, operando desta maneira em distintas frequências de rotação do eletrodo. Fora analisados dados de tensão e corrente juntamente com filmagem de alta velocidade e foram realizados análises macrográficas. Os resultados indicam que a frequência de rotação possui uma forte influência em aspectos geométricos, apresentando uma menor penetração e maior largura do cordão a medida que aumenta-se a frequência de rotação. Também foi observado que o aumento da frequência de rotação propicia um aumento na taxa de fusão do eletrodo. A partir de uma determinada frequência de rotação, faz-se necessário correção da vazão do gás de proteção a fim de se evitar porosidades. De forma geral, tal investigação contribui para uma melhor entendimento dos fenômenos decorrentes da tecnologia a eletrodo rotativo.

Palavras-chave: Eletrodo rotativo, Frequência de rotação, taxa de fusão, aspectos geométricos.

Abstract

Present in a contemporary world, where the technology is evolving in great strides, would not be different with the processes of welding, being more specific the process MIG / MAG. Currently several modern variants are offered to the market, where often their performance does not match what was exposed by the marketing phrases. In view of this scenario, the current research is linked to the objectives of LABSOLDA with regard to investigations of modern technologies. This work focused on the possible geometric and physical variations using a modern variant of the MIG / MAG process called Spinarc, thus operating at different frequencies of rotation of the electrode. Voltage and current data were analyzed along with high speed filming and macrographic analyzes were performed. The results indicate that the rotation frequency has a strong geometric aspect, presenting a lower penetration and a greater width of the cord as the frequency of rotation increases. It has also been observed that increasing the rotation frequency leads to an increase in the electrode fusion rate. From a given rotation frequency, it is necessary to correct the flow rate of the shielding gas in order to avoid porosity. In general, this research contributes to a better understanding of the phenomena resulting from rotary electrode technology.

1. Introdução

De modo recente, tornou-se quase indiscutível a grande parcela do processo de soldagem como um processo de fabricação. E dentre todos os processos de soldagem o MIG/MAG é o mais difundido no ambiente industrial. Essa ocorrência se deve ao fato do mesmo apresentar alta taxa de deposição, alto fator de trabalho, baixo custo no

que diz respeito a equipamentos e sua facilidade para automação, fator esse que contribui de forma direta para aumentar o valor agregado do produto final.

Em posse de tantas conveniências, o mesmo se desenvolveu em larga escala, sendo um dos processos que mais foram conduzidas explorações, dotando atualmente de inúmeras variáveis modernas, todavia cada variante possui suas peculiaridades, de modo que cada uma necessita de uma investigação de modo a se conhecer suas características e assim poder extrair seu melhor desempenho, tanto em aspectos operacionais, quanto em aspectos físicos.

O processo CMT (*Cold Metal Transfer*), processo que tem por peculiaridade, o avanço e recuo de modo controlado eletronicamente do arame, de modo a se obter uma estável transferência metálica com baixa emissão de respingos, fato esse somente possível devido ao controle eletrônico do processo. Outro fator de grande relevância a respeito desse processo é o fato do mesmo inicialmente ter sido desenvolvido para a soldagem de chapas finas e materiais dissimilares, como por exemplo a união de aço com alumínio [1x-2x].

Outra variável bem difundida se trata da tecnologia titulada *Rapidarc*, processo que promete alta produtividade, e ainda há uma possível redução de custos no que diz respeito a energia, tendo em vista que o mesmo opera com um valor médio de tensão menor quando comparados aos processos convencionais. Outra variável com o objetivo precípua de ofertar alta produtividade se trata do processo denominado *buried arc*, ou arco enterrado, que se trata de um processo de alta penetração e alta taxa de deposição.

Por fim, de modo recente, uma tocha de soldagem MIG/MAG titulada *Spinarc*, desenvolvida pela empresa Weldrevolution, tanto com o intuito de aumentar a produtividade como também melhorar a qualidade dos cordões, sejam eles destinados a chanfros estreitos ou aplicados a revestimentos duro, onde a mesma prove rotação cônica do bico de contato na qual é transmitida para o bico de contato, fazendo assim com que o eletrodo seja rotacionado continuamente a 360°, sendo tal processo o objetivo do presente trabalho. De acordo com seus fabricantes, tal tecnologia tem como vantagem a possibilidade da redução ou até mesmo isenção do ângulo da junta, fato esse que além de propiciar uma drástica redução na quantidade de matéria prima necessária, reduz o tempo total de operação. Ao analisar tal afirmação, pode-se perceber que uma redução na geometria da junta, propicia vantagens muito maiores que simplesmente uma redução de custo, minimiza as distorções causadas pelos processos multipasses, reduz também as tensões residuais e falta de fusão nos flancos laterais (devido a ocorrência da transferência metálica ocorrer em distintas regiões da poça de fusão) [3-4].

Seus fabricantes ainda, propuseram testes de modo a comparar tal tecnologia com o processo de soldagem SAW destinado a soldagem de chapas espessas de 3/4" de espessura. Em seu comparativo para o processo SAW seria necessário uma junta com ângulo de 20°, resultando desta maneira em 13 passes para o preenchimento total da junta. Com a tecnologia a eletrodo rotativo titulada *Spinarc* para a mesma situação, não houve a necessidade da junta ter ângulo, ou seja se tratava de uma técnica de soldagem denominada *square butt joint*, desta forma apenas 7 passes foram necessários para o preenchimento total. De posse desse conhecimento pode-se perceber que a redução em números de passes, não acarreta apenas em uma redução na quantidade de metal que será aportado, acarreta em um menor tempo de arco aberto, além de reduzir a tensões residuais causadas pelo processos multe passes [6].

Pesquisas empreendidas por GU [6], onde o pesquisador investigou uma tecnologia similar à que será abordada neste estudo, realizou testes tanto em comando de tensão quanto em comando de corrente com cunho exploratório sobre tal tecnologia. O mesmo ainda fez um comparativo no que diz respeito a influência da frequência de rotação do eletrodo mediante a manipulação tanto de técnicas *narrow gap*. Através de seus experimentos o mesmo pôde concluir que a influência de rotação muda o tanto perfil de penetração do cordão (fato esse de extrema relevância para sanar a problemática de falta de fusão nos flancos laterais) como prove uma maior taxa de fusão do eletrodo para o mesmo valor médio de corrente. Outro comparativo realizado pelo mesmo foi a variação da taxa de fusão quando se opera tanto com comando de corrente como comando de tensão em chapas planas mediante a técnicas *narrow gap*.

Diante do exposto, muitos fabricantes mascaram o verdadeiro caráter de suas tecnologias, com slogans apresentando desta maneira frases de mercadológicas, com objetivo apenas de acrescer a receita anual. É neste presente contexto que tal trabalho se concatena juntos aos objetivos do LABSOLDA, a vigente pesquisa tem como cunho a investigação tanto em parâmetros geométricos quanto físicos decorrente a manipulação de distintas frequências de rotações do eletrodo, contribuindo desta maneira para uma melhor compreensão dos fenômenos decorrentes da variante moderna do processo MIG/MAG titulada *Spinarc*. Essa pesquisa também se faz necessário para comprovar os poucos dados obtidos mediante a escassa literatura a respeito de tal temática.

2. Equipamentos, Materiais e Metodologia

2.1 Equipamentos

Foi utilizado uma fonte eletrônica de soldagem DigiPlus A7 com capacidade máxima de até 450 A, chaveada no secundário, controlada remotamente via microprocessador. O cabeçote tracionador de arame modelo STA, ambos da empresa IMC soldagem.

A tocha em questão, titulada *Spinarc*, desenvolvida pela empresa *Weldrevolution*, admite variação da frequência de rotação de 500 a 5500 rpm, alterando seu diâmetro de 1 a 8 mm com incremento de 1 mm e também permite alterar o sentido de rotação do eletrodo.

O manipulador robótico cartesiano utilizado foi um Tartílope V2F, doado de dois graus de liberdade. Para aquisição de dados foi utilizado o Sistema de Aquisição de Dados Portátil – SAP, ambos do fabricante SPS – Sistemas e Processos de Soldagem.

Mediante a necessidade de compreender os fenômenos físicos decorrentes do processo, utilizou-se uma câmera de alta velocidade IDT, modelo Y4S2.

2.2 Materiais

Para a realização dos cordões, utilizou-se o arame de designação ASW ER 70S-6 de 1,2 mm de diâmetro em chapas de aço carbono SAE 1020 de ¼” de espessura e como proteção gasosa foi utilizado uma mistura composta de 98% Ar e 2% CO₂.

2.3 Metodologia

Alguns parâmetros foram mantidos constantes durante todos os testes, dentre eles: Distância do bico de contato a peça (DBCP) fiada em 15 mm, velocidade de soldagem igual a 33 cm/min, ângulo da tocha de 90° e vazão do gás de proteção igual a 25 l/min, medidos min medidos na ponta da tocha com um fluxímetro.

Para todos os ensaios, foram tiradas fotos dos cordões depositados, com a finalidade de comparar o nível de respingo, além de filmagem de alta velocidade para avaliar tanto o comportamento da poça de fusão quanto da própria transferência metálica.

Para o desenvolvimento do formado de onda pulsada, utilizou-se a metodologia adotada por [7], onde objetivava-se o destacamento de apenas uma gota por pulso e um valor médio de corrente abaixo do valor médio da corrente de transição, cujos os parâmetros elétricos são exibidos na Tabela 1. Cabe salientar que para todos os ensaios a distância do bico de contato a peça (DBCP) foi fixada em 15 mm.

Tabela 1 – Parâmetros elétricos regulados nos ensaio de caracterização.

Ip (A)	tp (ms)	Ib (A)	tb (ms)	V.a (m/min)	V.s (cm/min)
450	2,2	80	9,0	4,5	33,0

Afim de avaliar a influência da frequência de rotação tanto em aspectos geométricos quanto físicos, manteve-se o diâmetro de rotação do eletrodo e variou-se a frequência do mesmo, cujo os respectivos parâmetros podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros regulados na tocha *Spinarc*.

Sentido de rotação	Ø Rotação (mm)	Frequência de rotação (rpm)
Ante horário	3	-
		500
		1000
		1500
		2000

Para medição das características geométricas do cordão, cada corpo de prova soldado foi cortado transversalmente. Em seguida, preparou-se metalograficamente as amostras com lixas de granulação 80, 320, 400,

600 e 1200, além de alumina $1,0 \mu$ para polimento. O ataque químico empregado consistiu em Nital 2% (98% álcool etílico absoluto e 2% ácido nítrico). Após ataque, as amostras foram fotografadas mediante a utilização de um estereoscópio OPTON com ampliação de 10x. Posteriormente foram avaliadas as características geométricas dos cordões mediante a utilização de software de análise de imagens "Photoshop". Para mensurar as características geométricas, utilizou-se como parâmetro de referência a espessura de cada chapa. Cabe ressaltar que cada parâmetro foi mensurado três vezes, realizando assim um média dos valores obtidos.

3. Resultados e Discussões

3.1 Aspectos geométricos

A Figura 2 exibe as foto superiores e as seções transversais, realizado na respectiva ordem conforme descrito na Tabela 2.



Convencional – Sem rotação



500 rpm



100 rpm



1500 rpm



2000 rpm – Sem correção do gás



2000 rpm – Com correção do gás

Figura 2. A direita a vista superior dos cordões de solda realizados e a direita as mamografias dos respectivos cordões.

Ao analisar a figura 2.A, ou seja um processo sem rotação do eletrodo, pode-se comprovar que de fato há uma tendência para uma maior penetração na região central, ocorrência da pressão do arco elétrico ficar disposto na região central da poça, corroborando desta maneira com os resultados das pesquisas empreendidas por [8-9].

Um fato de despertou um certo anseio, foi ao realizar o depósito com 2000 rpm o cordão de solda apresentou porosidades, conforme pode ser visualizado na Figura 2E. Ao analisar essa ocorrência pode-se perceber que mediante a alta frequência de rotação do eletrodo, o mesmo propiciava um regime turbulento no gás de proteção, fazendo com que o mesmo fosse direcionado para fora da região da poça de fusão, acarretando desta maneira em uma ineficiente proteção gasosa. Face a isso, acresceu 5 l/min na vazão do mesmo e foi perceptível que tal metodologia foi capaz de sanar a respectiva problemática, entretanto cabe ressaltar que um estudo dedicado à dinâmica dos gases mediante a rotação do eletrodo deve ser conduzido. Pode-se identificar também que quanto maior a frequência de rotação, maior foi a emissão de respingos, como pode ser observado na Figura 2F. Tal acontecimento está relacionado que altas frequências de rotação do eletrodo tendem a ejetar gotas para fora da poça de fusão. Por intermédio de análise visual, foi perceptível a observação que o número de escamas presentes no cordão de solda aumentava mediante o acréscimo da frequência de rotação.

A Figura 4 exibe os valores obtidos de penetração, reforço e largura dos respectivos cordões. Pôde-se perceber que a medida que aumentava-se a frequência de rotação, há uma tendência tanto na redução do reforço quanto da penetração e um aumento na largura do cordão. Esse fato pode estar atrelado que a medida que aumentava-se a frequência de rotação do eletrodo, o mesmo tende a percorrer uma área maior, e de posse da informação que todos os outros parâmetros foram mantidos constantes (velocidade de soldagem e valor médio de corrente), há uma tendência de aumentar a largura e redução da penetração, em outras palavras, aumentava-se a área a ser depositado o material para o mesmo valor médio de corrente.

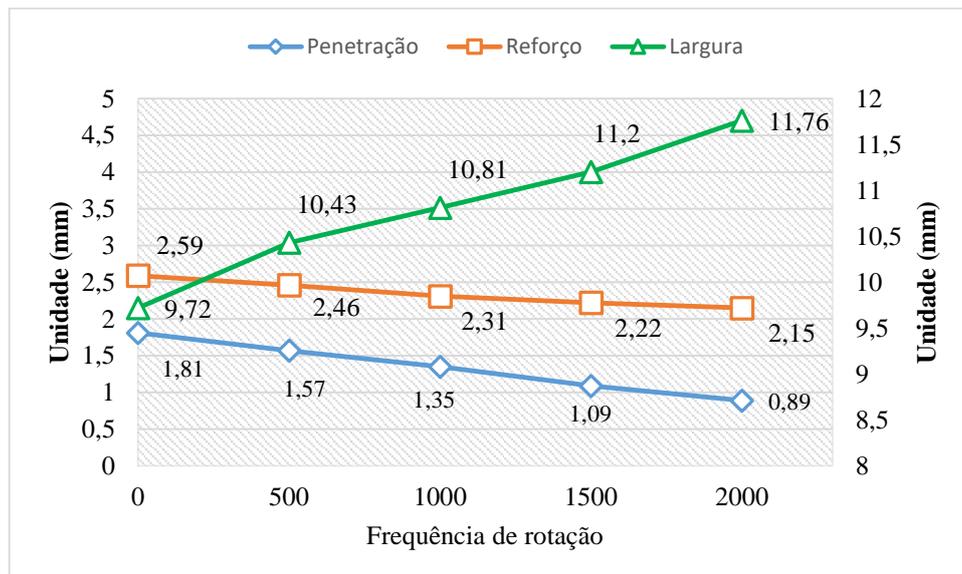


Figura 4. Gráfico comparativo de penetração, reforço e largura.

A Figura 5, representa a sobreposição das seções transversais de 0 e 2000 rpm de modo a facilitar a identificação das alterações geométricas mediante o incremento da frequência de rotação do eletrodo.

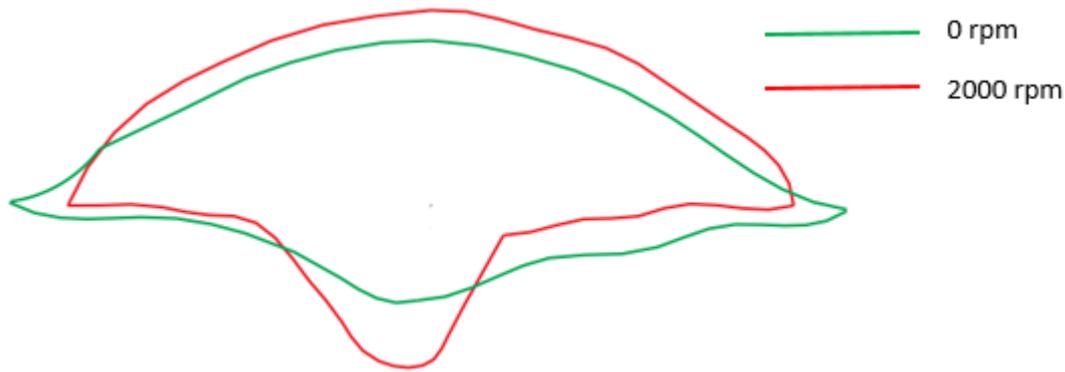


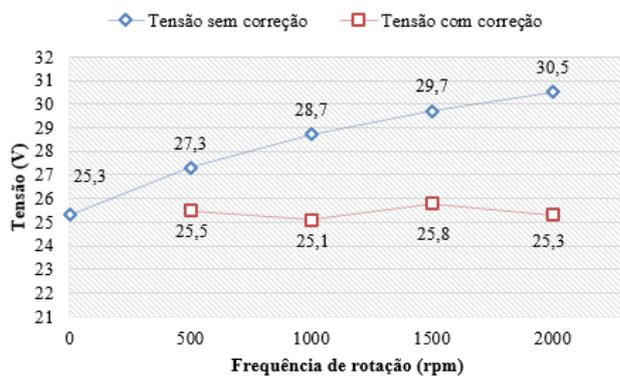
Figura 5. Sobreposições da seções transversais 0 e 2000 rpm.

Mediante a análise da figura 5 pode perceber que a frequência de rotação possui uma forte influência na geometria do cordão de solda. A medida que se acrescia a frequência de rotação, aumentava-se a largura do cordão e reduzia-se tanto a penetração quanto o reforço do mesmo, corroborando desta maneira com os resultados encontrados por GU [7]. Esse fato pode ser de grande auxílio pra a soldagem multe passes, de modo a se obter um cordão menos convexo, ocorrência essa que tende a auxiliar o passe subsequente, evitando desta maneira a falta de fusão.

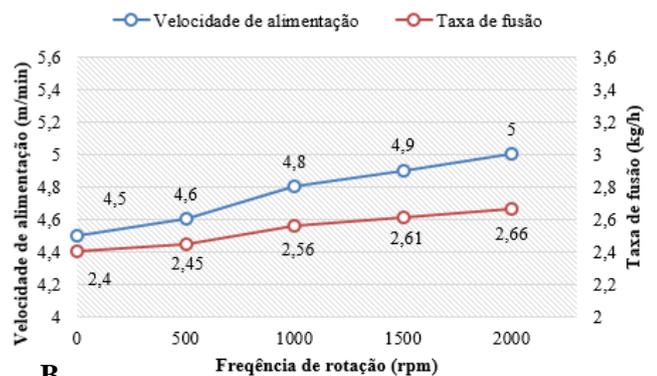
3.2 Aspectos Físicos

Inicialmente foi observado que a medida que acrescia a frequência de rotação, o valor médio de tensão aumentava e consequentemente o comprimento do arco também acrescia, resultando desta maneira em um cordão não aceitável. Face a esta ocorrência acresceu-se a velocidade de alimentação de modo a se obter um valor similar ao valor médio de tensão obtido no ensaio sem rotação, ou seja em um processo convencional.

A Figura 5A exibe o comportamento da tensão com e sem correção na velocidade de alimentação, enquanto a Figura 5B exibe os aspectos físicos decorrente da variação da taxa de fusão mediante a diferentes frequência de rotação do eletrodo.



A



B

Figura 5. Influência da frequência de rotação em: (a) comportamento da tensão e (b) aspectos físicos.

Ao analisar a Figura 5, pode-se perceber que a frequência e rotação possui uma forte influência em aspectos físicos, ocorrência essa que afeta o fenômeno da transferência metálica. Em um processo onde o eletrodo é rotacionado continuamente, a distancia entre a ponta do arame e a peça é alterada continuamente, tal ocorrência é refletida no comportamento da tensão, sendo proporcional o acréscimo de tensão mediante ao aumento da frequência de rotação. O aumento da tensão propicia também um aumento da potência do processo, que leva a um aumento do consumo de material aportado, fato esse observado pelo sutil aumento do comprimento do arco. Face a essa ocorrência para cada ensaio acresceu-se a velocidade de alimentação do arame, de modo que o comprimento do arco se reestabelece-se ao comprimento original, afim de que fosse possível a realização do cordão. De modo geral, percebeu-se que para o mesmo valor médio de corrente, ao acrescer a frequência de rotação do eletrodo o processo consegue fundir uma maior massa de metal.

A Figura 6 exibe o comportamento da tensão e corrente sincronizado com a filmagem de alta velocidade, a uma frequência de rotação do eletrodo a 2000 rpm. Cabe salientar que se trata de distintas imagens geradas pelo mesmo vídeo.

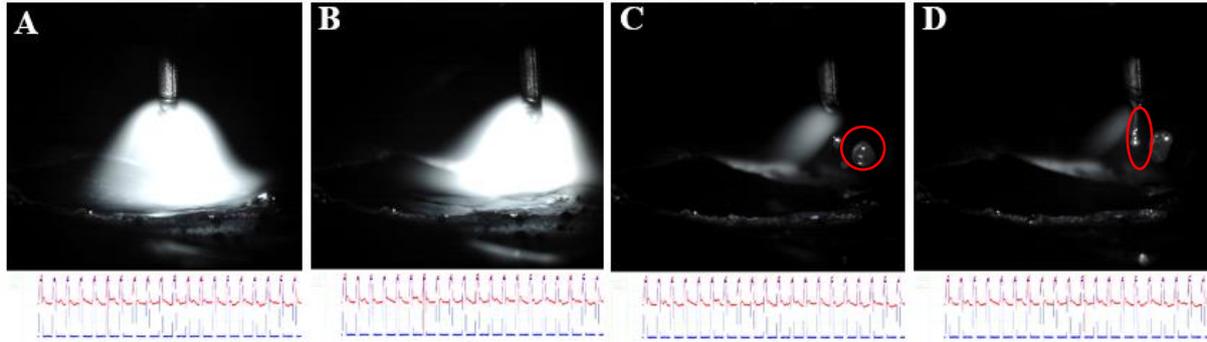


Figura 6. Filmagem de alta velocidade sincronizado com oscilograma de tensão e corrente

Ao analisar os vídeos gerados, pode-se perceber que mesmo o destacamento da gota metálica ocorrendo na fase de base, o mesmo se mostrou repetitivo, tendo energia suficiente para a mesma ser destacada, não sendo retrocedia para a ponta do eletrodo.

Ao ponderar as figuras 6.A e 6.B, foi observado que tal tecnologia é capaz de propiciar o destacamento da gota em distintas regiões da poça de fusão. O fato de se pulsar o arco em distintas regiões da poça, faz com que a pressão exercida pelo arco elétrico na região central da mesma seja reduzida quando comparada ao processo convencional. O fato de aumentar a frequência de rotação do eletrodo, resulta em um acréscimo a velocidade na qual a gota impele sobre a poça de fusão, razão justificável pela observação de uma maior emissão de salpicos que pode ser comprovado mediante a análise da figura 2.F, ocorrência esse que tende a reduzir a eficiência de deposição do processo.

Na figura 6.D, foi constatado que a medida que se acrescia a frequência de rotação, aumentava-se a quantidade de metal já fundido na ponta do eletrodo, porção essa que pode escorrer e tocar na gota antes que a mesma seja depositada na poça, levando desta maneira ao colapso do processo.

4. Conclusão

Através dos ensaios realizados, foi possível concluir que:

- A metodologia para o desenvolvimento do formato de onda para a tecnologia a eletrodo rotativo se mostrou bastante estável mesmo o destacamento da gota metálica ocorrendo na fase de base.
- Ao se operar em altas frequências de rotação, acima de 1500 rpm, é necessário correções na vazão de gás de modo a se evitar possíveis contaminações.
- A frequência de rotação do eletrodo possui uma forte influência em parâmetros geométricos do cordão de solda, de modo que altas frequência propiciam um cordão menos convexo, com menor penetração e mais largo.
- A medida que aumenta-se a frequência de rotação do eletrodo aumenta-se também a emissão de respingos, fazendo necessário a adoção de novos parâmetros.
- A frequência de rotação possui forte influência na geometria do cordão de solda, de modo que um acréscimo na mesma resulta em um cordão menos convexo e mais largo.
- Ao se aumentar a frequência de rotação, consegue-se fundir uma maior massa de metal para o mesmo valor médio de corrente.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem á UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, ao POSMEC – Programa de Pós graduação em Engenharia Mecânica e em especial ao LABSOLDA – Instituto de Soldagem e Mecatrônica por tornar factível a realização deste trabalho, tornando possível o crescimento tanto pessoal como profissional.

6. Referências

- [1] FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. Manual de instrução de operação - Controle Remoto RCU5000i. p. 241. 2010.
- [2] PICKIN, C. G.; YOUNG, K. Evaluation of cold metal transfer (CMT) process for welding aluminium alloy. Science and Technology of Welding and Joining, Vol. 11, n. 5, 2006.
- [3] REVOLUTIONS, W. High-speed rotating arc welding increases productivity and quality. Welding Productivity p. 5, 2015.
- [4] FUNDERBURK.S. SpinArc™ Welding System Explained – WELDING JOURNAL / JUNE 2015.
- [5] <http://www.weldrevolution.com/wp-content/uploads/2018/01/CWA-Dec-2017-Article-Experimental-Study-Of-SpinArc>. Acessado em 02 de junho de 2018.
- [6] J. Y. Wang, Y. S. Ren, F. Yang & H. B. Guo. Novel rotation arc system for narrow gap MAG welding, Science and Technology of Welding and Joining, 12:6, p. 505-507.2007.
- [7] SCOTTI, A. AND V. PONOMAREV, Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho. 2008: Artliber.
- [8] N. WANG, ZHU. J, YANG.F. Development of Swing Arc Narrow Gap Vertical Welding Process. ISIJ International, Vol. 55,, p. 1076–1082. 2015.
- [9] CIU. H. C, JIANG. Z.D, TANG. X.H, LU. F. G. Research on narrow-gap GMAW with swing arc system in horizontal position. Int J Adv Manuf Technol, Vol. 74, p. 297 – 305. 2014.