

INFLUÊNCIA DE ALGUNS PARÂMETROS OPERACIONAIS NA INSTABILIDADE DO ARCO NO PROCESSO MIG

Maria Celeste Monteiro de Souza Costa

Prof.^a. Efetiva, MSc., Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Coordenação de Mecânica. Av. Amazonas, 5253, Nova Suíssa, Cep. 30.480-000, Belo Horizonte-MG. E-mail: mcelestemsc@uai.com.br

Paulo José Modenesi

Prof. Adjunto, PhD., Universidade Federal de Minas Gerais, Depto. de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Rua Espírito Santo, 35, Centro, Cep. 30.160-030, Belo Horizonte-MG. E-mail: modenesi@demet.ufmg.br

Cícero Murta Diniz Starling

Prof. Adjunto, Dr., Universidade Federal de Minas Gerais, Depto. de Engenharia de Materiais e Construção. Rua Espírito Santo, 35, Centro, Cep. 30.160-030, Belo Horizonte-MG. E-mail: starling@demc.ufmg.br

Marcus Vinícius Laudares Mendonça

Bolsista de Iniciação Científica, Graduando em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal de Minas Gerais

Resumo. *A soldagem a arco com arame contínuo e proteção gasosa se tornou o mais importante processo de soldagem de metais. Este processo apresenta, entre outras características interessantes, uma relativa facilidade para a sua automação, além de poder apresentar elevada taxa de deposição. Este processo, contudo, quando comparado com a soldagem com eletrodos revestidos, apresenta uma maior sensibilidade às variações de seus parâmetros operacionais e uma maior tendência à ocorrência de problemas de instabilidade. Em particular, fenômenos de instabilidade do arco e na transferência de metal podem ocorrer durante a soldagem, principalmente logo após a abertura do arco, na soldagem MIG com gases com baixo teor de elementos oxidantes. O presente trabalho tem como objetivo apresentar a caracterização destes fenômenos e analisar a influência de alguns parâmetros operacionais na instabilidade do processo. Foram avaliados, entre outros, a composição do gás de proteção e o DBCP (distância bico de contato peça). Os resultados obtidos foram comparados com os de literatura e indicam que, quando o teor de oxigênio ou dióxido de carbono e hélio no gás de proteção é suficientemente baixo, transferência globular repulsiva pode ocorrer em condições em que normalmente se obtém transferência por spray e que esta condição é mais freqüente logo após a abertura do arco. Parâmetros, baseados na análise dos sinais de corrente e tensão do processo e da filmagem do arco para caracterizar a instabilidade são apresentados.*

Palavras-chave: *Processo MIG, Instabilidade do Arco, Física do Arco, Proteção Gasosa.*

1. INTRODUÇÃO

A proteção gasosa no processo MIG tem como objetivo principal prevenir a contaminação da solda por gases como o oxigênio, nitrogênio e hidrogênio provenientes da atmosfera⁽¹⁾. Este processo tende a apresentar uma maior sensibilidade (em comparação com a soldagem com eletrodos revestidos) à variação dos parâmetros operacionais. Em particular, o gás de proteção afeta as propriedades físicas do arco elétrico e do metal líquido, influenciando de forma importante, a transferência de metal, a estabilidade do processo, o aspecto do cordão e as características de fusão do metal de base. Assim, o tipo de gás de proteção usado constitui uma variável determinante para a qualidade da solda e para a produtividade obtida no processo.

O termo “estabilidade” do processo ou do arco deve ser utilizado com cuidado e, sempre que possível, o fator considerado em cada caso deve ser claramente explicitado⁽²⁾. Dutra⁽³⁾ usa o termo “estabilidade” na soldagem para designar genericamente condições de bom ou mau “funcionamento” da operação. Na soldagem com eletrodo consumível, particularmente na soldagem MIG, o comportamento da raiz do arco tem um efeito significativo na estabilidade do processo. Na soldagem de aços em geral, pequenas adições de gases oxidantes em uma proteção inerte proporciona condições mais favoráveis de emissão de elétrons, reduzindo a mobilidade da raiz do arco e, assim, melhorando a estabilidade do processo⁽⁴⁾.

Existem na literatura vários estudos relacionados com a ocorrência de instabilidades no processo MIG. Lucas e Amin⁽⁵⁾ verificaram a ocorrência de alterações no modo de transferência associadas com o nível de desoxidação do arame. Os autores observaram que, com arames com maiores teores de oxigênio, ocorria a explosão de gotas de metal durante a transferência. Entretanto, para menores teores de oxigênio, a transferência predominante era do tipo spray. Esses mesmos autores não relatam nenhuma influência do gás de proteção neste fenômeno.

Agusa *et al.*⁽⁶⁾ estudaram o efeito da adição de cério no arame visando a melhoria da estabilidade do arco na soldagem de aço carbono com proteção por argônio puro. Os autores verificaram a ocorrência de transferência globular repulsiva, com alguns períodos de transferência spray, em condições operacionais em que se esperava somente ocorrência de transferência spray. Kiyohara *et al.*^(7, 8) estudaram, na soldagem MIG de alumínio, o efeito do comprimento do arco em alterações no tamanho da gota e na taxa de fusão do arame. Rodwell⁽⁹⁾ estudou, para aços carbono e inoxidáveis, a ocorrência de perturbações do arco e variações da geometria do cordão de solda no processo MIG operando com transferência spray. Neste estudo, o autor observou mudanças repentinas e violentas no comprimento do arco e na corrente de soldagem as quais foram associadas com a contaminação da superfície do arame e do bico de contato.

Modenesi e Nixon⁽¹⁰⁾ estudaram, na soldagem MIG de aços de baixo carbono, um fenômeno de instabilidade anteriormente não descrito de forma explícita na literatura. Este fenômeno ocorre em condições que conduzem usualmente a uma transferência de metal do tipo spray e depende de vários fatores, tais como o comprimento do arco, composição do gás de proteção, características da fonte de soldagem, além da duração do processo de soldagem. Estes autores realizaram testes com fontes operando nos modos “tensão constante” e “corrente constante”, utilizando diferentes comprimentos de arco e gases de proteção a base de Ar e/ou He com pequenas proporções de gases oxidantes.

Os autores relatam que, para os testes realizados em “tensão constante”, em condições que favoreciam o aparecimento da instabilidade, o processo operava inicialmente de forma instável (caracterizada por uma transferência do tipo globular repulsiva com elevada formação de respingos). Entretanto, algum tempo após o início da soldagem, ocorria uma transição para um comportamento estável (caracterizado por transferência do tipo spray). Fortes flutuações no comprimento do arco e nos níveis de corrente foram observadas durante a transição de operação instável para a estável, resultando em mudanças facilmente perceptíveis em oscilogramas de tensão e corrente do processo (Figura 1).

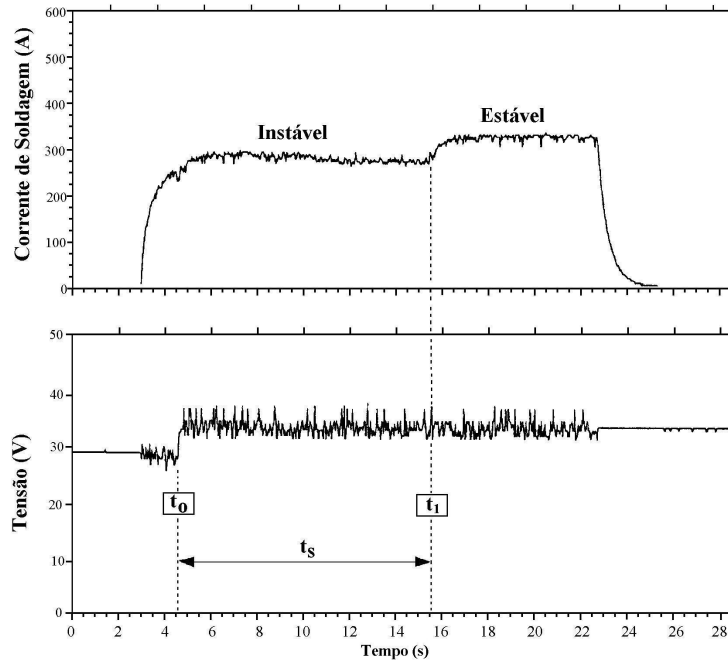


Figura 1. Resultado típico de testes utilizando fonte de tensão constante: t_0 – instante de início do teste, t_1 – transição de modo de operação instável para estável, gás - argônio puro⁽¹⁰⁾

Nos testes realizados com a fonte operando no modo “corrente constante” (Figura 2), também observou-se, para uma mesma distância bico de contato peça (DBCP), a ocorrência de períodos de operação instável e estável, com uma maior ocorrência de períodos instáveis para menores valores de DBCP. Apesar de uma aparente manutenção no comprimento do arco, verificou-se que, para um mesmo DBCP, os períodos instáveis estavam associados com maiores valores de tensão do que os estáveis. Esta tendência foi observada para os diferentes gases de proteção estudados sendo que a presença de períodos de operação instável era maior para menores teores de gases oxidantes.

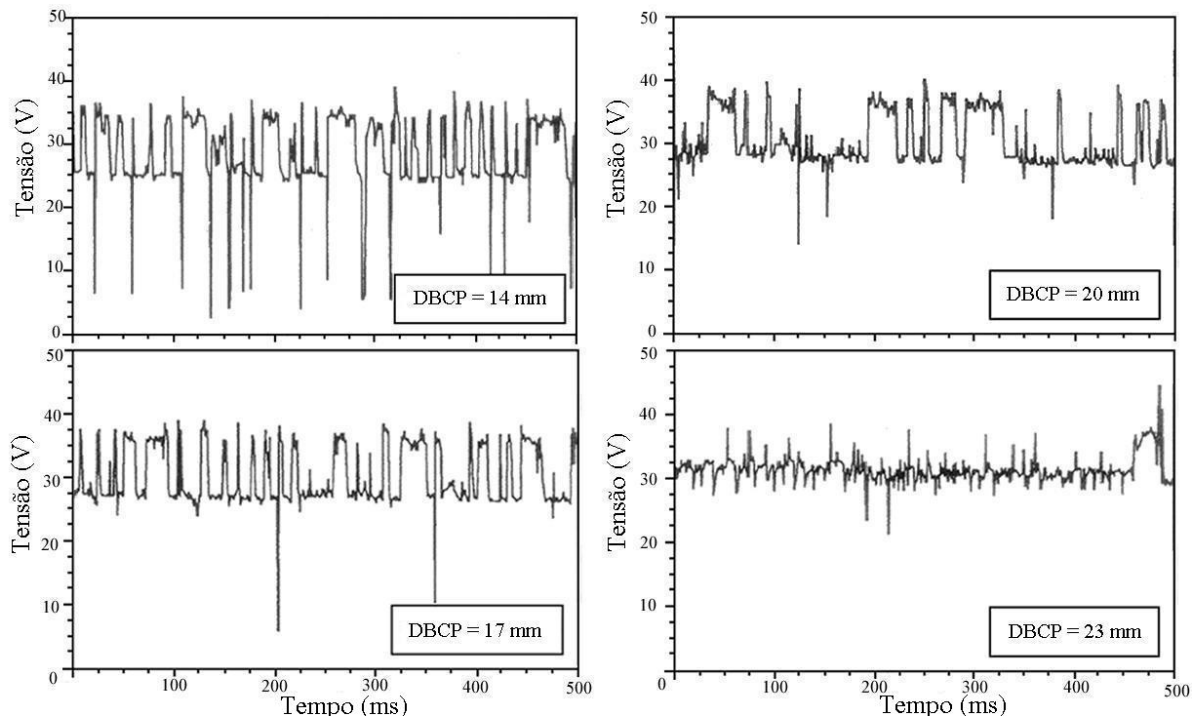


Figura 2. Valores de tensão para diferentes DBCP obtidos nos testes realizados no modo “corrente constante”. Gás - argônio puro, Corrente - 260 A⁽¹⁰⁾.

Modenesi e Nixon⁽¹⁰⁾ propuseram um mecanismo (Figura 3) para explicar a ocorrência da instabilidade observada. Nesta figura, o ponto *C* indica a localização usual da mancha catódica, sendo a distância *r* o seu deslocamento em relação ao eixo do eletrodo/arco. Na soldagem MIG de aço e na maioria dos metais não refratários a emissão de elétrons no cátodo está associada com camadas de óxidos na superfície da peça que são removidas durante a emissão⁽¹¹⁾. Quando o gás de proteção é rico em oxigênio a mancha catódica se localiza na borda da poça de fusão e, neste caso, *r* assumirá o seu valor mínimo (*r_o*). Porém, se o teor de gases oxidantes não for suficientemente alto, a região catódica terá de se expandir para alcançar as áreas da peça ricas em óxidos e, assim, *r* será maior que o valor mínimo. Uma estimativa de *r* pode ser obtida através da área de óxido que deveria ser consumida por unidade de tempo para sustentar a corrente de soldagem.

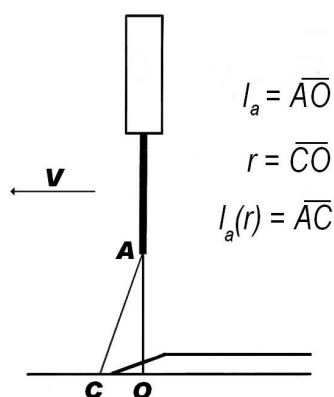


Figura 3. Representação esquemática da região do arco no processo MIG⁽¹⁰⁾

Baseado nos aspectos discutidos acima, tanto $l_a(r)$ e $\phi [\tan^{-1}(r/l_a)]$ deverão aumentar se *r* aumentar. Isso acontecerá se, por exemplo, diminuir o potencial de oxidação do gás de proteção. O modelo também define que ϕ poderá aumentar se o comprimento do arco (l_a) diminuir. Logo para operações com arco muito curto, ϕ poderá se tornar tão grande que seria impossível o arco preservar seu contato com a região catódica, tornando o processo muito instável. Nesta condição, o arco poderia extinguir ou se manter a partir de um mecanismo de emissão de elétrons originários da poça de fusão⁽¹²⁾.

Embora os fenômenos relatados possam ter uma grande importância na estabilidade da soldagem de ligas não ferrosas e de aços ligados, para os quais é comum o uso de gases de proteção sem a adição ou com baixos teores de componentes oxidantes, os resultados desse estudo⁽¹²⁾ não foram confirmados de forma conclusiva por outros autores nem a sua ocorrência em materiais outros que aço carbono foi confirmada. Além disto, a influência de diferentes variáveis do processo de soldagem nesta forma de instabilidade não foi ainda estudada de uma forma mais sistemática. O presente trabalho faz parte de um projeto que pretende analisar estes aspectos. Ele tem como objetivo realizar uma caracterização inicial deste fenômeno em aço carbono e analisar a influência de alguns parâmetros operacionais na instabilidade para este tipo de material.

2. METODOLOGIA

Depositaram-se cordões sobre chapa de aço SAE 1020 (dimensões 10x50x250mm) utilizando o processo MIG com uma fonte de soldagem microprocessada (MTE Digitec/600) e arame AWS E70S6 de 1,2mm. Em alguns testes, utilizou-se um misturador de gases (WITT GASETECHNIK) para a produção de misturas gasosas não comerciais, as quais foram avaliadas com um analisador de gases (MULTI – RANGE 6900).

As soldas foram realizadas com a fonte de soldagem operando nos modos “tensão constante” e “corrente constante”, visando verificar respectivamente, o efeito da instabilidade nos valores de corrente e tensão de soldagem. Nestes testes, a tensão e corrente de soldagem foram registradas

através de um sistema digital de aquisição de dados e processados com um programa de computador (Sinal) desenvolvido no Laboratório de Soldagem e Ensaios Não Destrutivos da UFMG. Para alguns testes também realizou-se a filmagem do arco utilizando-se uma câmera de vídeo CCD (Hitachi KP-M1) acoplada a um microcomputador com placa de captura de vídeo. Partindo-se de condições operacionais descritas na literatura, realizou-se testes preliminares para o ajuste dos parâmetros a serem utilizados nos testes com “tensão constante” e “corrente constante” que resultavam na ocorrência da instabilidade.

Nos testes com “tensão constante” variou-se a composição do gás de proteção (Ar, Ar-0,2%O₂, Ar-0,3%O₂, Ar-1,0%O₂, Ar-0,4%CO₂, Ar-0,8%CO₂ e Ar-20%He), mantendo-se fixos os demais parâmetros operacionais, incluindo as velocidades de alimentação do arame (7,0m/min) e de soldagem (25cm/min), a tensão de soldagem (33V), a distância entre o bico de contato e a peça (22mm) e o diâmetro do bocal de saída de gás da tocha (16mm). De forma a forçar uma operação inicial instável (durante 1 a 2 segundos), estes testes foram iniciados com um menor valor de tensão (25V) antes do ajuste da tensão de teste (33V). Nestes testes, os sinais de tensão e corrente foram registrados durante 30s com uma frequência de aquisição de 100Hz.

Nos testes com “corrente constante” variou-se a composição do gás de proteção (Ar e Ar-1,0%O₂) e a distância entre o bico de contato e a peça (22 a 27mm), mantendo-se fixos os demais parâmetros operacionais, incluindo as velocidades de alimentação do arame (7,8m/min) e de soldagem (25cm/min), a corrente de soldagem (255A) e o diâmetro do bocal de saída de gás da tocha (52mm). Em função de uma alta frequência de alternância de períodos instáveis e estáveis nos testes com “corrente constante”, os sinais de tensão e corrente foram monitorados (durante 3s) com uma maior frequência de aquisição (2000Hz).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra, para dois gases de proteção (Ar puro e Ar-1%O₂), os oscilogramas de corrente de soldagem obtidos nos testes com a fonte operando no modo “tensão constante”. Observa-se até cerca de 2 segundos um menor nível de corrente, resultante do início dos testes com o menor nível de tensão (25V). Após o ajuste da tensão de teste (33V), nota-se, para os dois gases, períodos com menores e maiores níveis de corrente. Os menores níveis são associados com uma operação instável do arco, com ocorrência de muitos respingos, geração de grande quantidade de fumos além do aumento da intensidade de luminosidade do arco. Por outro lado, os maiores níveis de corrente corresponderam a uma operação estável com menor geração de respingos e fumos e menor intensidade de luminosidade do arco. Nota-se também que, na soldagem com Ar puro, períodos de operação instável e estável ocorrem de forma alternada. A Figura 5 mostra alguns quadros típicos das filmagens resultantes dos períodos com níveis menores e maiores de corrente dos testes com proteção por Ar puro e Ar-1%O₂. Verifica-se, para os dois gases, que os períodos de operação instável (com menor corrente) estão associados com um menor comprimento do arco e uma transferência de metal do tipo globular repulsiva. Por outro lado, durante os períodos com maior corrente, observa-se um maior comprimento do arco e transferência do tipo spray. Estes resultados estão consistentes com aqueles relatados por Modenesi e Nixon^(10,12).

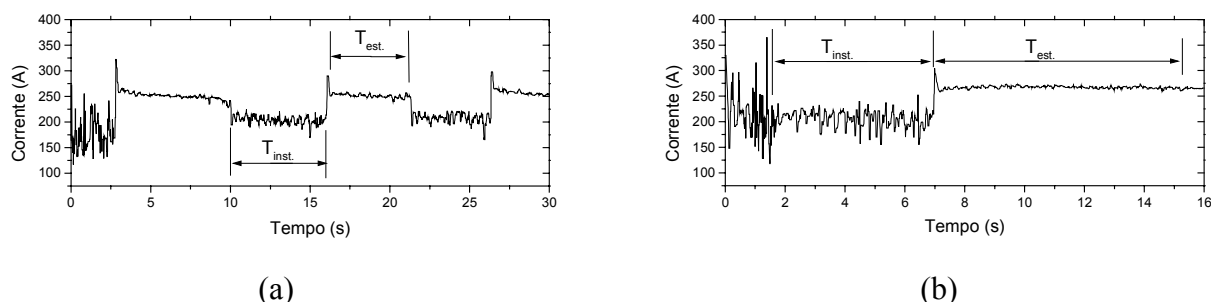


Figura 4. Oscilogramas de corrente obtidos nos testes com “tensão constante”. (a) Proteção por Ar puro. (b) Proteção por Ar-1%O₂. T_{inst.}(Período instável) – T_{est.}(Período estável)

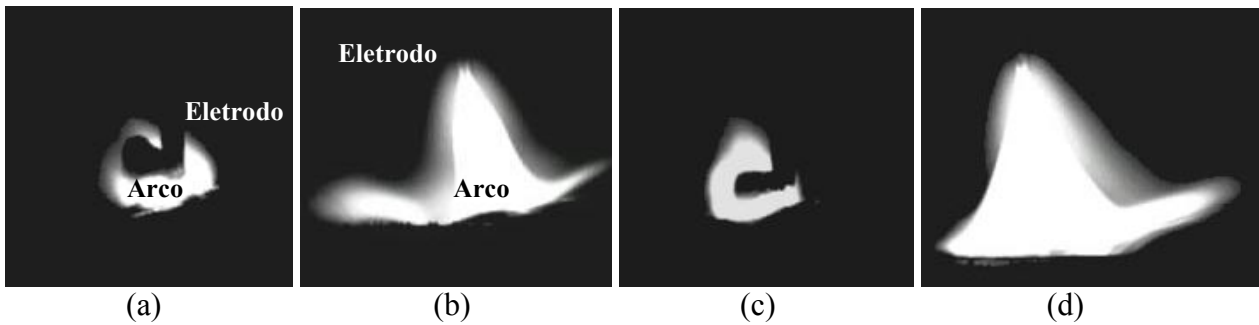


Figura 5. Transferência de metal nos testes com fonte de “tensão constante” durante os períodos de operação instável (a) e estável (b) com proteção de argônio puro e em períodos similares (c) e (d) com proteção por Ar-1%O₂.

A Figura 6 indica, para todos os gases de proteção avaliados nos testes com “tensão constante”, as correntes médias I_{inst} e I_{est} resultantes, respectivamente, dos períodos de operação instável e estável e os valores da diferença entre I_{est} e I_{inst} (ΔI). Realizou-se réplicas para os testes com alguns gases notando-se uma pequena dispersão nos valores resultantes de I_{inst} e I_{est} . De uma forma geral, a adição de O₂ no gás de proteção aumenta tanto o nível de I_{inst} como de I_{est} . Por outro lado, a adição de CO₂ ao gás de proteção não mostrou uma tendência clara neste sentido. Entretanto, nestas condições, a diferença entre os valores de I_{inst} e I_{est} não varia de forma apreciável. Com a adição de He no gás de proteção não se altera significativamente os valores resultantes de I_{inst} e I_{est} em comparação com a proteção de Ar puro.

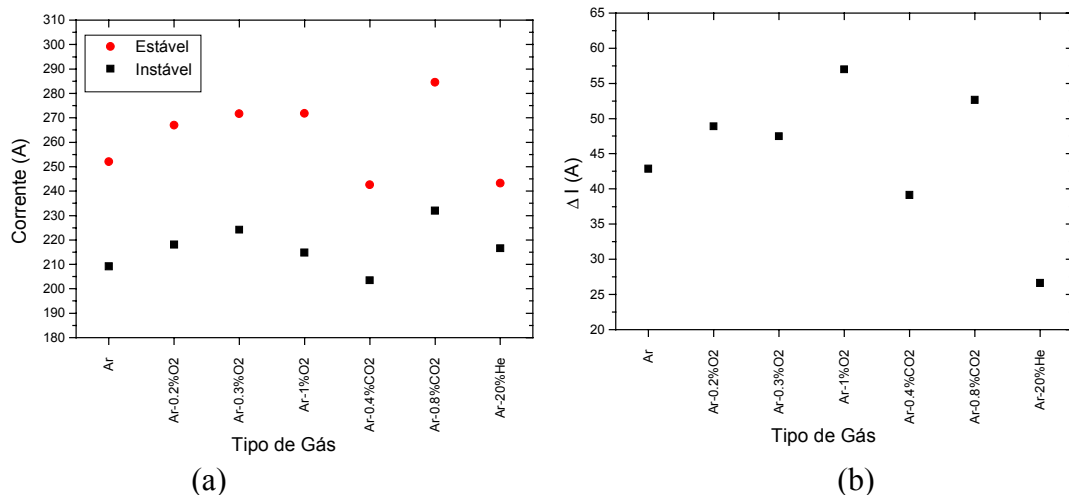


Figura 6. Valores médios da corrente nos períodos instável e estável resultantes dos testes com “tensão constante” com diferentes gases de proteção (a). Valores de ΔI (b).

As Figuras 7 e 8 mostram, para dois gases de proteção (Ar puro e Ar-1%O₂) e diferentes valores da distância bico de contato peça (DBCP, entre 22 a 27mm), os oscilogramas de tensão de soldagem obtidos nos teste com “corrente constante”. De uma forma geral, observa-se, para ambos os gases de proteção, dois níveis de tensões, associados com períodos de operação estável (tensões mais baixas) e instável (tensões mais elevadas). Observa-se que, para menores valores de DBCP (principalmente nos testes com proteção por Ar puro), ocorre uma predominância dos períodos de operação instável. Nestas condições e de forma similar à observada nos testes com “tensão constante”, ocorreu a formação de uma maior quantidade de respingos e fumos além do aumento da intensidade de luminosidade do arco. Para os testes com maiores valores de DBCP, principalmente com a proteção por Ar-1%O₂, a operação era quase que totalmente estável.

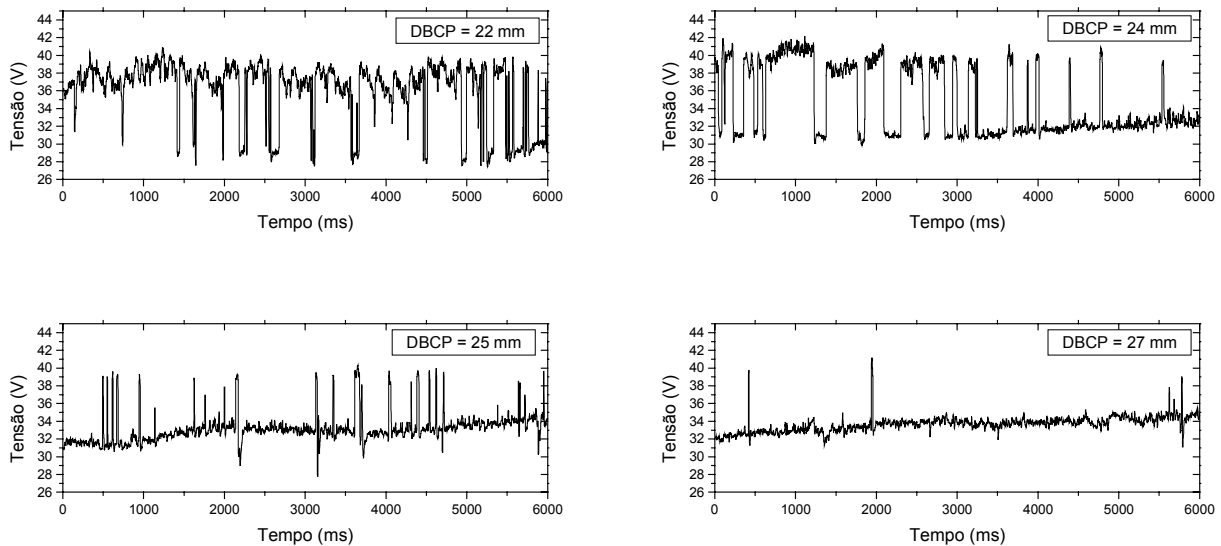


Figura 7. Oscilogramas de tensão obtidos nos testes com “corrente constante”.
Proteção por Ar puro.

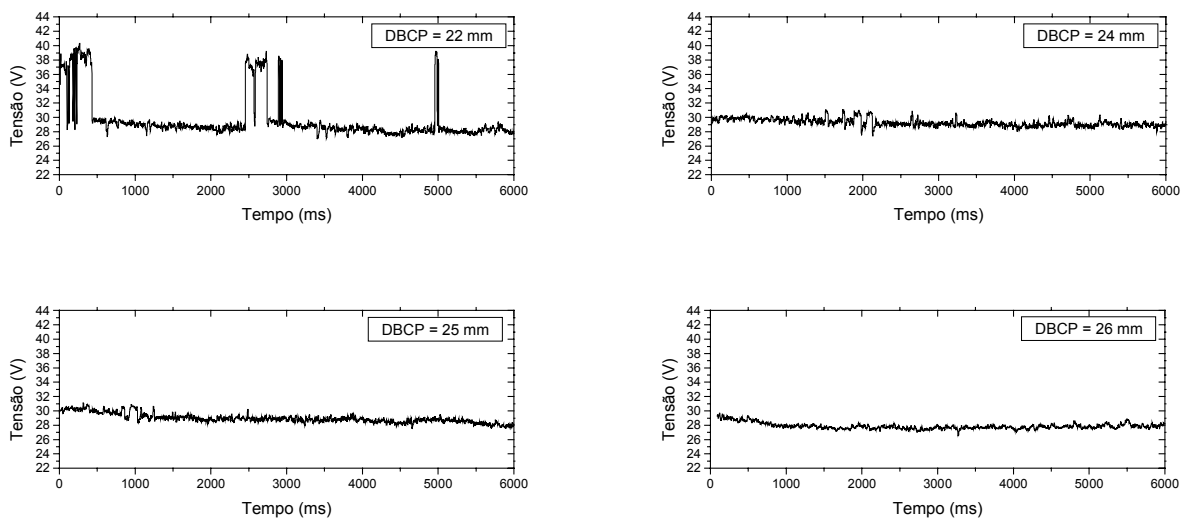


Figura 8. Oscilogramas de tensão obtidos nos testes com “corrente constante”.
Proteção por Ar-1%O₂.

A Figura 9 mostra alguns quadros típicos das filmagens correspondentes às regiões com menores e maiores níveis de tensão para os testes com proteção por Ar puro e Ar-1%O₂, utilizando-se um mesmo valor de DBCP (22mm). Para os dois gases de proteção, nota-se que a transferência metálica é do tipo globular repulsiva no período instável e spray no período estável. Esta tendência também foi observada para os demais valores de DBCP, estando consistente com os resultados obtidos por Modenesi e Nixon^(10,12). Para este tipo de condição operacional, o comprimento do arco não parece mudar de forma significativa, como ocorreu nos testes com tensão constante, entre os períodos de operação estável e instável.

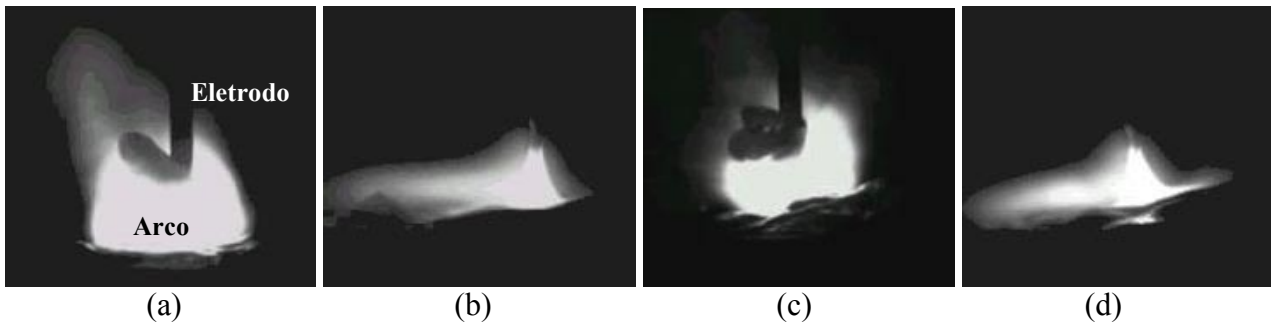


Figura 9. Transferência de metal nos testes com fonte de “corrente constante” (DBCP de 22mm) durante os períodos de operação instável (a) e estável (b) com proteção de argônio puro e em períodos similares (c) e (d) com proteção por Ar-1%O₂.

A Figura 10 indica, para os gases de proteção e valores de DBCP avaliados nos testes com “corrente constante”, as tensões médias U_{inst} e U_{est} resultantes, respectivamente, dos períodos de operação instável e estável. Realizou-se pelo menos uma réplica para cada uma das condições avaliadas notando-se uma pequena dispersão nos valores resultantes de U_{inst} e U_{est} . Para a proteção por Ar puro, nota-se que tanto U_{inst} como U_{est} tendem a aumentar como o DBCP sendo que, após valores intermediários de DBCP (cerca de 25mm), parece se estabilizar. Entretanto, para a proteção por Ar-1%O₂ não se nota um forte efeito de DBCP sobre os valores de U_{inst} e U_{est} .

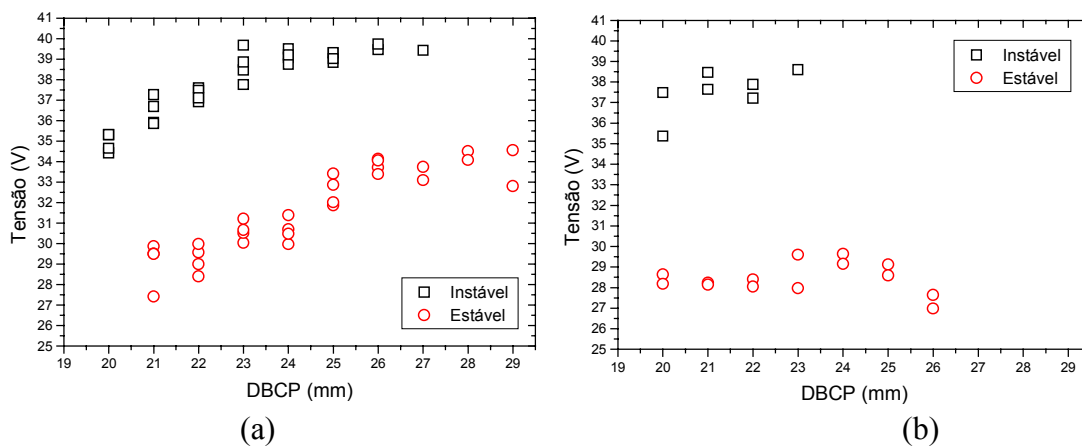


Figura 10. Valores médios das tensões nos períodos instável e estável resultantes dos testes com “corrente constante”. (a) Proteção por Ar puro. (b) Proteção por Ar-1%O₂.

4. CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho confirmam o modelo proposto na literatura que foi desenvolvido para explicar, na soldagem MIG de aço carbono, a ocorrência de fenômenos de instabilidade associados a gases de proteção com um baixo potencial de oxidação e a uma operação com um menor comprimento do arco.

Observou-se que a adição de O₂ no gás de proteção aumenta tanto o nível da corrente associado com operação instável (I_{inst}) como com operação estável (I_{est}). Por outro lado, a adição de CO₂ ao gás de proteção não mostrou uma tendência clara neste sentido.

A adição de He no gás de proteção não altera significativamente os valores resultantes de I_{inst} e I_{est} em comparação com a proteção de Ar puro.

A quantidade de fumos e a intensidade de luminosidade aumenta significativamente durante os períodos de operação instável. Associou-se estes efeitos com a geração de vapor metálico na região catódica do arco durante esta forma de operação.

5. AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pela concessão de bolsa de iniciação científica e a White Martins pelo fornecimento dos gases.

6. REFERÊNCIAS

1. AWS – AMERICAN WELDING SOCIETY, **Gas metal arc welding**. Welding Handbook. 8.ed. Miami:AWS, v.2, p.109-155, 1991.
2. MODENESI, P.J. **Introdução à física do arco elétrico e sua aplicação na soldagem dos metais**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Metalúrgica da UFMG, 141p., 2002. (apostila).
3. DUTRA, J.C. **Análise estatística de estabilidade de arco em soldagem MIG/MAG com transferência por curto-circuito**. In: Encontro Nacional de Tecnológica da Soldagem ABS, 15, 1989, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABS, V.1, p. 327-347, 1989.
4. HILTON, D. E.; NORRISH, J. **Shielding gas for arc welding**. Welding e Metal Fabrication, Cambrige, p. 189-196, may/june. 1988.
5. LUCAS, W; AMIN, M. **Effect of wire composition in spray transfer mild steel MIG welding**. Metal Construction, p.77-83, feb.1975.
6. AGUSA, K. *et al.* **MIG welding with pure argon shielding – arc stabilization by rare earth additions to electrode wires**. Metal Construction, p.570-574, sept.1981.
7. KIYOHARA, M. *et al.* **On the stabilization of GMAW welding of aluminum**. Welding Journal, v.56, n3, p.20-28, march 1977.
8. KIYOHARA, M. *et al.* **Melting characteristics of a wire electrode in the MIG – welding of aluminum**. Arc Physics and Weld Pool Behaviour, The welding Institute, p.165-175, 1979.
9. RODWELL, M.H. **A preliminary investigation into arc disturbances and poor weld appearance in the spray transfer MIG welding of steel**. Weld. Institute Research Report, 1985.
10. MODENESI, P.J.; NIXON, J.H. **Arc instability phenomena in GMA welding**. Welding Journal, v.73, n9, p.219s-224s. sept.1994.
11. GUILLE, A. E. **Electric arcs: their electrode processes and engineering applications**. IEE proceedings, 131(7A), p.450-480. 1982.
12. MODENESI, P.J. **Statistical modelling of the narrow gap gas metal arc welding process**. 1990. 308f. (PhD. Thesis) – Granfield Institute of Technology, School of Industrial Science, England, 1990.

THE EFFECT OF OPERATIONAL PARAMETERS ON MIG WELDING ARC STABILITY

Maria Celeste Monteiro de Souza Costa

Prof^a. Efetiva, MSc., Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Coordenação de Mecânica. Av. Amazonas, 5253, Nova Suíssa, Cep. 30.480-000, Belo Horizonte-MG. E´mail: mcelestemsc@uai.com.br

Paulo José Modenesi

Prof. Adjunto, PhD., Universidade Federal de Minas Gerais, Depto. de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Rua Espírito Santo, 35, Centro, Cep. 30.160-030, Belo Horizonte-MG. E´mail: modenesi@demet.ufmg.br

Cícero Murta Diniz Starling

Prof. Adjunto, Dr., Universidade Federal de Minas Gerais, Depto. de Engenharia de Materiais e Construção. Rua Espírito Santo, 35, Centro, Cep. 30.160-030, Belo Horizonte-MG. E´mail: starling@demc.ufmg.br

Marcus Vinicius Laudaes Mendonça

Bolsista de Iniciação Científica, Graduando em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal de Minas Gerais

***Abstract.** Gas metal arc welding is one of the most important joining method of metals. This process is relatively easy to automate, and can yield high deposition rates. However, when compared to shielded metal arc welding, it presents a high sensitivity to variation of process parameters which makes it more prone to stability problems. For instance, arc and metal transfer problems have been reported to occur in this process particularly after arc initiation when using low oxygen content shielding gases. The present work aims to characterise this phenomenon and analyse the influence of some process parameters (shielding gas composition, and distance contact tip-to-work, DBCP) on it. Repulsive globular metal transfer was observed when oxygen or carbon dioxide content in the shielding gas was nought or very low and a short arc was used. Axial spray transfer was observed when the arc length was increased.*

***Keywords:** MIG welding, arc stability, metal transfer, shielding gas*