

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO MIG/MAG DUPLO ARAME COM POTENCIAL ÚNICO

(1) Aldo Manuel Ramírez González

(2) Jair Carlos Dutra

RESUMO

Neste trabalho pretende-se esclarecer os conceitos fundamentais sobre o processo MIG/MAG Duplo Arame com potencial único verificando suas características tecnológicas, vantagens e limitações. São analisados os três principais modos de transferência: curto-circuito, fluxo goticular (spray) e pulsado. O trabalho inclui a determinação dos parâmetros de funcionamento e uma avaliação das características de fusão dos eletrodos, bem como uma análise da geometria e qualidade dos cordões. O material utilizado foi aço ao carbono ABNT 1020 e consumíveis de 1.0 e 1.2 mm de diâmetro. Em forma paralela foi desenvolvido um sistema de aquisição de imagens que auxiliou no estudo da transferência metálica. Na transferência por curto-circuito o processo duplo arame apresenta uma taxa de fusão específica (kg/h.A) ligeiramente inferior em relação ao processo convencional. Nas transferências por fluxo goticular e pulsada estas taxas apresentam valores similares, quando comparadas ao processo com um arame. O processo duplo arame pode atingir maiores taxas de fusão absolutas que o processo convencional, aumentando a velocidade de soldagem, sem detrimento da qualidade do cordão.

Palavras-chave: MIG/MAG; Duplo Arame; Produtividade

ABSTRACT

In this work an analysis of One Potential Double Wire GMAW process is shown, being the work carried out in order to identify advantages and limitations of this welding process when compared to the conventional GMAW process. By the use of the bead on plate technique, the melting rate curves (1.0 and 1.2 mm diameter) in short-circuiting, spray and pulsed transfer modes were constructed in order to provide information to an analysis of weld bead geometry and the occurrence of weld defects. Additional experiments, including joint welds in plane and horizontal position, were made. Considering the conventional GMAW process current working range, it was concluded that the Double Wire GMAW has a slightly lower specific melting rate [kg/h.A]. However, the process showed to be advantageous at higher adjustments in welding current range, where shows a superior melting rate than the conventional one wire GMAW. As an additional advantage of the Double Wire process, it was observed that welding would be conducted in higher speeds than allowed by the conventional GMAW process.

Key-Words: MIG/MAG; Double Wire; Productivity

(1) Eng. Mecânico, MSc. LABSOLDA/UFSC

Casilla de Correo 2078 - Asunción – Paraguay e-mail: ciesa@cie.com.py

(2) Dr. Eng. Mec. Prof. LABSOLDA/UFSC

Caixa Postal 476 - 88040-900 - Florianópolis - SC - e-mail: labsolda@emc.ufsc.br

1. INTRODUÇÃO

Processos de soldagem com duplo arame, foram desenvolvidos há muitos anos [1,2,3] e os mesmos possuem várias vantagens operacionais, podendo-se destacar principalmente a capacidade de obter altas taxas de deposição absoluta e consequentemente altas velocidades de soldagem o que se traduz em elevada produtividade. Esta técnica porém, foi implementada principalmente em aplicações do processo arco submerso. A idéia de conceber um processo que reúna as características de versatilidade do processo MIG/MAG com a alta produtividade dos processos multi-eletrodo, é desta forma, conjugada nesta variação do processo. Consequentemente, nos últimos anos o processo MIG/MAG com Duplo Arame tem surgido no mercado como uma técnica de soldagem de aplicação industrial que vem a preencher este espaço. Porém, poucas informações são disponíveis em relação ao funcionamento do processo e as suas reais potencialidades.

Este trabalho pretende caracterizar o processo MIG/MAG duplo arame de forma genérica, mas acima de tudo imparcial, verificando suas vantagens e limitações em relação ao processo convencional com um arame. Especial ênfase foi dada à questão da produtividade determinando taxas fusão absolutas (kg/h) e específicas (kg/hA). Como principal ferramenta na caracterização do arco voltaico foi desenvolvida uma técnica de filmagem, através da qual, foi possível visualizar a transferência metálica e registrar as imagens permitindo a melhor compreensão e determinação dos fenômenos durante a soldagem com dois arames.

2. O Processo MIG/MAG com Duplo Arame

2.1 Características Gerais

O processo MIG/MAG com Duplo Arame se baseia na formação de dois arcos elétricos entre a peça e dois eletrodos consumíveis continuamente alimentados. Da mesma forma que na soldagem MIG/MAG convencional, a poça de fusão, é protegida por um fluxo de gás inerte, ativo ou uma mistura de ambos. Entre as características principais do processo podem ser mencionadas a possibilidade de atingir elevadas taxas de fusão absolutas através da utilização de altas densidades de corrente. Consequentemente, maiores velocidades de soldagem podem ser alcançadas, podendo-se diminuir com isto o aporte térmico imposto à peça. Outra vantagem adicional do processo refere-se à economia no consumo do gás de proteção que se limita ao mesmo consumo necessário para o processo convencional com um arame.

Um dos problemas que afetam a estabilidade do arco em sistemas com duplo arame é o "sopro magnético" originada pelos campos magnéticos gerados quando dois arcos operam um próximo do outro. Outra das diferenças em relação ao processo convencional é a possibilidade de alterar a disposição geométrica dos eletrodos em relação ao cordão de solda, existindo duas possibilidades de alinhamento.

a) Eletrodos na Posição Transversal: nesta configuração, os eletrodos são colocados lado a lado em posição transversal ao sentido de deslocamento da tocha. Esta disposição é vantajosa na soldagem de juntas a topo e em aplicações de revestimentos soldados[4,5].

b) Eletrodos na Posição Longitudinal ou Tandem: é a disposição onde os eletrodos se posicionam um atrás do outro ao longo do cordão de solda. Esta disposição é utilizada com o objetivo de aumentar a velocidade de soldagem.

2.2 Classificação do Processo MIG/MAG com Duplo Arame

a) Processo MIG/MAG Duplo Arame com Potencial Único

Nesta configuração os dois eletrodos estão em contato elétrico no bico de contato e os terminais dos mesmos estão conectados a uma mesma fonte de energia como mostrado na figura 1a. São necessários, portanto, dois alimentadores de arame e uma fonte de soldagem capaz de fornecer a corrente necessária para atingir as taxas absolutas de deposição desejadas. O efeito do sopro magnético, nesta configuração não pode ser evitado, nem minimizado, devido a que ambos eletrodos estão submetidos ao mesmo potencial. O processo admite ainda estabelecer taxas de alimentação de arame diferentes numa faixa limitada. Consequentemente, o comprimento livre do eletrodo pode ser ajustado de forma independente. Na literatura é freqüente encontrar a denominação "Twin MIG" ou "Twin-Wire" (eletrodos gêmeos ou duplos). Esta designação se refere a sistemas onde os eletrodos emergem da tocha de soldagem em forma paralela e geralmente utilizam a tecnologia com potencial único. Consequentemente, este nome está sempre associado a esta configuração, porém nada impede a sua implementação com potenciais isolados. Outra variante do processo é a denominada "MIG-Twisted-Wires" [6] que utiliza dois eletrodos trançados, alimentados por uma única fonte de energia.

b) Processo MIG/MAG Duplo Arame com Potenciais Isolados

O processo MIG/MAG Duplo Arame com Potenciais Isolados pode ser considerado como uma evolução do processo com potencial único. O mesmo está constituído basicamente por duas fontes de potência independentes e dois alimentadores de arame com eletrodos atuando na mesma poça de fusão. Esta configuração é frequentemente designada de "Tandem MIG". Na figura 1b está representado um esquema da configuração do processo. Lassaline et. al. [7], desenvolveu um protótipo baseado em fontes de corrente pulsada onde o primeiro eletrodo é comandado por uma fonte denominada "mestra" e o segundo através de uma fonte denominada de "escrava", ambas com a mesma freqüência. O sopro magnético, foi contornado nesta aplicação através de uma defasagem da corrente que circula por cada eletrodo. Para garantir a defasagem durante todo o processo é necessário um sistema de sincronismo entre as duas fontes, de tal forma que os pulsos da fonte "escrava" sejam ativados pelos pulsos da fonte "mestra" depois de um tempo preestabelecido.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os ensaios foram realizados com uma fonte de soldagem microprocessada dotada de dois cabeçotes tracionadores e uma tocha de soldagem de potencial único. A aquisição de dados de tensão e corrente foi realizada através de sistema constituído por um módulo condicionador de sinais, uma placa de aquisição de dados e um microcomputador. O tempo de aquisição foi estabelecido em 5,0s para cada ensaio. A análise dos dados foi realizada através de oscilogramas de tensão e corrente e de um programa específico de tratamento estatístico de dados de soldagem. A velocidade do arame foi monitorada em forma independente através de dois sensores instalados em

cada tracionador. Uma representação esquemática da bancada está apresentada na figura 2. Na análise da transferência metálica, foi desenvolvida uma técnica de filmagem utilizando uma video-câmera com velocidade de obturação igual a 1/10000s e um arco TIG como luz de fundo. O metal de base utilizado nos ensaios foi aço carbono - ABNT 1020 - de 6.35 mm e 12.7 mm. Como metal de adição foram utilizados eletrodos de 1.0 mm e 1.2 mm - AWS ER 70S-6. O gás de proteção utilizado nos ensaios foi a mistura C5 (95% Argônio e 5% CO₂).

Os testes foram realizados na forma de deposição na posição plana e em juntas de filete. Os regimes de transferência analisados foram curto-circuito, fluxo goticular e pulsado. A avaliação da qualidade dos cordões de solda foi feita através de análise visual, dimensional e metalográfica. A largura média dos cordões depositados determinou-se através da medida de cinco valores ao longo de todo o seu comprimento. Da mesma forma, foram obtidos os valores do reforço médio de cada cordão. Destas cinco medidas foi tirada uma média. A avaliação da penetração teve um enfoque qualitativo e foi realizada só em uma seção transversal e em determinados cordões. Na análise metalográfica, os corpos de prova foram lixados até a lixa 600 mesh, polidos e atacados com nital a 5%. Na análise das juntas soldadas, além do controle visual e dimensional do cordão, foram realizados ensaios de macrografia em seções transversais e ensaios radiográficos em forma longitudinal à junta.

As condições de soldagem adotadas para cada modo de transferência estão indicadas na tabela 1. O procedimento básico na transferência por curto-circuito consistiu em fixar velocidades de alimentação do arame e atuar sobre a tensão de maneira a obter a melhor condição de estabilidade. Na determinação das tensões de referência para este modo de transferência, foi adotado um critério que leva em consideração o desvio padrão dos picos de corrente (Dlpm) para avaliar a regularidade da transferência. Nos modos de transferência por fluxo goticular e pulsado o critério de realização dos ensaios fundamentou-se na manutenção de um comprimento de arco determinado (aproximadamente 5.0 mm). Os parâmetros de corrente utilizados nos ensaios com transferência pulsada estão apresentados na tabela 2.

De posse das informações básicas de funcionamento do processo, o seguinte passo foi verificar seu desempenho na soldagem de juntas de filete na posição plana e horizontal. Na posição plana foi utilizada a transferência por fluxo goticular e na horizontal, a transferência pulsada. Na tabela 3 estão apresentadas as condições de soldagem utilizadas nas soldas de filete.

3. RESULTADOS

As figuras 3, 4 e 5 apresentam as taxas de fusão absoluta de cada processo nas transferências por curto-circuito, fluxo goticular e pulsado, respectivamente, para os diâmetros de eletrodo ensaiados e a figura 6 mostra o aspecto visual dos cordões, realizados com o processo duplo arame, nas transferências por fluxo goticular e pulsada.

A figura 7 mostra a seção transversal de uma solda realizada em junta de filete com o processo convencional (a) e com o duplo arame (b), respectivamente, na transferência por fluxo goticular, na posição plana. Apesar da dimensão do cordão ser a mesma, maior penetração foi obtida com o processo duplo arame. A figura 8 mostra a macrografia de juntas de filete realizadas no processo convencional e duplo arame,

respectivamente, com transferência pulsada na posição horizontal. Como pode ser observado, o cordão realizado com o processo convencional apresentou uma adequada geometria do cordão, porém, a penetração foi insuficiente. Já no cordão realizado com o processo duplo arame, além de apresentar uma geometria satisfatória, obteve excelente penetração.

4. CONCLUSÕES

As principais conclusões extraídas deste trabalho estão apresentadas a continuação:

Na transferência por curto-circuito o processo duplo arame apresenta uma taxa de fusão específica (kg/h.A) ligeiramente inferior em relação ao processo convencional. Esta diferença é mais acentuada em correntes elevadas. Nas transferências por fluxo goticular e pulsada estas taxas apresentam valores similares, quando comparadas ao processo com um arame.

No processo duplo arame com transferência por fluxo goticular, as velocidades de alimentação do arame atingidas, vão além dos limites de operação que o processo convencional admite. Para o arame de 1.0 mm, por exemplo, foi atingida uma velocidade máxima de 14.0 m/min no processo convencional (condição extrema), enquanto que no duplo arame, a velocidade máxima foi de 11.5 m/min para cada arame, ou seja 23 m/min no total, velocidade limitada só pela capacidade de fornecimento de corrente da fonte de soldagem utilizada.

A principal vantagem da utilização do processo duplo arame com transferência pulsada é a possibilidade de duplicar a faixa de corrente aplicável. No processo convencional o limite máximo de corrente média na transferência pulsada está limitado pela corrente de transição do arame, onde a transferência por projétil muda para fluxo goticular. No processo duplo arame, evidentemente, a corrente de transição não é duplicada, mas sim, a intensidade total de corrente necessária para que ambos eletrodos atinjam esta corrente. Consequentemente, é possível estender a faixa de corrente, conseguindo assim, maiores taxas de fusão absolutas, tirando proveito, desta forma, das excelentes características de transferência oferecidas pela transferência pulsada.

Quando é utilizado o comando em corrente, no processo duplo arame com potencial único, há um risco potencial de provocar a fusão do arame no bico de contato, pois, na ocorrência de qualquer problema no fornecimento de um dos arames, toda a corrente é obrigada a passar pelo outro eletrodo, que desta forma, deve receber o dobro da corrente necessária para a taxa de fusão estabelecida.

A geometria dos depósitos nas transferências por curto-circuito e fluxo goticular apresenta um perfil mais alargado e com menor altura no reforço no processo duplo arame, para velocidades de arame equivalentes comparadas com o processo convencional. Isto não acontece nos depósitos realizados com transferência pulsada, onde os cordões se apresentaram mais altos e estreitos, quando realizados com o processo duplo arame.

Da mesma forma que no processo convencional, através da aplicação da técnica pulsada, é possível realizar soldas de boa qualidade em juntas de filete na posição horizontal, com o processo duplo arame, porém, com maior produtividade. A aplicação

do procedimento de soldagem mostrado na tabela 4, permite obter ganhos de até 33 % na velocidade de soldagem, para uma mesma geometria do cordão, em relação ao processo convencional.

Na soldagem de juntas em ângulo na posição plana, pelo processo duplo arame com transferência por fluxo goticular, obteve-se ganhos de até 130% na velocidade soldagem, para uma mesma geometria do cordão, em relação ao processo convencional. Por outro lado, através da análise de energia de soldagem liberada por comprimento de solda (kJ/cm), nas mesmas condições, constatou-se que o processo convencional precisou liberar 15 % a mais de energia, em relação ao processo duplo arame, na soldagem da mesma junta. Através destas constatações é possível concluir que o processo duplo arame, sob determinadas condições, apresenta vantagens interessantes em relação ao processo convencional, as quais devem ser levadas em consideração na avaliação de sua produtividade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todo o pessoal técnico do LABSOLDA/UFSC pelas informações e colaborações prestadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Agradecimento especial é feito ao Consorcio de Ingenieria Electromecánica (CIE - Paraguai) pelo apoio financeiro a um dos autores.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UTTRACHI, G. D. Multiple Electrode Systems for Submerged Arc Welding. Welding Journal, p. 15-22, may, 1978.
- [2] BUNKER, T. A. Multi-Electrodes in SAW with Square Wave AC Power. Welding Journal, p. 36-40, july, 1982.
- [3] SHERSTYK, V. N. Shape of the Weld Pool in Twin-Arc Welding, and Stability of the Process. Svar. Proiz., n 11, 1962. p. 16-18
- [4] - Welding Handbook AWS, v.2 - Welding Process, eight edition, p. 207. 991.
- [5] PALMA, J. A., TIMERMAN, R. Ciencia y Técnica de la Soldadura, v1, Conarco, Buenos Aires, p. 128. 1983
- [6] KIMURA, S. The Twist-arc Welding Process. Conference Proceedings from Advances in Welding Processes, TWI, 1978
- [7] LASSALINE, B., ZAJACZKOWSKI, B & NORT, T. H. Narrow Groove Twin-Wire MIG/MAG of High-Strength Steel. Welding Journal, p. 53-58, September 1989.

Tab. 1 - Condições de soldagem estabelecidas na transferência por curto-circuito, fluxo goticular e pulsada para o processo convencional e duplo arame

Parâmetros 1A (Um arame) - 2A (Duplo arame)	Curto-Circ.	Fluxo Gotic.		Pulsado
	1A / 2A	1A	2A	1A / 2A
Vazão de gás (l/min)	15	15	20	15
Dist. bico de contato/peça (mm)	15	18	21	15
Comprimento livre do eletrodo (mm)	13	13	13	10
Diâmetro do eletrodo (mm)	1.0 / 1.2	1.0 / 1.2	1.0 / 1.2	
ks = kd (um arame) - fator indutivo	K = 20	----	----	----
ks = kd (duplo arame) - fator indutivo	K = 5	----	----	----
Veloc. Soldagem (mm/min)	300	300	300/400/600	300
Espessura da chapa (mm)	6.3	12.3	12.3	6.3

Tab. 2 - Parâmetros da corrente pulsada utilizados no processo convencional e duplo arame

Parâmetros da Corrente Pulsada –Processo Conv. (um arame)							
Im (A)	Ip (A)	Tp (ms)	Ib (A)	Tb (ms)	Va _T (m/min)	Vs (cm/min)	Esp. CP. (mm)
Ø = 1.0 mm							
100	240	4.1	63	15.6	3.5	30	6.3
140	240	4.1	99	10.0	4.9	30	6.3
160	240	4.1	120	8.2	5.9	30	6.3
Ø = 1.2 mm							
180	300	4	98	6.5	4.9	30	6.3
220	300	4	142	4.1	5.9	30	6.3

Parâmetros da Corrente Pulsada -Processo Duplo Arame							
Im (A)	Ip (A)	Tp (ms)	Ib (A)	Tb (ms)	Va _T (m/min)	Vs (cm/min)	Esp. CP. (mm)
Ø = 1.0 mm							
100	480	4.1	56	35.3	2.0	30	6.3
140	480	4.1	82	24.1	5.0	30	6.3
160	480	4.1	96	20.5	5.6	30	6.3
200	480	4.1	126	15.6	7.6	30	6.3
250	480	4.1	170	11.7	9.6	30	6.3
300	480	4.1	218	9.0	11.8	30	6.3
350	480	4.1	276	7.2	13.6	40	6.3
Ø = 1.2 mm							
180	600	4	73	73	4.9	30	6.3
220	600	4	95	95	6.0	30	6.3
250	600	4	113	113	6.8	30	6.3
350	600	4	188	188	9.5	40	12.7
400	600	4	236	236	11.0	40	12.7
440	600	4	283	283	11.7	40	12.7

Tabela 3 - Parâmetros de soldagem utilizados nas juntas de filete

Parâmetros de soldagem	1 ^a	2 A	1 A	2A
Modo de transferência	fl. goticular	fl. goticular	pulsada	pulsada
Posição	Plana	plana	horizontal	horizontal
Nº de passes	1	1	1	1
Vazão de Gás (l/min)	15	15	15	15
Ø Eletrodo (mm)	1.0	1.0	1.0	1.0
Vs (cm/min)	27	63	30	40
Vel. do Arame (m/min)	12	19.8	7.6	12
Corrente Média (A)	245	480	180	280
Aporte Térmico (kJ/cm)	16.3	14.2	8.3	10.6

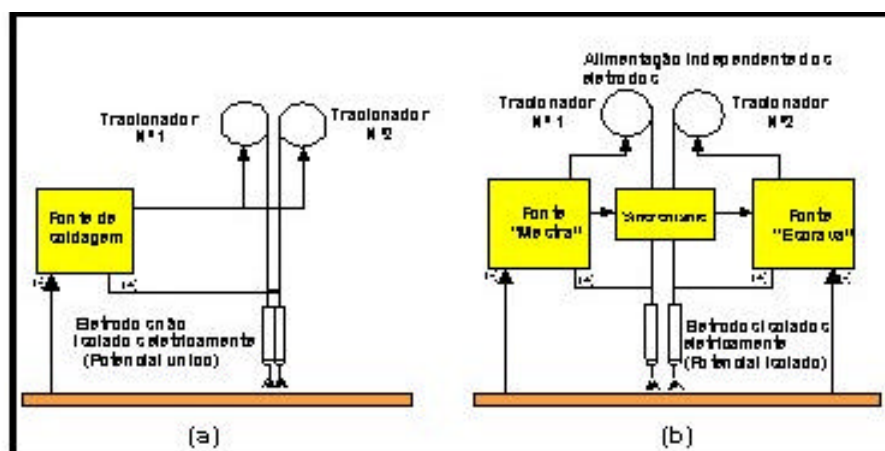


Fig. 1-Representação esquemática da configuração do processo MIG/MAG duplo arame a) potencial único b) potenciais isolados

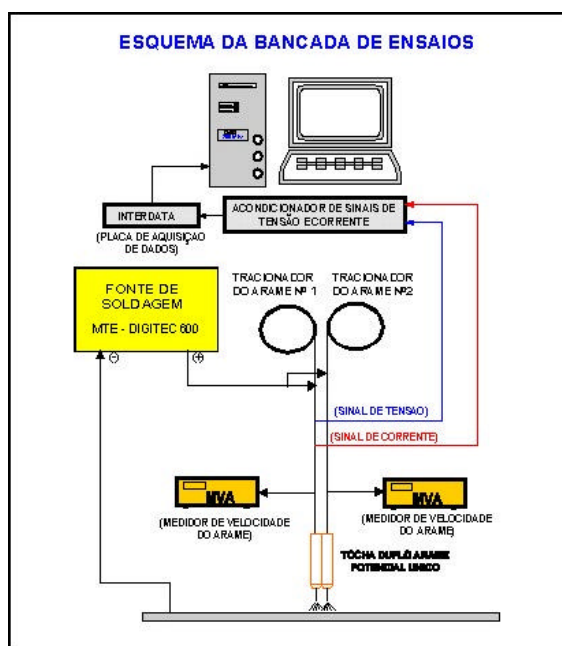


Fig. 2 -Representação esquemática da Bancada de Soldagem e do Sistema de Aquisição de Dados de Soldagem

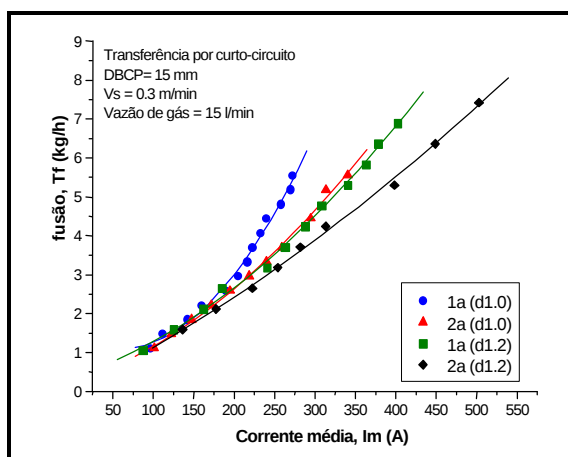


Fig. 3 - Taxa de fusão absoluta na transferência por curto-circuito para o processo convencional (1a) e duplo arame (2a)

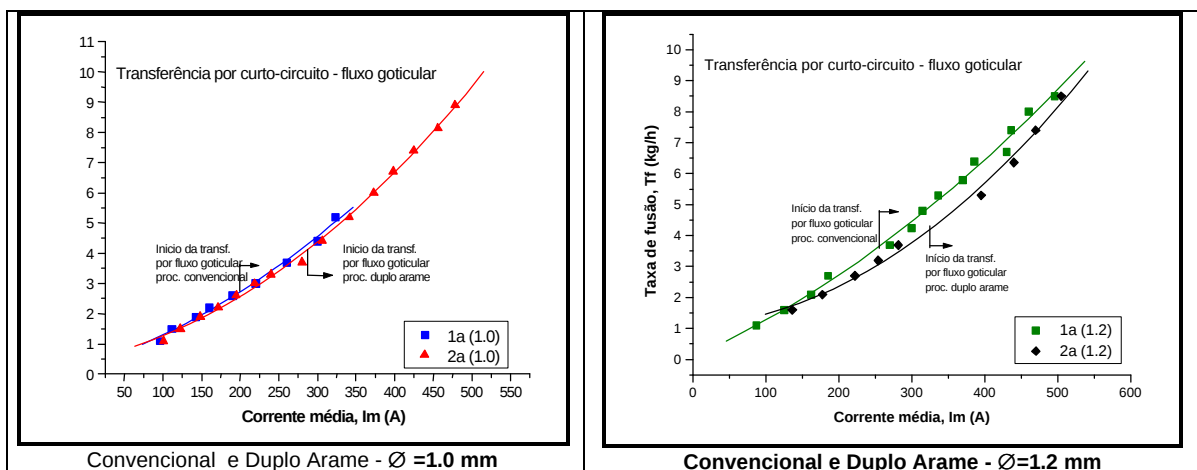


Fig. 4 - Taxa de fusão absoluta na transferência por curto-circuito / fluxo goticular para o processo convencional (1a) e duplo arame (2a)

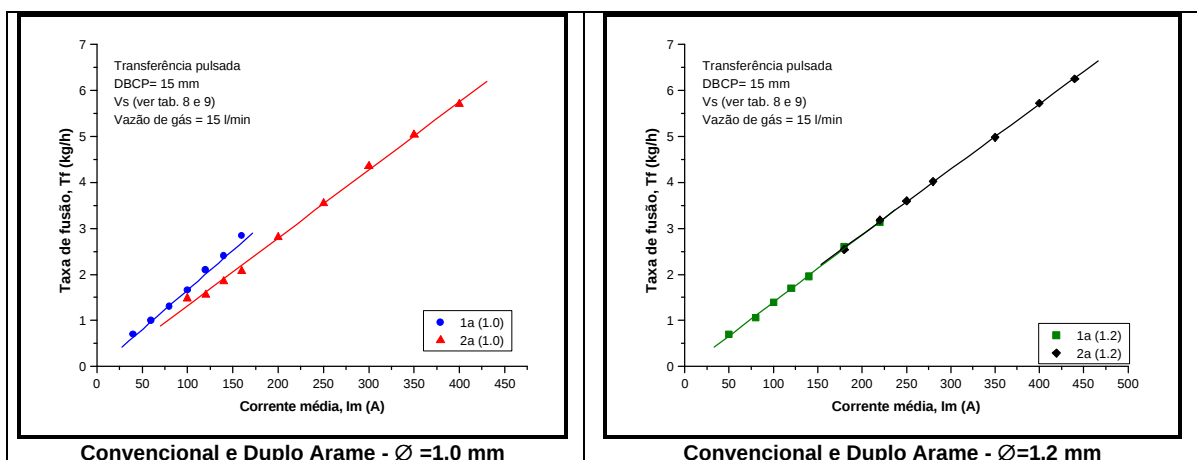


Fig. 5 - Taxa de fusão absoluta na transferência pulsada para o processo convencional (1a) e duplo arame (2a).

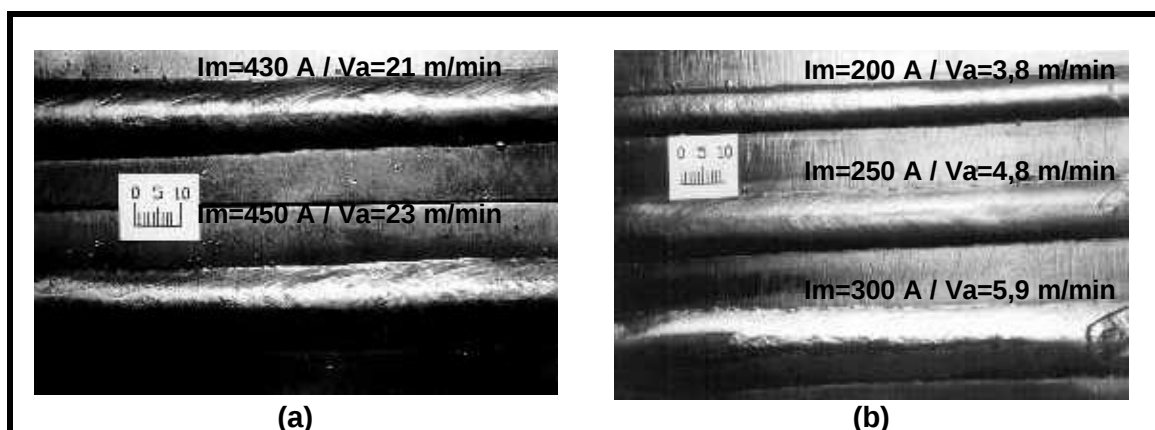


Fig. 6 - Aspecto visual dos cordões de solda no processo duplo arame
a) modo fluxo goticlar b) modo pulsado

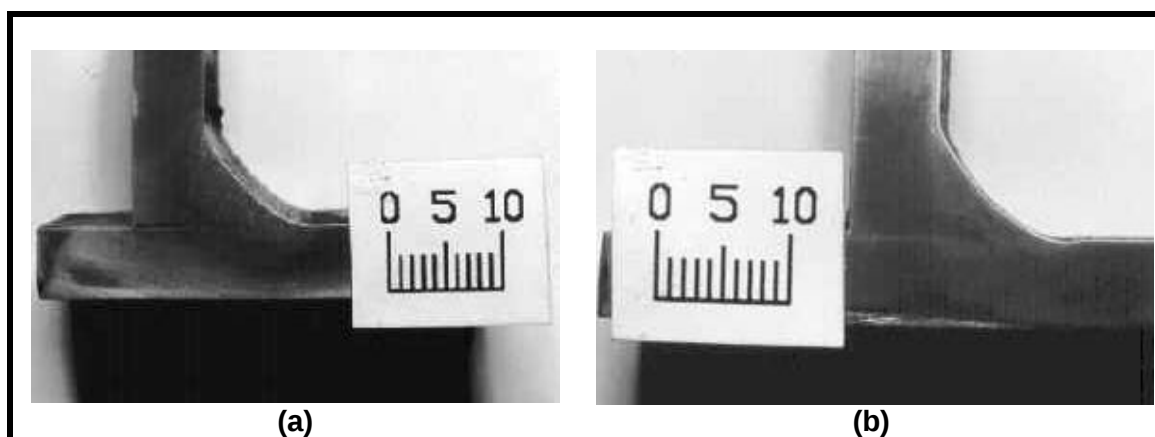


Fig. 7- Macrografias de soldas realizadas na posição plana. Transferência por
fluxo goticlar a) processo convencional b) duplo arame

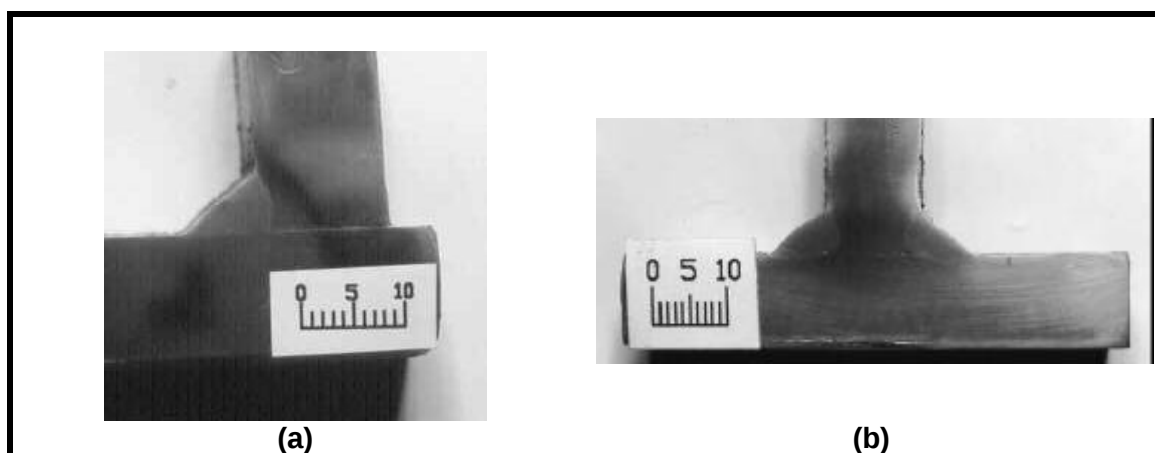


Fig. 8 - Macrografias de soldas realizadas na posição horizontal. Transferência
pulsada a) processo convencional b) duplo arame