

EFEITO DA CORRENTE ALTERNADA NA SOLDAGEM DE ALUMINIO ABNT 6060 EMPREGANDO O PROCESSO MIG/MAG

Edson Frota Pessoa

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA, CEP: 60455-760, Fortaleza-CE, edsonufcme@ yahoo.com.br

Felipe Damásio de Queiroz Paiva

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA, CEP: 60455-760, Fortaleza-CE, felipedamasio@ yahoo.com.br

Hélio Cordeiro de Miranda

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA, CEP: 60455-760, Fortaleza-CE, hmiranda@ufc.br

Marcelo Ferreira Motta

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA, CEP: 60455-760, Fortaleza-CE, marcelof@ufc.br

Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA, CEP: 60455-760, Fortaleza-CE, jpf@truenet-ce.com.br

Resumo. Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da corrente alternada (CA) sobre a geometria do cordão de solda na soldagem pelo processo MIG/MAG. Para efeito comparativo foram realizadas soldagens em corrente contínua com eletrodo na polaridade positiva com corrente constante e no modo pulsado. Os experimentos foram realizados em chapas de alumínio ABNT 6060, com 3x50x250 mm, utilizando arame eletrodo AWS ER 4043 de 1,0 mm de diâmetro e argônio como gás de proteção. As soldagens, na posição plana, foram realizadas automaticamente empregando uma central eletrônica controlada remotamente com auxílio de um computador. Ajustou-se três tipos de onda na corrente alternada (A, B e C). Em cada tipo de onda foi variada a percentagem em corrente alternada de 10%, 20% e 30% na polaridade negativa. Os resultados obtidos mostram que quanto maior a percentagem de corrente negativa, menor a estabilidade do arco, menor a penetração, maior a taxa de fusão do eletrodo consumível e maior o reforço do cordão de solda. A menor penetração em CA viabiliza a soldagem de chapas finas de alumínio e, associada a uma alta taxa de fusão, possibilita uma alta produtividade e também a aplicação da mesma para revestimento.

Palavras-chave: MIG/MAG, corrente alternada, alumínio.

1. INTRODUÇÃO

As aplicações para a soldagem em alumínio são encontradas em todos os campos que lidam com estruturas, especialmente, naqueles que necessitam de estruturas leves combinado a uma boa resistência à corrosão, resistência estrutural e durabilidade (The Aluminum Association). Dentre os vários processos utilizados para a soldagem de alumínio, destaca-se o MIG/MAG principalmente pela sua alta produtividade, qualidade da solda e fácil possibilidade de automatização (AWS, 1991a). Todavia, o processo MIG/MAG apresenta algumas dificuldades, tais como: maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de soldagem e a exigência de um ajuste rigoroso dos parâmetros para se obter um determinado conjunto de características para a solda (Silva & Ferraresi, 2003).

Muitos aspectos tornam a soldagem de alumínio diferente em relação à do aço baixo carbono. Quando exposto ao ar, o alumínio forma um filme de óxido tenaz e refratário que deve ser removido antes ou durante a soldagem, pois dificulta a abertura do arco elétrico por ser um isolante elétrico. O alumínio não muda de cor quando aquecido à temperatura de soldagem, tornando-se difícil identificar a poça de fusão. O arame eletrodo de alumínio é mais maleável, dificultando a alimentação do arame eletrodo. (Quinn, 2002).

Tradicionalmente, a soldagem do processo MIG/MAG é realizada em corrente contínua com o eletrodo na polaridade positiva (CCEP) que, dentre suas principais características, destaca-se por conferir alta penetração à solda. Todavia, a soldagem de alumínio, em especial de chapas finas, requer cuidados para que não ocorra, dentre outros problemas, perfuração e distorção na peça soldada.

Para amenizar estes problemas, pode-se optar pela utilização da corrente do tipo alternada (CA). A soldagem em corrente alternada com onda retangular pode vir a solucionar tais problemas, pois há possibilidade de controle do aporte térmico à peça.

A corrente alternada do tipo retangular alterna entre CCEP e corrente contínua com o eletrodo na polaridade negativa (CCEN). Em CCEN tem-se a maior parte do calor concentrado na ponta do arame eletrodo ocasionando uma maior taxa de fusão do mesmo. Quando se utiliza CCEP a maior parte do calor está concentrada na peça, resultando em uma maior penetração do cordão de solda. A CCEP caracteriza-se também pela boa estabilidade do arco bem como facilidade de se obter transferências metálicas dos modos curto-círcito e goticular. Em CCEN tem-se menor estabilidade do arco, comparada à CCEP, e a transferência metálica predominante é do tipo globular, que se caracteriza pelo destacamento de gotas maiores que o diâmetro do eletrodo em frequência muito baixa (Miranda, 1999). A causa da transferência globular é devido à ação de forças repulsivas que tendem a segurar a gota na ponta do eletrodo fundido (AWS, 1991b).

Pode-se citar duas grandes vantagens do processo MIG/MAG em corrente alternada com ondas do tipo retangular em comparação ao MIG/MAG que utiliza apenas CCEP que são: altas velocidades de soldagem em chapas finas e operações de revestimento por soldagem. Isto se deve às características de menor penetração e menor calor imposto à peça, comparadas ao processo MIG/MAG em CCEP.

O presente trabalho tem como objetivo estudar o efeito da corrente alternada sobre as características geométricas do cordão de solda (reforço, penetração e largura) em diferentes percentagens de polaridade negativa (10%, 20% e 30%) e formas de onda retangular na soldagem de chapas finas de alumínio.

2. METODOLOGIA

Para efetuar as soldagens utilizou-se uma fonte de soldagem multiprocesso que pode ser operada nos processos MIG/MAG, eletrodo revestido, arame tubular, TIG e plasma. Os corpos de prova utilizados foram de alumínio ABNT 6060 nas dimensões: espessura de 3 mm, largura de 50 mm, e comprimento de 250 mm. Antes de proceder à soldagem, foi realizada a limpeza dos corpos de prova empregando escova para a remoção da camada de óxido de alumínio. Utilizou-se o arame

eletrodo AWS ER 4043 de 1 mm de diâmetro. O gás de proteção utilizado nas soldagens foi o Argônio (Ar) com vazão de 15 l/min.

As soldagens foram efetuadas na posição plana com a fonte no modo corrente constante, com velocidade de soldagem de 40 cm/min e distância do bico de contato peça (DBCP) de 20 mm.

A Tabela (1) mostra os valores utilizados nas soldagens. Consta na Tabela (1) o número do ensaio (ENSAIO), o tipo de onda em corrente alternada (ONDA), a percentagem da corrente alternada na polaridade negativa (% CAEN), a corrente de pico (Ip), a corrente de base (Ib), a corrente no negativo (In), o tempo em corrente de pico (Tp), o tempo em corrente de base Tb(ms), o tempo em corrente negativa (Tn) e a corrente eficaz (Ief). As soldagens foram efetuadas com níveis aproximados de corrente eficaz. O objetivo foi manter um referencial para as energias de soldagem.

Tabela 1. Valores adotados nos ensaios.

ENSAIO	ONDA	% CAEN	Ip(A)	Ib(A)	In(A)	Tp(ms)	Tb(ms)	Tn(ms)	Ief(A)
1	A	10	170	170	40	1,0	1,0	1,0	140,7
2	A	10	170	170	40	1,0	1,0	1,0	140,7
3	A	20	200	200	50	0,8	0,7	1,5	145,8
4	A	20	200	200	50	0,8	0,7	1,5	145,8
5	A	30	190	190	70	0,7	0,7	1,6	139,5
6	A	30	190	190	70	0,7	0,7	1,6	139,5
7	B	10	200	93	76	1,0	1,5	0,5	136,5
8	B	10	200	93	76	1,0	1,5	0,5	136,5
9	B	20	200	102	76	1,0	1,0	1,0	136,8
10	B	20	200	102	76	1,0	1,0	1,0	136,8
11	B	30	200	103	100	0,7	1,2	1,1	131,3
12	B	30	200	103	100	0,7	1,2	1,1	131,3
13	C	10	93	200	76	1,5	1,0	0,5	136,5
14	C	10	93	200	76	1,5	1,0	0,5	136,5
15	C	20	102	200	76	1,0	1,0	1,0	136,8
16	C	20	102	200	76	1,0	1,0	1,0	136,8
17	C	30	103	200	100	1,2	0,7	1,1	131,3
18	C	30	103	200	100	1,2	0,7	1,1	131,3
19	CCEP	-	126	-	-	3,0	-	-	126,0
20	CCEP	-	126	-	-	3,0	-	-	126,0
21	CC+P	-	190	70	-	1,4	1,6	-	139,5
22	CC+P	-	190	70	-	1,4	1,6	-	139,5

Utilizou-se o balanceamento da onda com três percentagens de corrente alternada na polaridade negativa (CAEN): 10%, 20% e 30%. Empregou-se também três tipos de ondas retangulares: tipo A (positivo – negativo); tipo B (positivo – negativo – base); tipo C (positivo – base – negativo), como mostra a Fig. (1). Havendo assim a possibilidade de se verificar a mudança nas características geométricas do cordão de solda com a variação das mesmas. Para cada percentagem de CAEN efetuaram-se as soldagens com os três tipos de formato de onda descritos. A idéia é verificar o efeito da mudança de corrente do nível superior para o inferior sobre a geometria do cordão de solda.

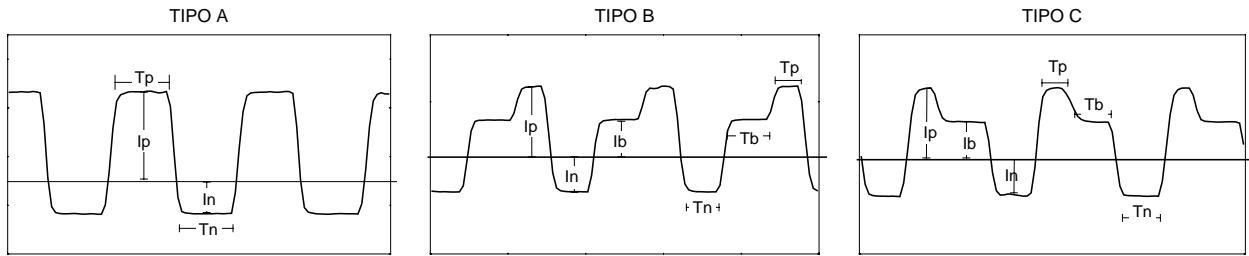


Figura 1. Tipos de forma de onda retangular em corrente alternada.

Para efeito comparativo, executou-se também soldagens em CCEP e corrente contínua com eletrodo na polaridade positiva pulsado (CC+P), ambas com corrente eficaz similares às soldadas em CA.

Foram realizadas medições de reforço, penetração e largura do cordão de solda com o auxílio de um microscópio óptico.

O controle de alguns parâmetros de soldagem e a aquisição dos resultados foram realizados através de softwares comerciais. Através de um software de análise estatística avaliou-se a influência dos parâmetros de soldagem (formato de onda e percentagens em CAEN) nas características geométricas (largura, penetração e reforço do cordão de solda).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A influência das variações dos parâmetros de soldagem citados previamente foi verificada através de análise estatística de variância. Primeiramente, analisaram-se os resultados obtidos nas soldagens em CA variando os tipos de onda e as percentagens em CAEN.

A Tabela (2) mostra o resultado dos experimentos em CA. Consta na referida tabela os resultados do reforço (Ref), da penetração (Pen.), da largura (Larg.), e da velocidade de alimentação (Valim).

A Tabela (3) mostra os resultados da análise de variância do efeito do tipo de onda (A, B e C) e da percentagem em CAEN em CA sobre a velocidade de alimentação, e também sobre o reforço, a penetração e a largura do cordão de solda. Os resultados com valores inferiores a 0,05 indicam que uma dada variável (velocidade de alimentação, reforço, penetração e largura) foi afetada estatisticamente por um parâmetro fixo (tipo de onda retangular e percentagem de CAEN) com confiabilidade de 95%, os quais são considerados neste trabalho, efetivamente, significativos.

Tabela 2. Resultado dos experimentos em CA.

ENSAIO	ONDA	%CAEN	Ip(A)	Ib(A)	In(A)	Tp(ms)	Tb(ms)	Tn(ms)	Ref(mm)	Pen(mm)	Larg(mm)	Ief(A)	Valim. (m/min)
1	A	10	170	170	40	1,0	1,0	1,0	3,2	1,1	5,2	140,7	6,0
2	A	10	170	170	40	1,0	1,0	1,0	3,0	1,4	5,6	140,7	6,0
3	A	20	200	200	50	0,8	0,7	1,5	3,4	1,3	5,3	145,8	6,5
4	A	20	200	200	50	0,8	0,7	1,5	3,4	1,1	5,4	145,8	6,5
5	A	30	190	190	70	0,7	0,7	1,6	3,5	1,1	5,1	139,5	7,0
6	A	30	190	190	70	0,7	0,7	1,6	3,6	0,9	5,2	139,5	7,0
7	B	10	200	93	76	1,0	1,5	0,5	3,1	1,7	5,4	136,5	5,7
8	B	10	200	93	76	1,0	1,5	0,5	2,8	1,4	5,2	136,5	5,7
9	B	20	200	102	76	1,0	1,0	1,0	3,2	1,1	5,0	136,8	6,3
10	B	20	200	102	76	1,0	1,0	1,0	3,2	1,1	5,3	136,8	6,3
11	B	30	200	103	100	0,7	1,2	1,1	3,5	0,9	5,0	131,3	6,8
12	B	30	200	103	100	0,7	1,2	1,1	3,8	0,8	5,4	131,3	6,8
13	C	10	93	200	76	1,5	1,0	0,5	3,4	1,2	5,2	136,5	6,2
14	C	10	93	200	76	1,5	1,0	0,5	3,4	1,2	5,0	136,5	6,2
15	C	20	102	200	76	1,0	1,0	1,0	3,1	1,0	4,9	136,8	6,5
16	C	20	102	200	76	1,0	1,0	1,0	3,4	1,1	5,2	136,8	6,5
17	C	30	103	200	100	1,2	0,7	1,1	3,8	0,9	4,9	131,3	7,1
18	C	30	103	200	100	1,2	0,7	1,1	3,4	0,9	5,3	131,3	7,1

Tabela 3. Valores obtidos através da analise estatística de variância.

VARIÁVEL DE CONTROLE	VALIM. ^(a)	REF. ^(b)	PEN. ^(c)	LARG. ^(d)
Tipo de onda	0.00000	0.416314	0.225789	0.242964
% CAEN	0.00000	0.001926	0.001067	0.503168

(a): VALIM. – velocidade de alimentação; (b): REF. – reforço; (c): PEN. – penetração e
(d):LARG. – largura.

Verifica-se que a velocidade de alimentação do arame é influenciada, substancialmente, pelo tipo de onda e pela percentagem em CAEN de acordo com a Tab. (3).

Pode-se verificar que, com o aumento da percentagem na polaridade negativa há um aumento da Valim, o que está de acordo com a literatura que associa uma maior taxa de fusão em CCEN para processos com eletrodo consumível. Esta influência pode ser verificada através da Fig. (2).

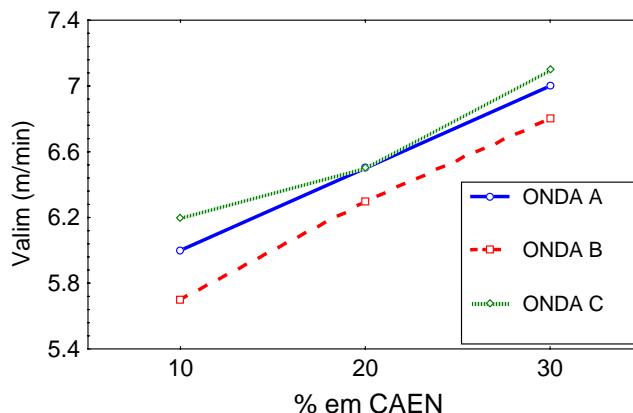


Figura 2. Influência do tipo de onda e da percentagem de CAEN sobre a Valim.

De acordo com a Tabela (3), observa-se que não há influência significativa do tipo de onda sobre o reforço do cordão de solda. Já a percentagem em CAEN, efetivamente, causa a variação do reforço no cordão de solda. Quanto maior a percentagem de CAEN, maior o reforço, como pode ser evidenciado na Fig. (3). Sabe-se que quando se opera em CCEN, a maior parcela do calor é imposta ao arame eletrodo, com isso, se a percentagem de CAEN for aumentada, aumenta-se a quantidade de calor no arame eletrodo e a quantidade de calor na peça é reduzida, ocasionando uma maior fusão do arame eletrodo resultando num reforço maior.

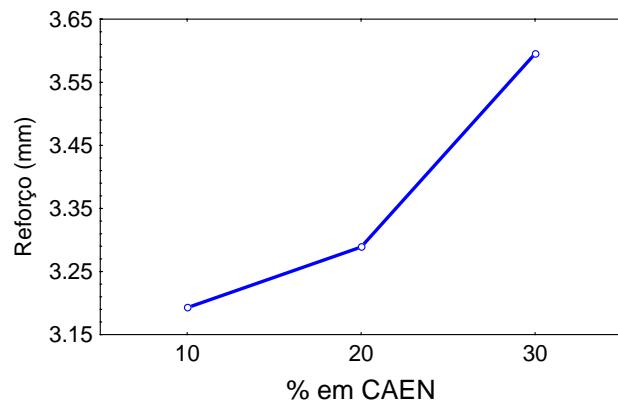


Figura 3. Influência da percentagem em CAEN sobre o reforço do cordão de solda.

Durante a realização dos experimentos, constatou-se que quanto maior o aumento da percentagem de CAEN, maior a tendência de transferência metálica do tipo globular. Tal fato pode ser explicado com base na existência de forças repulsivas em CCEN que tendem a segurar a gota na ponta do eletrodo fundido, evitando o seu destacamento e fazem com que ela cresça de tamanho e se destaque da forma globular.

Como pode ser visto na Fig. (1), têm-se três formas de onda diferentes. Apesar de não ter afetado estatisticamente a geometria da solda, é possível comentar alguns pontos relevantes sobre o tipo de onda. A mudança do nível de corrente (do positivo para negativo) das ondas dos formatos A e B é mais acentuada que na onda do tipo C. Uma mudança mais acentuada da polaridade positiva para a negativa tende a conferir maior penetração, já que a pressão do arco que atua contra o destacamento da gota é diminuída rapidamente na mudança de polaridade. Na onda do tipo C, tem-se uma suavização deste efeito, por apresentar corrente e tempo de base entre a mudança de polaridade, minimizando a diferença dos níveis de corrente. O comportamento da penetração, de acordo com a Fig. (4), comprova o esperado. Todavia, no referido experimento houve uma exceção na percentagem de 30% em CAEN. Atribuiu-se esse comportamento à instabilidade associada a esta percentagem de CAEN. Estudos complementares serão realizados com o intuito de verificar detalhadamente a influência da forma de onda sobre as características geométricas do cordão de solda.

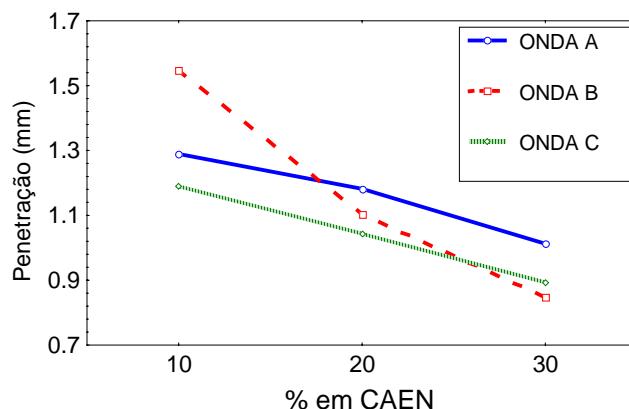


Figura 4. Comportamento da penetração em função da percentagem em CAEN e do tipo de onda.

A percentagem em CAEN afetou, efetivamente, a penetração. Esta influência é mostrada na Fig. (5). Ao se aumentar a percentagem de CAEN, diminui-se a penetração, já que quando se aumenta a percentagem de CAEN, aumenta-se a parcela de calor na ponta do eletrodo e diminui-se o calor imposto à peça.

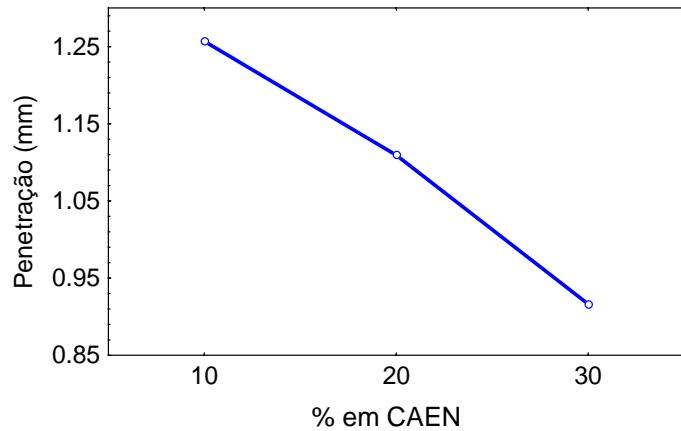


Figura 5. Influência da percentagem em CAEN na penetração do cordão de solda.

Observa-se na Figura (6) a geometria da solda resultante do ajuste da percentagem em CAEN na soldagem com a forma de onda do Tipo B. é possível verificar a baixa penetração para a soldagem em CA, e que este efeito é tanto maior quanto maior for a percentagem em CAEN.



Figura 6. Fotos das penetrações dos cordões de solda em CA com formato de onda do Tipo B com 10% (a), 20% (b) e 30% (c) em CAEN.

Foi observado que não houve influência, significativa, nem do tipo de onda retangular, nem da percentagem em CAEN na largura do cordão de solda, como pode ser verificado na Tab. (3).

Para efeito comparativo, foram realizados experimentos em CCEP e CC+P. Esta comparação se deve à estes dois últimos serem os mais comumente utilizados na soldagem MIG/MAG. Os resultados desses experimentos encontram-se na Tab. (4).

Tabela 4. Resultado dos experimentos em CCEP e CC+P.

ENSAIO	ONDA	Ip(A)	lb(A)	In(A)	Tp(s)	Tb(s)	Tn(s)	Ref.(mm)	Pen.(mm)	Larg.(mm)	Ief (A)	Valim. (m/min)
19	CCEP	126,0	-	-	3,0	-	-	2,4	1,9	6,5	126,0	6,2
20	CCEP	126,0	-	-	3,0	-	-	2,3	1,4	6,5	126,0	6,2
21	CC+P	190,0	70,0	-	1,4	1,6	-	2,2	2,0	5,7	139,5	5,7
22	CC+P	190,0	70,0	-	1,4	1,6	-	2,3	1,7	5,3	139,5	5,7

Os valores presentes na Tab. (5) são referentes à análise estatística de variância do tipo de onda (A, B, C, CCEP e CC+P) sobre o reforço, a penetração e a largura.

Tabela 5. Valores obtidos através da análise estatística de variância entre todos os tipos de onda.

PARÂMETRO FIXO	REF. ^(b)	PEN. ^(c)	LARG. ^(d)
Tipo de onda	0,000036	0,003207	0,000002

(b): REF. – reforço; (c): PEN. – penetração e (d): LARG. – largura.

Na Figura (7) constata-se mais uma vez que a taxa de fusão é maior em CA, tendo em vista a concentração de calor existente no eletrodo consumível quando se utiliza a polaridade negativa, requerendo, assim, aumento na Valim.

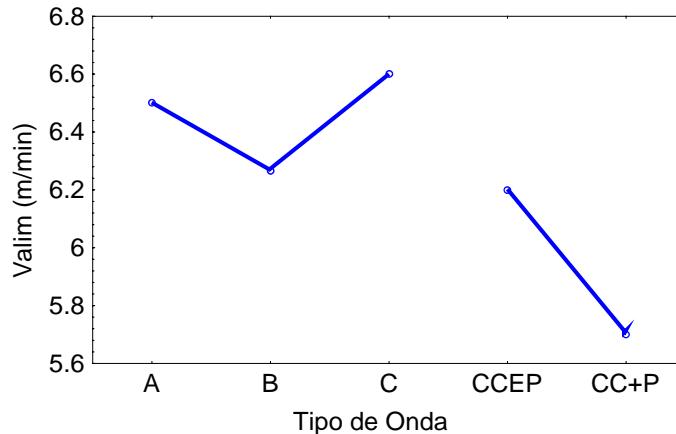


Figura 7. Comportamento da Valim com a variação dos tipos de onda.

A penetração, o reforço e a largura do cordão de solda são influenciados pela variação do tipo de onda, conforme a Tab. (5). Verifica-se que em CA há uma menor penetração do cordão de solda no corpo de prova. Isto se deve à percentagem em CAEN, que reduz a penetração e aumenta o reforço, de acordo com a Fig. (8a) e Fig. (8b). Em relação à largura do cordão de solda pode-se verificar na Fig. (8c) que em CA a largura foi menor que em CCEP e CC+P. Em CCEP constata-se uma menor penetração em relação à soldagem em CC+P. Em CC+P tem-se que a corrente de pico colabora para a transferência da gota para a poça de fusão com mais intensidade, gerando uma maior penetração comparada à CCEP.

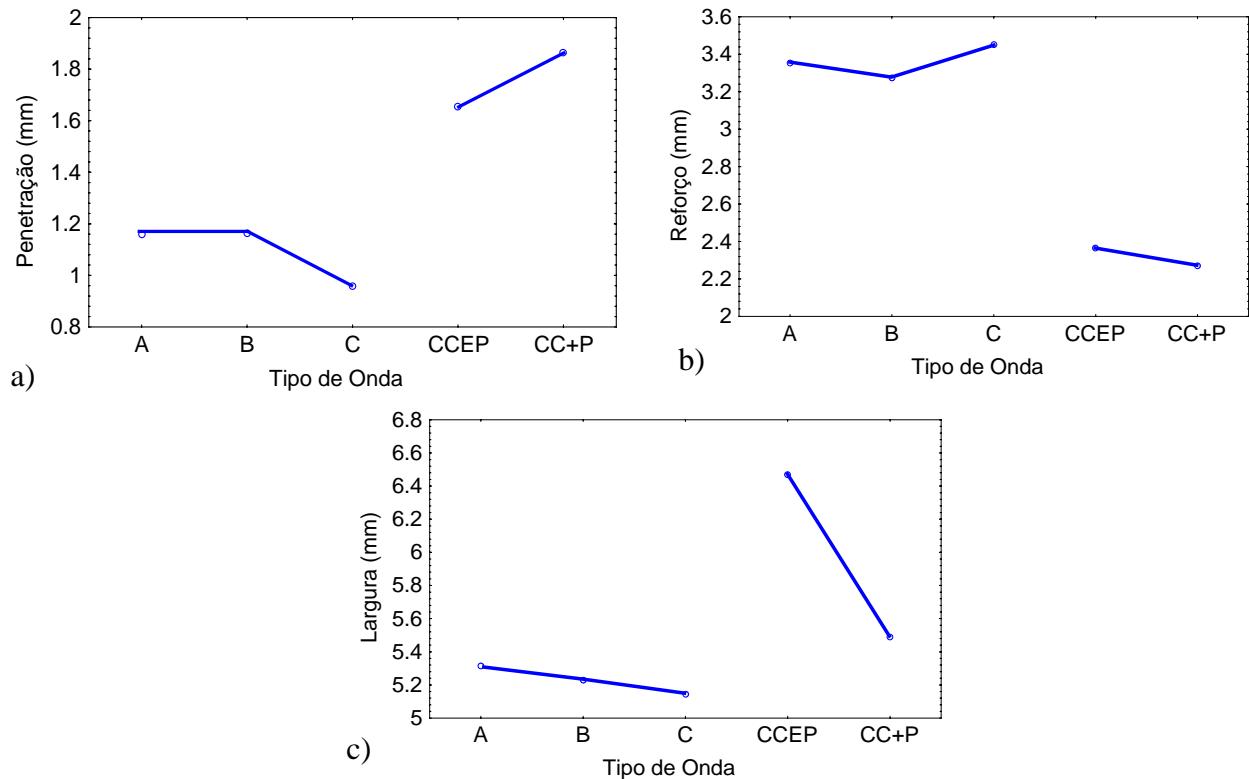


Figura 8. Influência do tipo de onda sobre a penetração, reforço e largura do cordão de solda.

4. CONCLUSÕES

A partir do exposto pode-se concluir que:

- O aumento da percentagem da polaridade negativa na corrente alternada diminuiu a penetração e aumentou o reforço do cordão de solda;
- O tipo de onda de corrente alternada (A, B e C) não influenciou estatisticamente a geometria do cordão de solda;
- A soldagem em CA proporciona menor penetração, maior reforço e maior taxa de fusão do eletrodo consumível quando comparada a corrente contínua polaridade positiva em níveis semelhantes de corrente eficaz;
- A soldagem em CA pode ser uma boa alternativa para a soldagem de chapas finas de alumínio e aplicações de revestimento.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à UFC, pelo suporte financeiro.

Aos companheiros bolsistas e professores do Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA pelo apoio a este trabalho.

6. REFERÊNCIAS

AWS, 1991a, “Welding Handbook”, American Welding Society, vol. 3, 8^a edição, USA, 526p.

AWS, 1991b, “Welding Handbook”, American Welding Society, vol. 1, 8^a edição, USA, 638p.

Quinn, T. P., 2002 “Process Sensitivity of GMAW: Aluminum vs. Steel”, Welding Journal, Vol. 81, pp. 55-60.

Miranda, H. C., 1999, “Influência da indutância na soldagem MIG/MAG na posição sobrecabeça”, Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia.

The Aluminium Association, 1997, “Welding Aluminum: Theory and Practice”, 3^a edição, 210p.

THE EFFECT OF THE ALTERNATE CURRENT BALANCE USING THE GMAW PROCESS IN ABNT 6060 ALUMINUM ALLOY.

Edson Frota Pessoa

Federal University of Ceará, Campus do Pici, Bloc 715, Engineering Welding Laboratory – ENGESOLDA, ZIP CODE: 60455-760, Fortaleza-CE, edsonufcme@ yahoo.com.br

Felipe Damásio de Queiroz Paiva

Federal University of Ceará, Campus do Pici, Bloc 715, Engineering Welding Laboratory – ENGESOLDA, ZIP CODE: 60455-760, Fortaleza-CE, felipedamasio@ yahoo.com.br

Hélio Cordeiro de Miranda

Federal University of Ceará, Campus do Pici, Bloc 715, Engineering Welding Laboratory – ENGESOLDA, ZIP CODE: 60455-760, Fortaleza-CE, hmiranda@ufc.br

Marcelo Ferreira Motta

Federal University of Ceará, Campus do Pici, Bloc 715, Engineering Welding Laboratory – ENGESOLDA, ZIP CODE: 60455-760, Fortaleza-CE, marcelof@ufc.br

Jesualdo Pereira Farias

Federal University of Ceará, Campus do Pici, Bloc 715, Engineering Welding Laboratory – ENGESOLDA, ZIP CODE: 60455-760, Fortaleza-CE, jpf@truenet-ce.com.br

Abstract. This work has the objective to value the effect of the current waveform over the electric arc and weld bead geometry in GMAW process using square-wave alternating current. There were made weldings in continuous current electrode positive with constant current and in the pulsed way. The experiments were made in aluminum sheets ABNT 6060, measuring 3x50x250 mm, using AWS ER 4043 wire electrode with 1,0 mm of diameter and Argon as shielding gas. The weldings, in the flat position, were made automatically using an electronic power source remotely controlled by a computer. There were adjusted three types of wave using square-wave alternating current (A, B and C). At each type of wave it was vary the percentage in alternated current electrode negative of 10%, 20% and 30%. The obtained results have shown that how greater the negative current percentage, worst the arc stability, lower the penetration, higher the melting rate of the consumable electrode and greater the reinforcement of the weld bead. The lower penetration using square-wave alternating current becomes feasible the aluminum sheets welding, and associated with a high melting rate, it makes possible its application for cladding.

Keywords. GMAW, alternating current, aluminum.