

UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO MIG/MAG CONVENCIONAL E PULSADO

⁽¹⁾ Óder Silva de Paula Jr.

⁽²⁾ Jair Carlos Dutra

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o de contribuir para a desmistificação do caráter comparativo entre o processo MIG pulsado e MAG curto circuito, no que concerne à determinação da potência do arco e à produtividade. Ele apresenta que a produtividade depende dos critérios de comparação, pois não se deve esquecer de que as informações de corrente e tensão são baseadas em definições, quando as referidas grandezas não são uniformes no tempo. Assim, pode-se ter como critérios de comparação a corrente média, ou a corrente eficaz, ou ainda a potência entregue pela fonte de soldagem. Ele demonstra também que a potência do arco não pode ser calculada, em muitos casos, à partir dos valores médios ou eficazes da corrente e tensão e que a produtividade do método pulsado não é efetivamente superior do que a que se tem com a transferência por curto circuito, e assim não se pode afirmar ser esta uma vantagem do método pulsado sobre o método convencional. Para cada corpo de prova ensaiado determinou-se também a geometria dos cordões (penetração, largura e reforço).

Palavras-chave: Soldagem MIG/MAG, Potência do arco, Produtividade

ABSTRACT

This work makes a contribution to desmistify the concepts currently used to compare pulsed and short-circuit GMAW, in areas like power input and metal production determination. It is demonstrated that pulsed GMAW productivity is not greater than that of GMAW short-circuit process as normally believed, and the arc power should not be calculated in some cases from the mean or rms values of current and voltage, but in a form more in accordance with its real meaning. For each specimen welded there were measured the weld bead dimensions (penetration, width and reinforcement).

Key-words: Welding GMAW, Arc power, Productivity

⁽¹⁾ Eng. Mecânico, Mestrando LABSOLDA/UFSC

Caixa Postal 476 - 88040-900 - Fax: (048) 234-6516 - e-mail labsolda @emc.ufsc.br
Florianópolis SC

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

1. INTRODUÇÃO

O processo MIG/MAG destaca-se por suas características de flexibilidade, elevada produção e possibilidade de relativo controle da poça em qualquer posição e espessura.

A versatilidade operacional do processo MIG/MAG se deve à enorme gama de combinações possíveis, através da seleção do gás, diâmetro e composição de eletrodo, comprimento do eletrodo e do arco (tensão) e tipo e intensidade da corrente. Para cada situação existe uma combinação mais adequada, resultando em características próprias que fazem a distinção das diversas classes do processo MIG/MAG, tais como, por curto circuito, por "spray" ou pulsado.

Depois que a eletrônica de potência se popularizou nos equipamentos de soldagem, abriu-se um leque enorme de métodos para soldagem MIG/MAG. Associada a tantas possibilidades tem surgido uma considerável quantidade de propaganda de empresas e de trabalhos técnicos que mostram vantagens de determinados métodos de acordo com interesses comerciais ou por causa de aspectos restritivos de seus instrumentos de monitoração.

Dentre esses métodos, a utilização do MIG com corrente pulsada, cujo objetivo é obter um arco mais estável através da atuação sobre o modo de transferência metálica, com maior controle da penetração, utilização de baixas energias e ausência de salpicagem, tem sido referenciado como um método que apresenta uma maior produtividade do que a que se tem com a transferência por curto circuito.

Entretanto, afirmações desta natureza dependem dos critérios de comparação, que podem basear-se na corrente média ou na corrente eficaz, ou ainda na potência entregue pela fonte de soldagem.

No caso da soldagem com corrente pulsada é preciso que se atente para as componentes das ondas de tensão e de corrente, isto é, nas respectivas amplitudes e tempos de duração. Além de influir no processo, essas componentes dão um sentido muito mais significativo à diferenciação entre os valores médios e eficazes, que em corrente pulsada podem divergir em até 60%, o que acarreta uma variação considerável nos valores de potência.

Deste modo é comum as pessoas cometerem erros de avaliação ao definir a potência do arco em determinada operação de soldagem, visto que se pode estar medindo a potência do arco pelo valor médio ou eficaz da corrente e tensão de soldagem e não expressando esta grandeza em sua forma real.

2. DEFINIÇÃO DE POTÊNCIA DO ARCO

Genericamente, a potência do arco é calculada pelo produto da tensão de soldagem pela intensidade da corrente:

$$P = U \cdot I \quad (1)$$

Sendo U expresso em volts, I em ampéres e P em watts.

Numa análise mais criteriosa, deve-se observar, que tanto a corrente como a tensão são caracterizadas por valores médios e eficazes e que portanto, a potência muitas vezes é definida levando-se em conta exclusivamente estes parâmetros, o que descaracteriza a grandeza real a ser medida. Pode-se então afirmar que não é correto definir a potência do arco em consonância com estes parâmetros, conforme mostrado em (2) e (3), sendo que os sub-índices m e ef significam valores médios e eficazes da corrente e tensão, e os sub-índices a e b utilizados apenas para distinguir as expressões. Considerando-se uma forma aleatória de onda para a corrente e tensão, a potência real seria expressa de forma geral como apresentada em (4).

$$P_a = U_m \cdot I_m \quad (2) \quad P_b = U_{ef} \cdot I_{ef} \quad (3) \quad P_r = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \cdot U_i}{n} \quad (4)$$

No caso (2) a potência obtida (P_a) será a potência medida pelo valor médio da corrente e tensão de soldagem, que difere da potência medida considerando-se o valor eficaz da corrente e tensão (P_b), expressa em (3). Esta observação é importante porque para uma mesma corrente média podem existir diferentes correntes eficazes. Tomando-se como referência para cálculo da potência os valores médios de corrente e tensão assumiria-se, a priori, que nesta situação a potência do arco seria igual para todas as operações de soldagem estabelecidas nestas condições, quando na realidade o resultado é bastante distinto. Para uma definição precisa e correta, a potência deve ser expressa em valor real, como mostrado em (4), sendo, n o número de pontos considerados para a análise.

Considerando-se a soldagem MIG pulsada com onda retangular, pode-se expressar a potência do arco em sua forma real, considerando-se os parâmetros de pulso e de base com seus respectivos tempos de duração, como mostrado em (5).

$$P_r = \frac{(I_p \cdot U_p) \cdot t_p + (I_b \cdot U_b) \cdot t_b}{T} \quad (5)$$

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nos ensaios com corrente pulsada, o procedimento adotado para a realização dos ensaios consistiu em manter fixa a corrente média (I_m), e variar o diâmetro de gota (dg) – e com isto as características da transferência metálica. Para isto foram mantidos fixos os valores de corrente de pulso (I_p), tempo de pulso (t_p), a distância bico de contato-peça (DBCP) e o comprimento do arco (la); enquanto que os valores de corrente de base (I_b), tempo de base (t_b) e velocidade de avanço do arame (va) foram pré-determinados por equações características e medidos posteriormente.

Na soldagem MAG convencional com transferência por curto circuito, a tensão do arco foi controlada em termos médios e a corrente de soldagem tornou-se uma variável dependente da velocidade de avanço do arame, que foi fixada em 3,7 m/min.

Nas tabelas 1 e 2 são apresentadas as condições experimentais em que se realizaram os ensaios. Utilizou-se uma mistura à base de argônio (95% Ar + 5% CO₂) a 15 l/min, para soldagem MIG pulsada e Argônio mais 25% de CO₂ a uma vazão de 12 l/min para soldagem MAG curto circuito. O material de adição utilizado foi um arame AWS ER70S6, com uma bitola de 1,0 mm. Os corpos de prova foram constituídos de chapas de aço carbono 1020 (chapas de 150 x 30 mm) de espessura igual a 6,35 mm. Em cada corpo de prova foi depositado em passe único, um cordão de solda.

Após o término das soldagens determinou-se a largura média dos cordões através da medida de seis valores da largura do cordão ao longo de todo o seu comprimento (para cada cordão soldado). Destas seis medidas foi tirada uma média. Do mesmo modo foi obtido o reforço médio de cada cordão. A penetração e o tipo de perfil do cordão foram obtidos através de uma macrografia, isto é, cada corpo de prova soldado foi cortado em sua seção transversal, preparado até lixa 600 mesh e polido. Foi feito um ataque químico com uma solução de nital a 5% para que o perfil do cordão fosse revelado. O valor de penetração é a medida de apenas uma superfície cortada de cada cordão soldado. O tipo de perfil que cada cordão apresentava foi traçado com o auxílio do projetor de perfis e sua penetração foi determinada. Na figura 1 são definidos os parâmetros geométricos medidos.

Para realização dos experimentos utilizaram-se os recursos de aquisição e processamento de dados fornecidos pelo sistema SISDATASOLDA [1].

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas 3 e 4 são apresentados os parâmetros medidos. Os resultados dos parâmetros geométricos estão nas tabelas 5 e 6.

Tanto em MIG pulsado quanto em MAG curto circuito verifica-se, conforme mostrado nas tabelas 3 e 4, que distintos valores de potência do arco são obtidos para as mesmas condições específicas de soldagem. A variação apresentada na soldagem MIG pulsada, é resultante das diferenças entre os valores médios e eficazes da corrente e tensão, como se observa nos oscilogramas das figuras 2a, 2b e 2c; que levam a resultados divergentes da potência do arco, quando a mesma é calculada com estes valores, e muito diferente da potência real do arco, que constitui um correto referencial.

No que diz respeito à produtividade, verifica-se que praticamente a mesma quantidade de material foi depositado, tanto em MIG pulsado, quanto em MAG curto circuito. Analisando-se os valores de potência real do arco obtidos nos experimentos, nota-se que em regime pulsado a potência real é em média 36% superior do que o obtido em MAG com transferência por curto circuito, ou seja, obteve-se a mesma produtividade em ambos os processos, porém com potência do arco consideravelmente menor em MAG curto circuito. As figuras 3a, 3b e 3c retratam os oscilogramas de soldagem em curto circuito.

A aparência visual dos cordões em MAG curto circuito é mostrada na figura 4, onde percebe-se a ocorrência de salpicos ao redor do cordão de solda. Analisando-se as dimensões do cordão obtidas em MAG curto circuito, verifica-se na tabela 5, que a penetração e o reforço tendem a diminuir com o aumento da

tensão, enquanto a largura tende a aumentar. No caso da largura e do reforço, a variação observada com a tensão é explicada pelas condições de molhabilidade entre o metal depositado e o metal de base. Com o aumento da tensão, as condições de molhabilidade melhoram, ou seja, o metal de adição tende a se espalhar mais sobre o metal de base.

A aparência visual dos cordões em MIG pulsado é mostrada na figura 5, onde percebe-se a ausência quase total de salpicos. Observando-se a tabela 6, verifica-se que em MIG pulsado a maior largura do cordão foi obtida para a condição em que se teve o maior diâmetro de gota. Esta tendência apresentada pode ser explicada pelo fato de que gotas de maior diâmetro, ou seja, maior volume, possuem um maior conteúdo calorífico, permitindo assim uma maior molhabilidade do cordão depositado. Embora todos os ensaios tenham sido feitos com iguais condições de I_p e t_p , para valores mais elevados de potência real do arco verificou-se uma maior penetração do cordão de solda. Isto poderia ser explicado pela maior potência do arco.

Em MAG curto circuito nota-se que a penetração diminuiu com o aumento da potência real do arco. Isto pode ser devido à extrema redução do comprimento do arco para tensões menores (onde verificou-se os menores valores de potência), e que leva ao efeito erosão ou escavamento da peça. A pressão do arco exercida sobre a peça tende a ser maior, com o arco incidindo inclusive abaixo da linha superficial da peça-obra, o que provavelmente contribuiu para aumentar a eficiência da penetração.

6. CONCLUSÕES

- 1) Não é possível definir a potência do arco considerando-se os valores médios ou eficazes da corrente e tensão de soldagem visto que os resultados não representarão a verdadeira grandeza medida. A forma correta e criteriosa, tanto em MIG pulsado quanto em MAG curto circuito, para determinar a potência do arco é pela forma real, expressa na equação (4) do item 2.
- 2) A produtividade do método pulsado não é efetivamente superior do que a que se obtém com o processo MAG curto circuito para iguais valores de potência real. Nos ensaios realizados, obteve-se praticamente a mesma quantidade de material depositado em ambos os processos, porém, com potência real do arco na soldagem por curto circuito da ordem de 36% menor que a obtida no modo pulsado.
- 3) As dimensões do cordão (penetração, largura e reforço), apresentaram valores similares para ambos os processos, com largura ligeiramente superior em MAG curto circuito.
- 4) Se deve procurar tão somente a adaptabilidade de cada versão do processo às necessidades de qualidade e a produtividade do ponto de vista total e não ao aspecto relacionado à velocidade de fusão do eletrodo, pois a vantagem aduzida a favor do MIG pulsado, a partir dos critérios estabelecidos, é altamente discutível.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à todo o pessoal técnico do LABSOLDA/UFSC pelas valiosas informações e colaborações prestadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, assim como ao CNPq pelo fornecimento de bolsa de estudo a um dos autores.

8-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]- DUTRA, J. C. Procedimento computadorizado de Determinação, Seleção e Controle de Variáveis na Soldagem MIG/MAG. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 08/89.
- [2]- PEREIRA, W. A., COSTA, U. B. & SCOTTI, A. Avaliação do efeito dos Parâmetros sobre Características Operacionais nos Processos MIG Pulsado e MAG Curto Circuito. XXI Enc. Nac. Tec. Soldagem, Caxias do Sul, RS, Jun., 1995, ABS, pp. 529-542.
- [3]- DUTRA, J. C., OLLÉ, L. F. & KIRST, E.R. Uma Contribuição ao Estudo da Seleção de Variáveis na Soldagem MIG/MAG pulsada. Congresso Regional Latino Americano de Soldagem, Rio de Janeiro, RJ, Abril, 1992, v.2, pp. 925-942.
- [4]- AMERICAN WELDING SOCIETY Welding Handbook, Welding Process Arc and Gas Welding and Cutting, Brazing and Soldering 8 ed. Miami: AWS, 1991. v.2. 592p.

Tabela 1 - Parâmetros e Variáveis de Soldagem com Corrente Pulsada

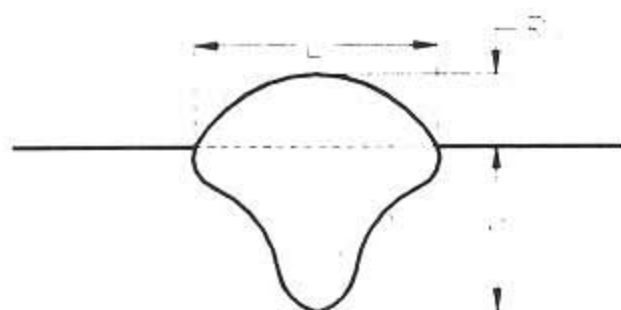
GRANDEZA	CORPO DE PROVA 1 - P1	CORPO DE PROVA 2 - P2	CORPO DE PROVA 3 - P3
DBCP (mm)	15	15	15
la (mm)	5	5	5
Ip (A)	300	300	300
Im (A)	100	100	100
tp (ms)	4,0	4,0	4,0
Uref (V)	25	25	25
Vs (cm/min)	20	20	20
dg (mm)	1,0	1,10	1,2

Sendo: Uref = tensão de referência

Tabela 2 - Parâmetros e Variáveis de Soldagem por Curto Circuito

GRANDEZA	CORPO DE PROVA 1 - CC1	CORPO DE PROVA 2 - CC2	CORPO DE PROVA 3 - CC3
Uc (V)	16	19	22
Va (m/min)	3,7	3,7	3,7
Vs (cm/min)	20	20	20
DBCP (mm)	15	15	15

Sendo: Uc = tensão de controle



P - Penetração
L - Largura do cordão
R - Reforço do cordão

Fig. 1- Definição dos parâmetros geométricos medidos

Tabela 3 - Parâmetros medidos e calculados - MIG Pulsado

GRANDEZA	P1	P2	P3
Va (m/min)	3,5	3,6	3,7
Ip (A)	300	300	300
tp (ms)	4,0	4,0	4,0
Ib (A)	15	27	45
tb (ms)	9,4	11,0	14,5
Im (A)	99	101	99
Ief (A)	164	157	145
f (Hz)	75	67	54
Um (V)	25	25	24
Uef (V)	25	25	24
dg (mm)	1,08	1,10	1,19
Pa (W)	2478	2537	2400
Pb (W)	4070	3950	3456
Pr (W)	3166	3148	2864

Tabela 4 - Parâmetros Medidos e calculados - MAG curto circuito

GRANDEZA	CC1	CC2	CC3
Uc (V)	16	19	22
Va (m/min)	3,7	3,7	3,7
Im (A)	109	107	107
Ief (A)	122	119	119
Um (V)	16,9	19,6	22,5
Uef (V)	18,4	20,4	23
Pa (W)	1842	2097	2407
Pb (W)	2006	2183	2461
Pr (W)	1704	2024	2041

Tabela 5- Dimensões do cordão - MAG Curto Circuito

CORPO DE PROVA	L (mm)	R (mm)	P (mm)
CC1	5,83	2,5	1,25
CC2	6,57	2,22	1,05
CC3	7,57	2,12	1,0

Tabela 6- Dimensões do cordão - MIG Pulsado

CORPO DE PROVA	L (mm)	R (mm)	P (mm)
P1	5,8	2,5	1,25
P2	5,47	2,58	1,2
P3	6,2	2,15	0,7

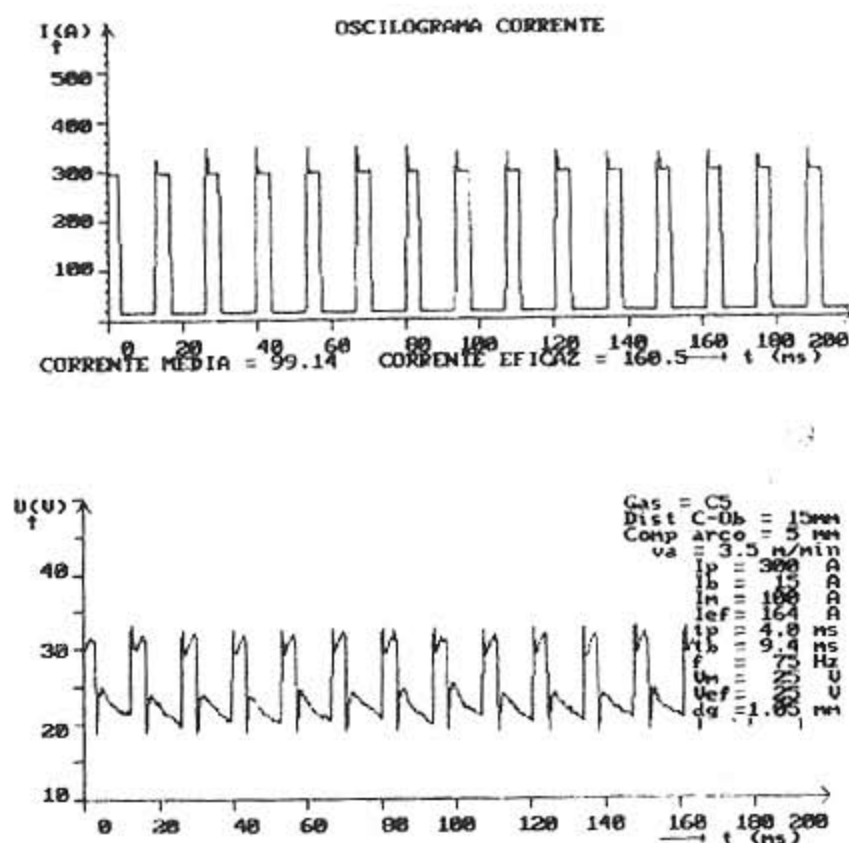


Fig. 2a- Oscilogramas de soldagem em corrente pulsada, com diâmetro de gota de 1,0 mm

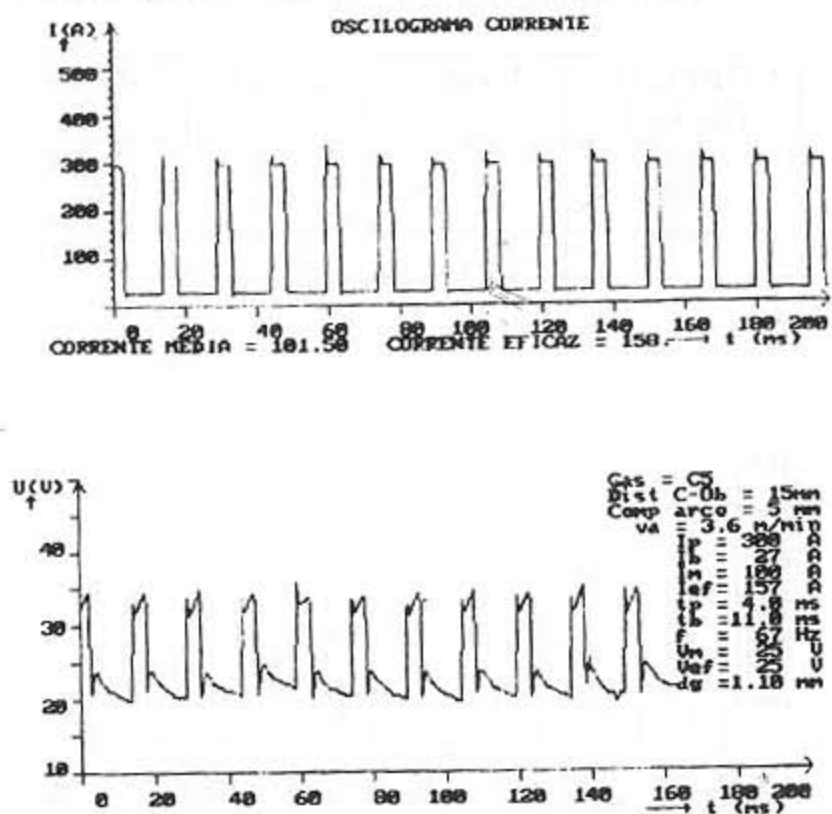


Fig. 2b- Oscilogramas de soldagem em corrente pulsada, com diâmetro de gota de 1,1 mm

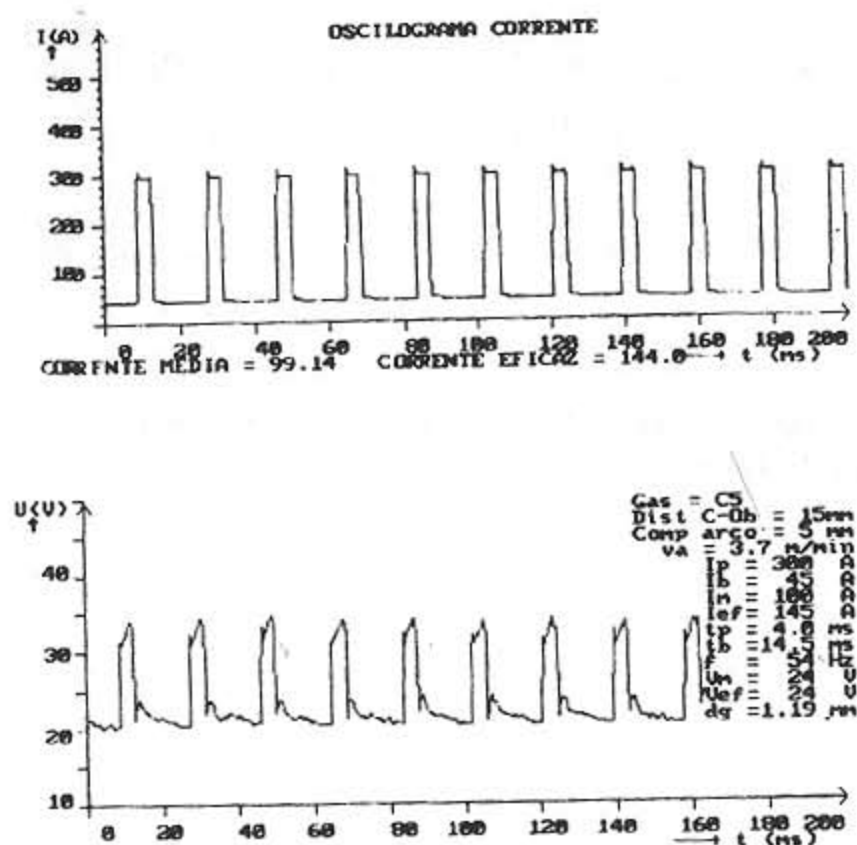


Fig. 2c- Oscilogramas de soldagem em corrente pulsada, com diâmetro de gota de 1,2 mm

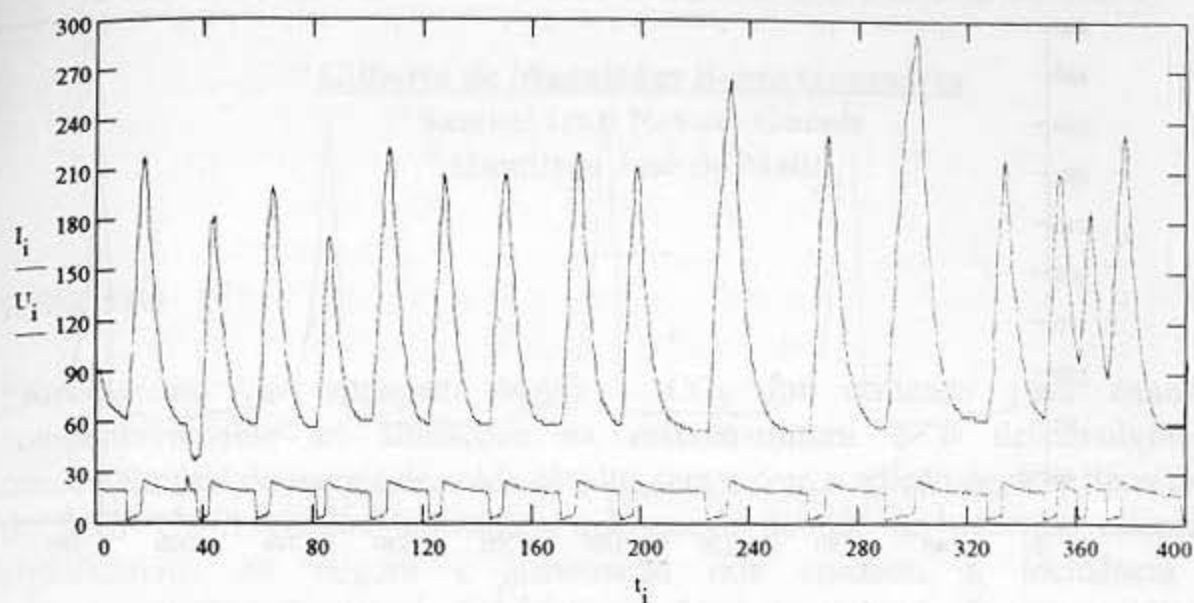


Fig. 3a- Oscilogramas de soldagem empregando modo de transferência por curto circuito, com tensão de controle de 16 V

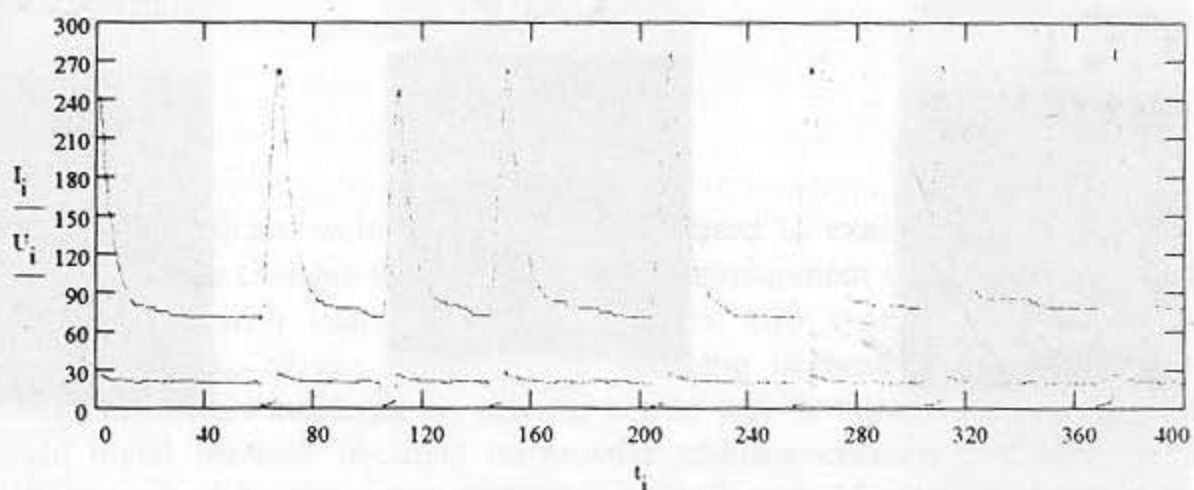


Fig. 3b- Oscilogramas de soldagem empregando modo de transferência por curto circuito, com tensão de controle de 19V

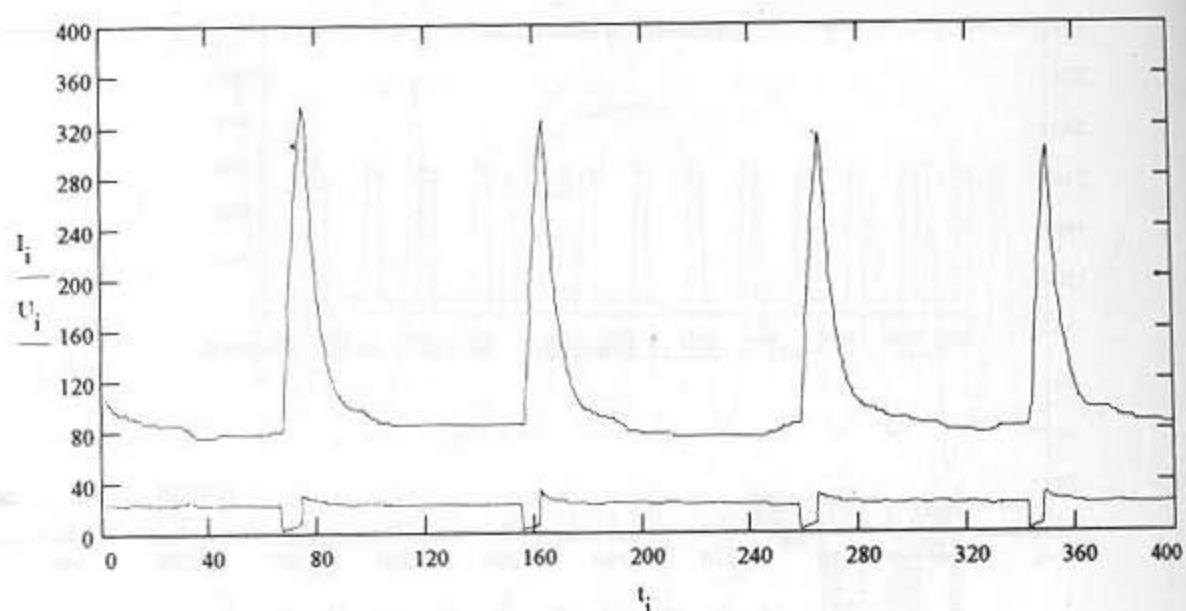


Fig. 3c- Oscilogramas de soldagem empregando modo de transferência por curto circuito, com tensão de controle de 22V

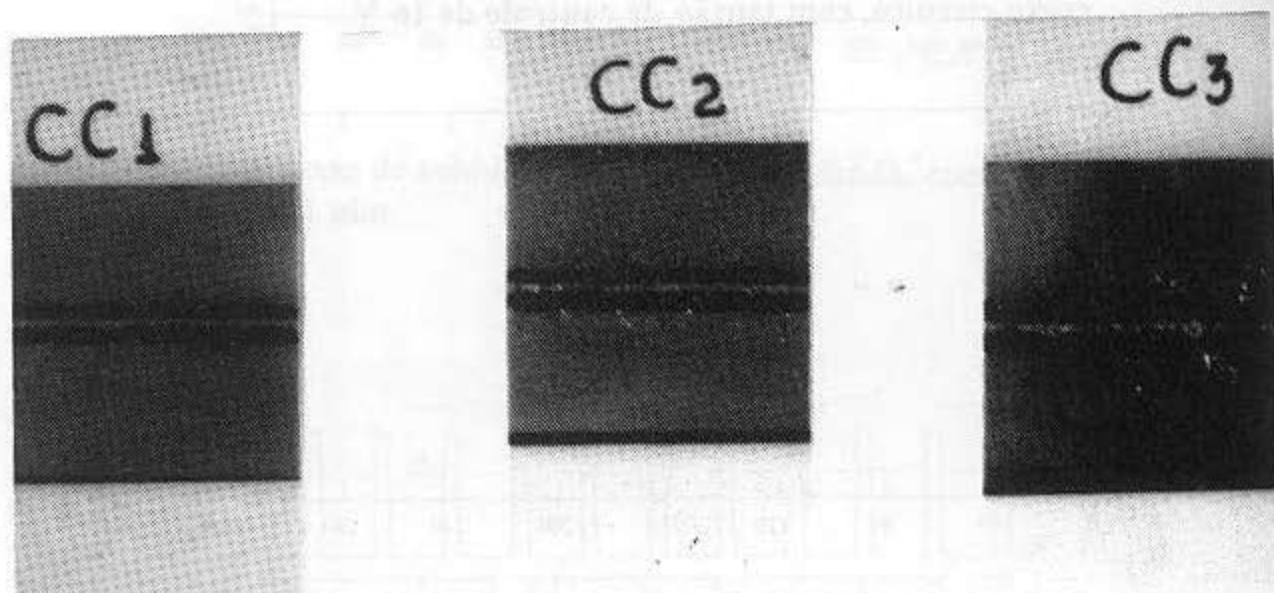


Fig 4- Aparência visual dos cordões em MAG curto circuito

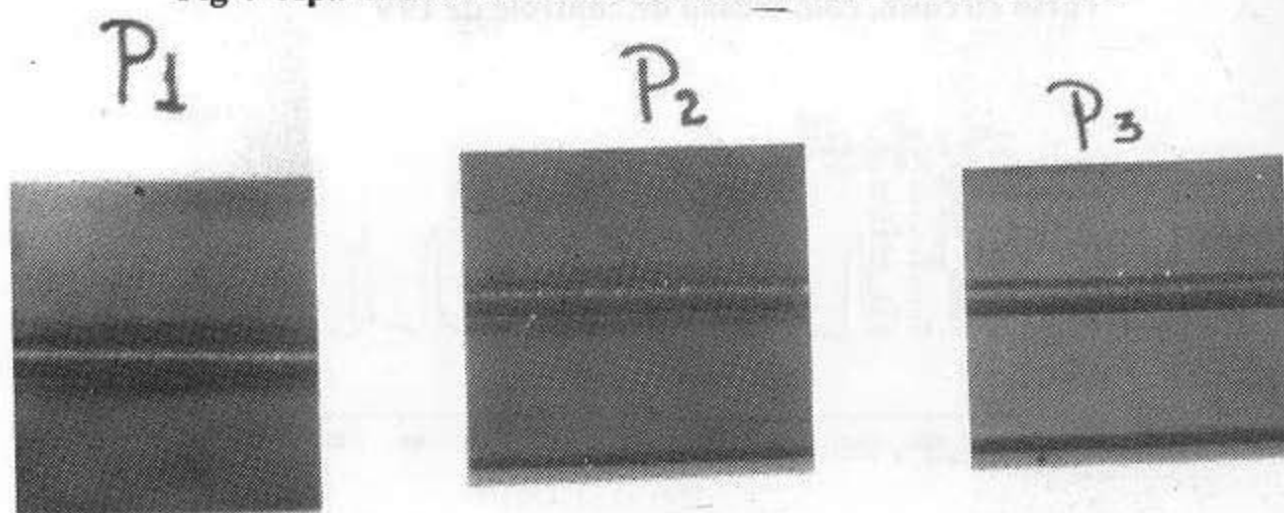


Fig. 5- Aparência visual dos cordões em MIG pulsado