

UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA SOLDAGEM MIG-CA

Alexandre Saldanha do Nascimento

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M -
Uberlândia/MG CEP: 38400-902
asnascimento@mecanica.ufu.br

Louriel Oliveira Vilarinho (Orientador)

vilarinho@mecanica.ufu.br

Resumo: *O desenvolvimento de fontes eletrônicas de soldagem tem permitido o estudo de processos inovadores, geralmente com o objetivo de melhorar a capacidade de produção aliada a baixos níveis de aporte térmico. Os processos existentes são baseados no modo de transferência metálica e no desenvolvimento de formas de ondas que melhorem o controle do processo, como no MIG com corrente pulsada. O processo MIG-CA pulsado é um processo derivativo do MIG convencional que alia as vantagens do uso de polaridade positiva, como a boa estabilidade de arco e limpeza catódica, com as fornecidas pela polaridade negativa, que seria principalmente a elevada taxa de fusão do eletrodo e baixo aporte térmico ao metal de base. Essas características tem tornado o processo bastante atrativo para aplicações em chapas finas, fora de posição e em materiais sensíveis à deformação. Desta forma, este trabalho trata de uma investigação inicial do processo MIG-CA, a partir da revisão da literatura.*

Palavras-chave: MIG, Corrente Alternada, Pulsada.

1. INTRODUÇÃO

Em 1930 Hobart e Devers patentearam o que mais tarde foi chamado de processo GMAW (Gas Metal Arc Welding), porém esse processo só se tornou comercialmente utilizado em 1948.

A partir do desenvolvimento das fontes de soldagem o processo GMAW tornou-se largamente utilizado em todo o mundo e passou a ser alvo de pesquisa no intuito de desenvolver processos chamados derivativos que melhorassem as características operacionais do processo e a qualidade do metal depositado.

As muitas variantes do processo que existem são basicamente baseadas no modo de transferência metálica e no desenvolvimento de formas de ondas que melhorem o controle do processo (Harwig, 2000).

A soldagem MAG-AC convencional com onda senoidal foi investigada no TWI nos anos 1970, usando uma fonte transformadora. Já o equipamento comercial de soldagem MAG-AC pulsada foi desenvolvido e introduzido inicialmente no Japão em 1988.

Desde o início dos anos 90 várias centenas de fontes foram vendidas no USA, mas a tecnologia de soldagem MIG-AC pulsada só foi disponibilizada comercialmente na Europa apenas no final da década de 1990 e foi promovida inicialmente apenas para aplicações em robótica. As fontes para aplicação em soldagem manual também foram desenvolvidas no Japão e recentemente introduzidas na Europa (Mulligan, 2003, 2004).

Muitos usuários industriais não entendem os benefícios desta tecnologia por causa da falta de divulgação fora do Japão e a escassez de pesquisas publicadas. Mesmo no Japão este novo processo não tem sido largamente aceito (Mulligan, 2003).

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A soldagem em MIG-CA também é conhecida pelo termo Variable Polarity Gas Metal Arc Welding (GMAW-VP) ou MIG com polaridade variável.

O termo “Polaridade Variável” é usado para descrever o que é efetivamente Corrente Alternada (CA). A diferença entre CA e Polaridade Variável é a forma de onda. Normalmente, o termo CA é usado para descrever uma onda senoidal, apesar de que também pode ser usado para descrever uma corrente que alterna entre polaridades positiva e negativa.

Polaridade Variável é mais exatamente usada para descrever formas de onda nas quais a razão das duas polaridades pode ser variada.

O processo de soldagem MIG CA combina as vantagens da soldagem MIG convencional (EP) com o aumento na taxa de deposição e redução do aporte térmico que ocorre quando o processo MIG é operado com o eletrodo no modo polaridade negativa (EN) (Mulligan, 2003). A Figura 1 apresenta as características fundamentais do arco em ambas as polaridades.

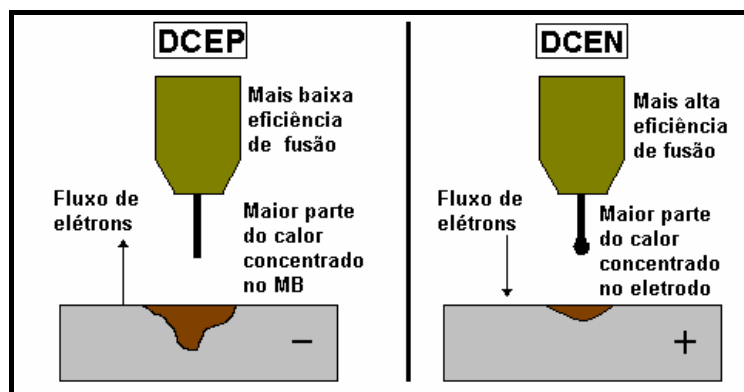


Figura 1 - Características do arco nas polaridades DCEP e DCEN.

Polaridade negativa ou combinação de polaridades tem sido usada com sucesso em processos que utilizam fluxo, como Eletrodo Revestido, Arame Tubular e Arco Submerso.

O uso de polaridade direta para controlar o aporte térmico sobre o metal base e penetração nesses processos tem gerado interesse similar para MIG. No entanto, um obstáculo que tem limitado o uso de DCEN e polaridade variável (ou CA) em MIG é o problema de instabilidade do arco que acompanha o uso de polaridade negativa.

Esse problema é facilmente resolvido pela adição de elementos estabilizantes em processos que usam fluxo. No entanto, problemas de instabilidade em arame nu (MIG) são mais difíceis de resolver do que com os processos que usam fluxo, por isso, a soldagem com arame maciço é operada quase exclusivamente com polaridade positiva. Polaridade DCEN é usualmente limitada para transferência globular e é raramente usada porque o arco resultante é instável e com salpicagem inaceitável.

A maioria dos problemas inerentes ao uso de DCEN em MIG é a forte força repulsiva que age na gota na ponta do arame eletrodo (cátodo) como visto na Figura 2.

Técnica de ativação do eletrodo tem sido empregada para melhorar a eficiência de emissão de elétrons e estabilizar os pontos catódicos em DCEN. Isto é feito através da adição de Metais Alcalinos e de terras raras no arame, mas é um método caro e de pouca aceitação.

O uso de misturas de gás de proteção tais como argônio e gás ativo como oxigênio e dióxido de carbono têm sido reportados ajudar no sucesso da operação de arcos em DCEN, mas isto é usualmente possível somente em correntes relativamente altas.

Para superar os problemas de reignição de arco quando a corrente passa pelo zero durante a mudança de polaridade em CA, altos picos de tensão são aplicados para manter a ionização na coluna de arco, deste modo ajudando a reignição. Contudo a alta tensão tem sempre sido uma preocupação de segurança (Talkington, 1998).

Segundo Harwig (2000) os valores de tensão aplicados quando a corrente passa pelo zero depende do teor de dióxido de carbono no gás de proteção, podendo passar de 400 V como observado na Figura 3.

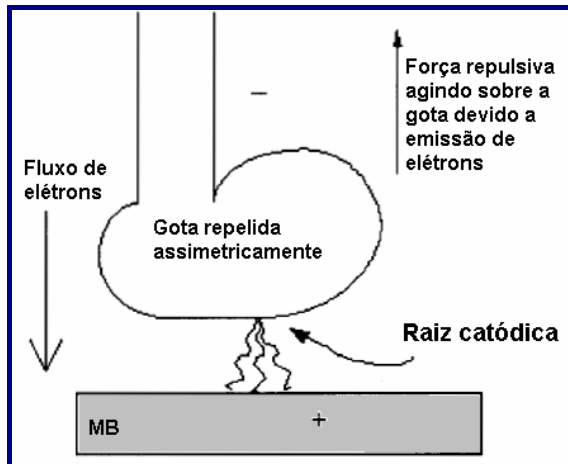


Figura 2 – Força repulsiva sobre a gota metálica.

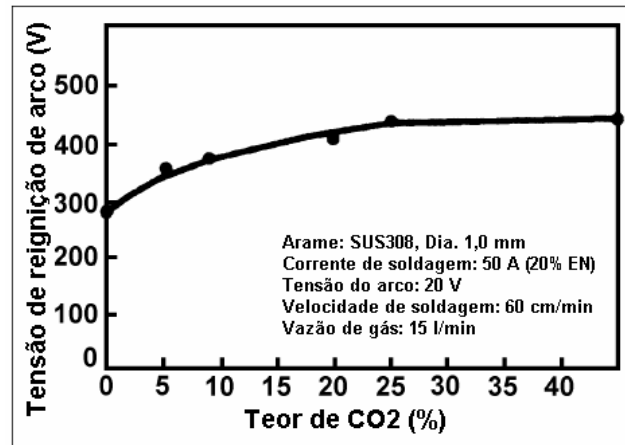


Figura 3 – Efeito do teor de CO₂ sobre a tensão de reignição de arco.

Com o avanço da eletrônica houve solução para os problemas do passado com CA. Tecnologia de inversores tornou possível e econômico produzir fontes capazes de gerar quase todas as formas de onda concebíveis.

Problemas de reignição de arco quando a corrente passa pelo zero são facilmente eliminados pelo uso de forma de onda retangular que reduz a quantidade de tempo que a corrente está no ou próxima do zero.

Esta vantagem elimina a necessidade de arriscadas altas tensões necessárias para evitar os problemas de reignição com formas de onda senoidal.

2.1. Formas de Onda

Os principais tipos de forma de onda em corrente alternada são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Formas de onda em CA.

PROCESSO	FORMA DE ONDA	CARACTERÍSTICAS
MIG AC (não pulsado)		➤ Possibilidade de soldar chapas extremamente finas (0,6-0,7 mm) em junta sobreposta com abertura. ➤ Material aplicado: Aço galvanizado.
		➤ Evita sopro magnético em altas correntes de soldagem (800-1000 A) ➤ Material aplicado: Aço doce.
MIG AC Pulsado		➤ Possível soldar chapa finas acima de 1,0 mm de espessura ➤ Possível mudar o aporte térmico dependendo da abertura da junta ➤ Material aplicado: Aço doce, aço inoxidável e alumínio.
MIG AC Pulsado em Baixa Frequência		➤ Possível obter uma aparência do cordão no formato ondulado (escamas) na soldagem GMAW de alumínio; ➤ Possível reduzir defeitos de soldagem tais como porosidade e trinca de solidificação; ➤ Material aplicado: alumínio

A primeira categoria, AC-GMAW (não pulsada) define formas de onda para materiais extremamente finos. A segunda categoria mostra três tipos de formas de onda MIG-CA que são usadas para soldagem de materiais finos e fornece uma larga faixa de aporte térmico. Esta última característica permite a soldagem de materiais finos com extensas aberturas onde grandes depósitos de solda são requeridos.

A primeira forma de onda na segunda categoria foi estudada por Harwig (2000), o período inicia com um pulso EN para fundir a gota. A corrente de base EP (EPB) é usada para manter a gota antes do pico EP (EPP) período no qual lança a gota. Essa forma de onda tem sido desenvolvida para aço, aço inoxidável e alumínio.

A terceira categoria, também conhecida como duplamente pulsada foi desenvolvida para produzir soldas MIG-CA que pareçam com as soldas TIG, como visto na Figura 4. Alguns fabricantes preferem a aparência grosseira e ondulada em seus produtos, como em quadros de motocicletas. Esta forma de onda tem também mostrado melhorar a estrutura dos grãos pela interrupção da solidificação granular em materiais como ligas de alumínio. Isto também melhora a resistência a porosidades e trincas de solidificação.



Figura 4 – Aspecto superficial do cordão de solda em MIG-AC baixa frequência.

Forma de onda baixa frequência modulada MIG-CA pulsada. A fonte alterna entre dois sets de parâmetros de pulso em uma velocidade de alimentação de arame constante, Figura 5 (Mulligan, 2003).

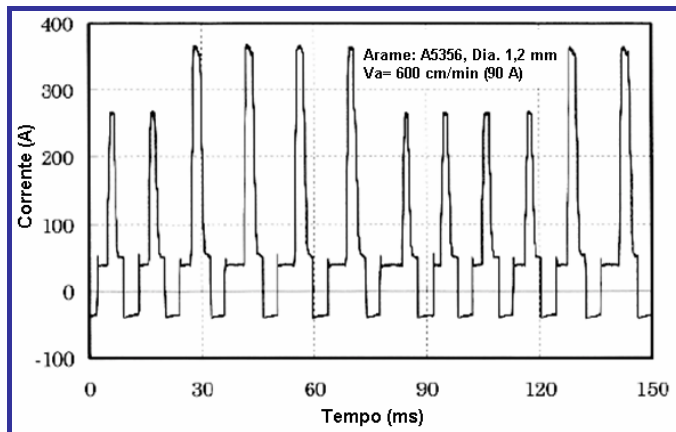


Figura 5 – Formato de onda baixa frequência modulada MIG-CA.

2.2. Modo de Transferência Metálica

Todas as formas de onda mostradas fornecem transferência pulsada globular, devido a formação e o crescimento substancial das gotas durante o período EN devido as forças de repulsão que agem nesse período. A diferença deste modo sobre o definido pelo IIW (Globular convencional) está nas altas correntes de pulso EP que fornecem arcos suaves e acelera a gota globular em direção a poça de fusão. A força de Lorentz em baixas correntes em transferência globular não produz altas velocidades da gota (Harwig, 2000).

Em MIG-CA a transferência fornecida é basicamente globular pulsada onde o tamanho da gota pode ser controlado, e é tipicamente 1,5 a 3 vezes o diâmetro do eletrodo, permitindo soldagem estável em baixo aporte térmico. Em transferência pulsada convencional, o tamanho da gota é tipicamente 0,8 – 1,0 vezes o diâmetro do eletrodo (Mulligan, 2003).

O tamanho da gota aumenta com o aumento do %EN como resultado da grande duração das forças repulsivas durante a porção de DCEN de cada ciclo, Figura 6. O tamanho da gota também pode aumentar ligeiramente com maiores frequências, Figura 7, mas com menor efeito do que %EN (Talkington, 1998).

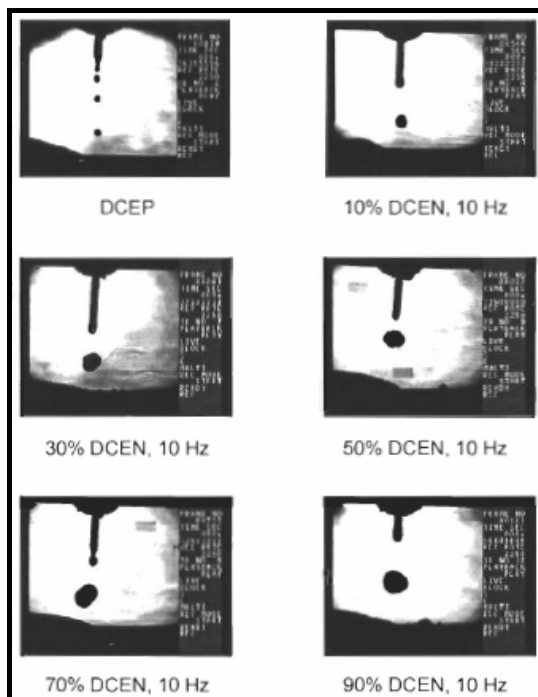


Figura 6 - Tamanho médio de gotas para vários %EN.

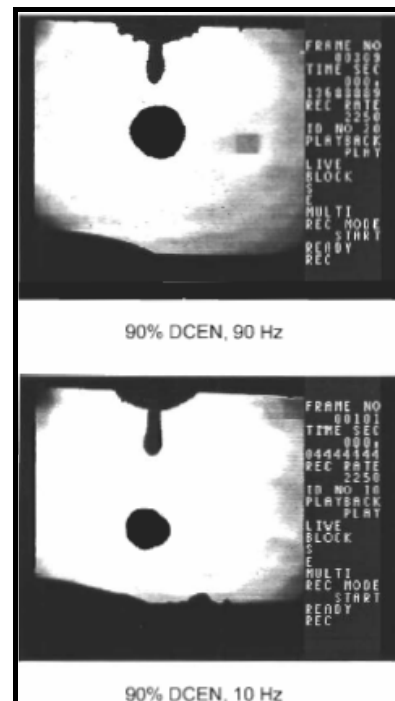


Figura 7 - Comparação do tamanho da gota para diferentes frequências em 50%EN.

2.3. Baixo Aporte Térmico

Uma das grandes vantagens do uso de corrente alternada pulsada é a possibilidade de redução do aporte térmico que acontece devido o maior aquecimento do eletrodo do que do metal base durante o período do eletrodo negativo (Gerritsen, 2002).

O processo MIG-CA fornece aporte térmicos no mínimo 25% menores do que GMAW-P e quase a metade do modo goticular (spray) em tensão constante para a mesma velocidade de alimentação de arame (Harwig, 2000).

A redução do aporte térmico implica em menos calor gerado no metal base, consequentemente reduz o risco de fusão total e de distorção térmica (Gerritsen, 2002).

Com o aumento do %EN o aporte térmico diminui consequentemente a temperatura de pico é reduzida. Usando 40 %EN a temperatura de pico é mais que 140°C menor do que da soldagem DC pulsada, como pode ser observado na Figura 8 (Ueyama et al, 2005).

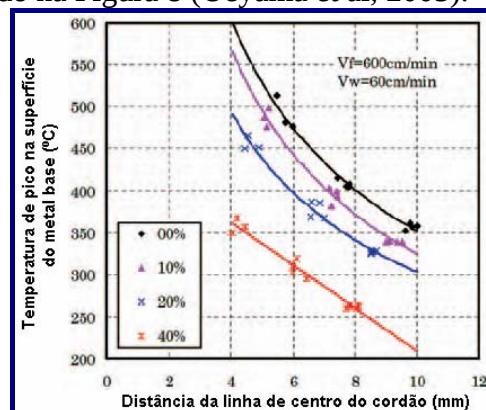


Figura 8 – Temperatura de pico em função do %EN.

2.4. Pouca Deformação

A deformação de soldagem em chapas finas é relativamente grande e é constantemente um grande problema de qualidade. Ueyama et al (2005) investigou a deformação em chapas de alumínio de 3 mm de espessura e constatou que com o uso de CA a deformação diminui com o aumento do %EN, conforme verificado no gráfico da Figura 9.

2.5. Alta Taxa de Fusão

Para uma corrente de soldagem fixa, a taxa de fusão do arame aumenta substancialmente com o aumento da taxa de eletrodo negativo (%EN). Por exemplo, a taxa de fusão do arame aumenta de 60% quando a %EN muda de 0% (DC pulsado) para 40% em uma corrente média de 150 A, Figura 10 (Ueyama et al, 2005).

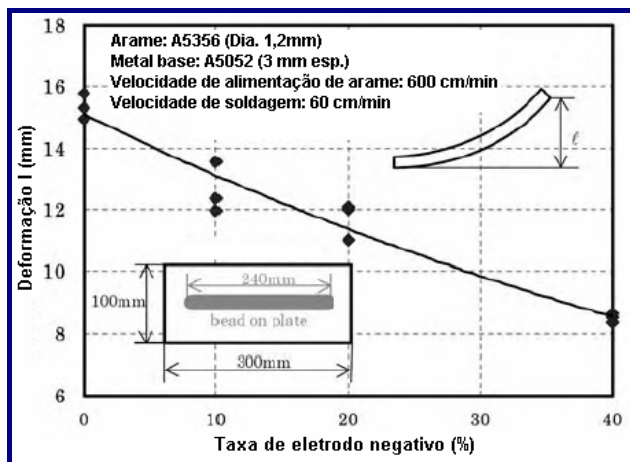


Figura 9 - Contenção da deformação com soldagem AC Pulsada.

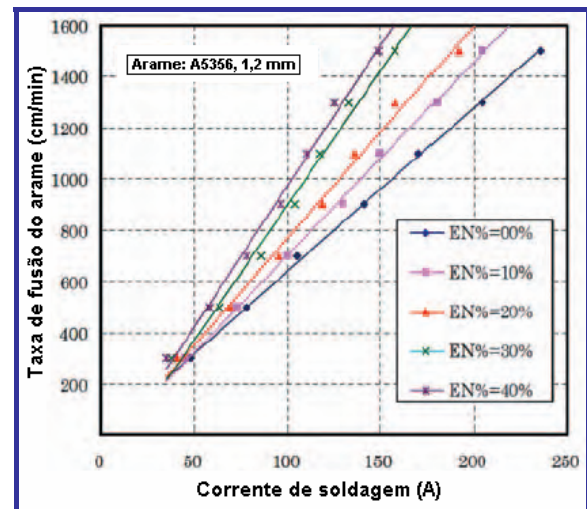


Figura 10 – Relação entre %EN e taxa de fusão do arame em função da corrente de soldagem.

2.6. ECONOMIA DE ENERGIA

O arco elétrico é uma das melhores fontes de calor para soldagem devido a alta eficiência da conversão de energia elétrica para calor no arco, mas parte do calor do arco superaquece as gotas. O superaquecimento das gotas transfere seu excesso de calor para o metal base estendendo a zona termicamente afetada (ZTA) e aumentando a deformação de soldagem.

Na soldagem DC pulsada de ligas Al-Mg, o superaquecimento de gotas resulta na evaporação de Mg causando explosões das gotas e liberação de muito fumo de soldagem (Ueyama et al, 2005).

Durante o período de eletrodo negativo (EN), a gota é uniformemente coberta pelo arco e os pontos catódicos freqüentemente saltam da parte sólida do arame acima da gota porque os pontos catódicos são facilmente formados nos óxidos. Conseqüentemente, o calor do arco é efetivamente usado para fundir o arame e a taxa de fusão torna-se elevada. Por outro lado, durante o EP, o arco é concentrado no mais baixo hemisfério da gota e esta região fica superaquecida. Como resultado, o calor do arco não é efetivamente usado para fusão do arame (Ueyama et al, 2005).

As gotas em soldagem CA pulsada são menos aquecidas, a ZTA é estreita, e a deformação é pequena. Deste modo, o calor do arco é mais efetivamente usado, a Figura 11 mostra o comportamento da potência ativa da máquina em relação ao %EN e a possível economia de energia fornecida com esse processo ao aumentar-se o %EN (Ueyama et al, 2005).

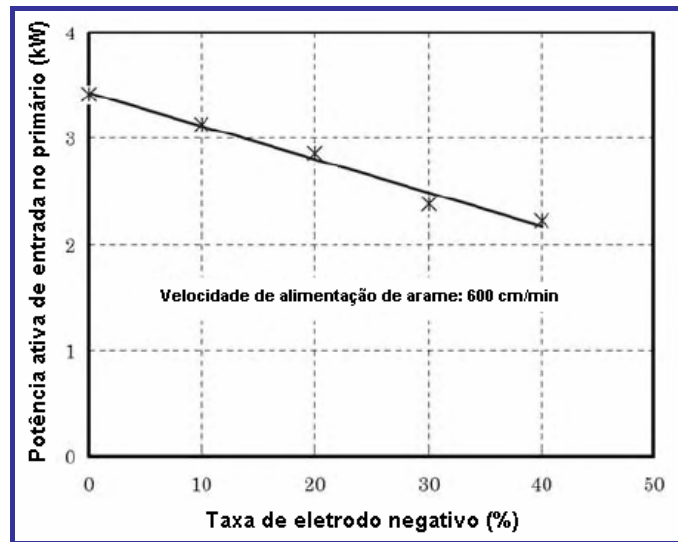


Figura 11 - Relação entre Potência ativa e %EN.

2.7. Controle da Geometria do Cordão

Talkington (1998) avaliou as características geométricas de soldas de aço da classe A36 em diferentes misturas de gás de proteção baseado em argônio variando a taxa de DCEN de 0 a 90%, a Figura 12 mostra a macrografia da secção transversal dos cordões e de modo geral ocorreu:

- Diminuição da penetração;
- Diminuição da largura;
- Diminuição da diluição;
- Aumento do reforço;
- Aumento do ângulo de molhamento.

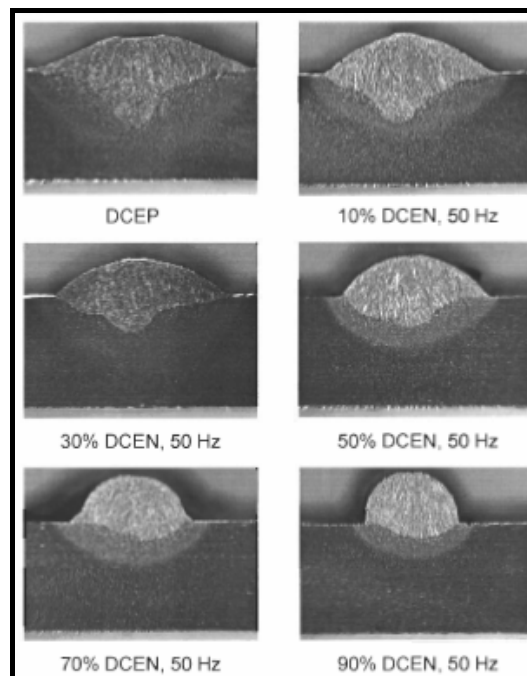


Figura 12 – Macrografias das seções transversais dos cordões (4).

Comportamento análogo foi encontrado para alumínio como metal de base no estudo de Ueyama (2005), conforme mostrado na Figura 13.

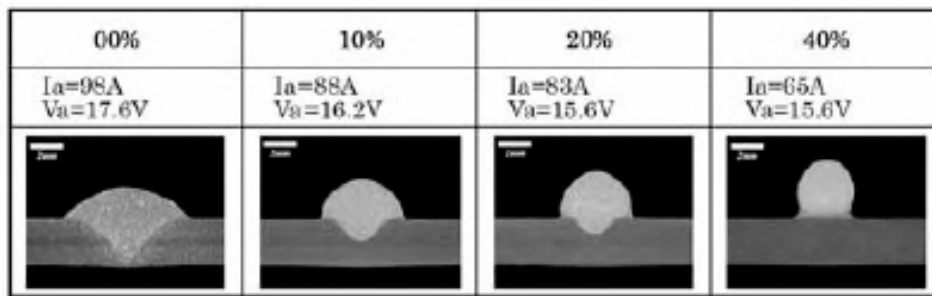


Figura 13 – Soldas obtidas em alumínio por Ueyama (6).

A corrente de soldagem é o principal fator que afeta a profundidade da penetração. Em GMAW CA pulsado com taxa de alimentação de arame e velocidade de soldagem constantes, a profundidade da penetração torna-se mais rasa em mais elevados %EN, principalmente por causa das baixas correntes de soldagem, qual é devido ao alto coeficiente de fusão na elevada %EN.

Mulligan (2003) também encontrou as mesmas tendências nas características geométricas para simples deposição e estendeu o estudo para juntas sobrepostas em processos diferentes, Figura 14, fazendo uma comparação entre os quatro processos sobre a capacidade de adaptação a juntas listou do melhor para o pior resultado:

- 1 - MIG-CA Pulsada;
- 2 - MIG pulsada em baixa frequência modulada;
- 3 – MIG pulsado com duplo arame;
- 4 – MIG pulsado DC.

Ueyama (2005) também avaliou a tolerância a aberturas de junta entre os processos MIG Pulsado DC e MIG-AC com 20%EN com a mesma velocidade de alimentação de arame e velocidade de soldagem. A tolerância em soldagem AC pulsada para juntas sobrepostas de 1,0 mm de espessura foi acima de 1,5 mm que é aproximadamente três vezes maior do que com MIG Pulsado DC, como pode ser observado na Figura 15.

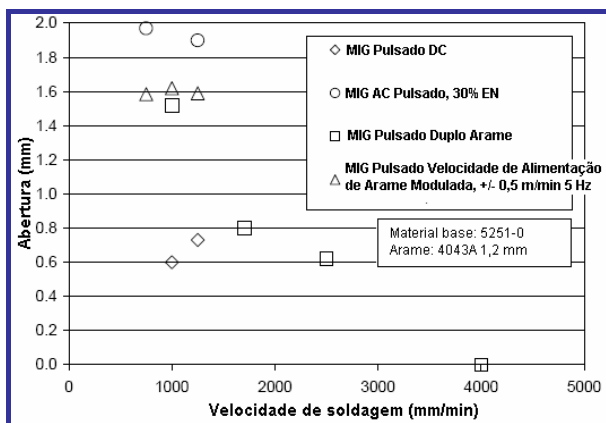


Figura 14 - Comparação entre vários processos à adaptação de abertura de junta.

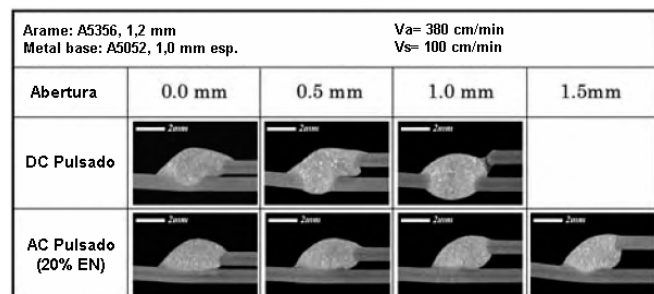


Figura 15 – Tolerância a abertura de juntas sobrepostas para MIG-P AC e DC.

2.8. Alta Produtividade

Mulligan (2003) realizando testes em simples deposição em ligas de alumínio com 1,5 mm de espessura, verificou que houve um aumento na velocidade de soldagem de aproximadamente três vezes mais rápido do que soldagem pulsada convencional para uma razão constante entre velocidade de alimentação de arame e velocidade de soldagem em 6,7. A fusão total ocorreu em velocidade de soldagem abaixo de 600 mm/min em soldagem pulsada convencional, já em soldagem pulsada AC com 30% corrente EN, a fusão total ocorreu somente em velocidades de soldagem abaixo de 200 mm/min. Para juntas sobrepostas em material de 2 mm de espessura, com uma abertura de 1,2 mm, o processo pulsado convencional deve ser mais lento que 800 mm/min para alcançar qualidade aceitável, mas a junta pode ser soldada em 1600 mm/min usando o processo MIG AC pulsado.

2.9. Aplicações

O equipamento MIG AC pulsado tem como alvo materiais finos em amperagens tão baixas quanto 50 A para aço, aço inoxidável, ligas de cobre e de alumínio. O processo foi primariamente usado para alumínio de baixa espessura. O baixo aporte térmico diminui o risco de fusão total e tem sido reportada a capacidade do processo de soldar materiais extremamente finos com menos de 0.8 mm (site fabricante). O processo tem encontrado aplicações em soldagem de: motocicletas e quadros de bicicletas, painéis e corpo de carros, janelas, indústria naval, componentes internos em Al em barcos de passeio e suportes finos automotivos (Mulligan, 2003).

Outros desenvolvimentos de aplicações incluem a união de materiais dissimilares para aplicação em exaustores de aço inoxidável, e brasagem MIG-CA pulsada de aço galvanizado. A habilidade do processo para minimizar aporte térmico e controlar penetração da solda foi primeiramente promovida como uma ferramenta para soldagem de chapas finas. Entretanto, tais baixas diluições de soldagem tem potencial para uso em soldagem de revestimento e aplicações em *cladding*. O baixo aporte térmico do processo pode também dar vantagens para soldagem fora de posição (Mulligan, 2003).

3. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de bolsas de estudo e pesquisa.

4. REFERÊNCIAS

- Gerritsen, C. H. J., April 2002, "Single-sided welding of thin galvanised sheet to hydroformed tube for automotive applications", 741/2002 – TWI.
- Harwig, D. D., 2000, "Arc Behavior and Melting Rate in the VP-GMAW Process", 221p. PhD Dissertation – Cranfield University, England.
- Joseph, A; Webb, C; Haramia, M. e Yapp D., October 2001, "Variable Polarity Improves Weld Brazing of Galvanized Sheet", Welding Journal.
- Júnior, R. G., 2002, "Novos Métodos de Controle da Soldagem MIG/MAG", 165p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Brasil.
- Miranda, H. C. de; Paiva, Queiroz, F. D. de; Pessoa, E. F; Motta, M. F e Farias, J. P., 2004, "Análise das Características Geométricas de Cordões de Solda Depositados em Chapas Finas de Alumínio com o Processo MIG/MAG em Corrente Alternada", XXX CONSOLDA.
- Mulligan, S. J., July 2003, "Pulsed MIG arc welding processes for joining of thin sheet aluminium", 771/2003 – TWI
- Mulligan, S. J., June 2004, "AC pulsed MAG and powder plasma arc welding of positional unbacked root passes - a feasibility study", 804/2004 - The Welding Institute.
- Praveen, P; yarlagadda, P.K.D.V and kangb, M.J., 2005, "Advancements in pulse gas metal arc welding". Journal of Materials Processing Technology.

Site de fabricante (OTC-Daihen e Panasonic).

Talkington, J. E., 1998, "Variable Polarity Gas Metal Arc Welding", 126p. MSc Thesis - Ohio State University, USA.

Ueyama, T; Tong, H; Harada, S; Passmore, R. and Ushio M., February 2005, "AC Pulsed GMAW Improves Sheet Metal Joining", Welding Journal.

A CONTRIBUTION TO STUDY MIG-AC PROCESS

Alexandre Saldanha do Nascimento

University Federal of Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M -Uberlândia/MG
CEP: 38400-902

asnascimento@mecanica.ufu.br

Louriel Oliveira Vilarinho

vilarinho@mecanica.ufu.br

Abstract: *The development of electronics power sources has allowed the study of innovative process, generally with the objective of improving the production capacity linked to low heat input. The process existents are based on metal transfer modes and the development of wave forms that improve the process control, like in GMAW Pulsed. The GMAW-AC pulsed process is a derivative one from the GMAW conventional that joins the vantages of positive polarity, as the good arc stability and cathodic cleaning, with the ones provided by through negative polarity, like the high electrode melting rate and low heat input. These features make the process enough attractive for application on thin plates, positional welds and deformation-sensitive materials. Therefore, this work aims to present an initial investigation on GMAW-AC, starting with the literature survey.*

Keywords: MIG, Alternating Current, Pulsed.