

## **Desenvolvimento de um sistema adaptativo de alimentação de arame para o processo TIG**

### **Tiago Vieira da Cunha**

LABSOLDA /UFSC – Laboratório de Soldagem/ Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. De engenharia mecânica – Bloco B, campus universitário Trindade, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.  
E-mail: tvc@labsolda.ufsc.br

### **Jair Carlos Dutra**

LABSOLDA /UFSC – Laboratório de Soldagem/ Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. De engenharia mecânica – Bloco B, campus universitário Trindade, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.  
E-mail: jdutra@labsolda.ufsc.br

### **Régis Henrique G. Silva**

LABSOLDA /UFSC – Laboratório de Soldagem/ Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. De engenharia mecânica – Bloco B, campus universitário Trindade, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.  
E-mail: regis@labsolda.ufsc.br

### **Raul Gohr Junior**

LABSOLDA /UFSC – Laboratório de Soldagem/ Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. De engenharia mecânica – Bloco B, campus universitário Trindade, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.  
E-mail: rgj@labsolda.ufsc.br

**RESUMO.** *No processo TIG alimentado, além da taxa de fusão do material estar condicionada a corrente, a mesma é extremamente dependente do ponto de incidência do arame na região do arco e da poça de fusão, em virtude das diferentes temperaturas encontradas nestas regiões. Este trabalho tem como objetivo minimizar os efeitos ocasionados por essas diferenças de temperaturas, de modo a proporcionar maior operacionalidade do processo. Para tanto, foi desenvolvido um sistema adaptativo de avanço de arame e um dispositivo de alimentação contínua do mesmo para o processo TIG. O objetivo é aliar a qualidade do cordão de solda oferecido pelo processo TIG com a produtividade do processo MIG. Usando o próprio arco como sensor, este sistema cria uma realimentação que torna a velocidade de arame adaptativa, a partir da velocidade de avanço de referência estabelecida pelo operador, proporcionando um maior controle do aporte de material. De modo a verificar a operacionalidade do novo sistema, foram realizadas soldas de união de chapas finas de aço inox com o novo sistema e comparadas com o sistema tradicional. Para comprovar o incremento de produtividade oferecido pelo sistema, foram realizados depósitos utilizando arame e varetas.*

**Palavras-chave:** *Soldagem, produtividade, qualidade, realimentação, sensoriamento.*

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem TIG sempre foi sinônimo de qualidade dentre os processos a arco. No entanto, seu uso na indústria tem como fator limitante a sua relativa baixa produtividade. Em contrapartida tem-se o processo de soldagem MIG, entendido como um processo de alta produtividade, que apesar de atingir patamares de qualidades apreciáveis com equipamentos especiais, ainda deixa a desejar frente a outros processos como o TIG.

Na tentativa de unir qualidade e produtividade, desenvolvimentos são motivados de modo a suprir a demanda nas indústrias, reduzindo custos operacionais e de matéria prima. Uma alternativa consiste em aliar a qualidade conferida pelo processo TIG à adição de material. Assim, espera-se obter cordões de solda de excelente qualidade, normalmente encontrados no TIG, com elevada taxa de deposição de material, proporcionando assim maiores produtividades. Contudo, no processo TIG, além da taxa de fusão do material de adição estar estreitamente relacionada com a corrente, a mesma é extremamente dependente do ponto de incidência do arame na região do arco e da poça metálica, em virtude das diferentes temperaturas encontradas ao longo dessas regiões. Desta forma, a determinação de uma velocidade de alimentação de arame para uma dada corrente não é suficiente para garantir condições ótimas de soldagem.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo descrever o desenvolvimento de um sistema adaptativo de avanço de arame, assim como, verificar a taxa de deposição de material oferecida por este sistema e, confrontar os resultados obtidos com a adição manual, utilizando varetas.

## 3. FUNDAMENTAÇÃO

O processo TIG se destaca como um processo que apresenta excelente qualidade do cordão de solda. Entretanto, quando se faz necessária a adição de material, o processo é deficiente quando comparado a outros processos de soldagem [1].

A forma mais utilizada para adicionar material no processo TIG consiste na utilização de varetas.

Nesta, o material depositado na forma de gotas, formadas a partir da fusão da vareta em “contato” com a coluna de arco, pode ser destacado de duas formas.

Uma forma de permitir o destacamento das gotas, consiste na ação da gravidade. Assim, a extremidade da vareta permanece na coluna de arco até que a gota adquira proporções em que sua força peso prevaleça à tensão superficial, fazendo com que a mesma seja destacada. Nesta condição, a transferência de cada gota não depende da ação do soldador, sendo estabelecida somente pelas variáveis de soldagem. Apesar de viável, esta forma de transferência não é utilizada, pois apresenta uma dinâmica de transferência muito lenta.

De modo a permitir uma maior taxa de deposição de material, o soldador faz uso do efeito da tensão superficial do material de adição. Assim, após a gota ser formada na coluna de arco, o soldador a encosta na poça de fusão, com isso a tensão superficial atua de forma a “puxar” a gota para o banho de metal líquido. Em seguida o soldador retorna a extremidade da vareta para a coluna de arco, onde as temperaturas são maiores, e uma nova gota será formada dando início ao novo ciclo de deposição de material.

Esta se constitui a forma mais difundida de adicionar manualmente material no processo TIG. Contudo, a produtividade torna-se consideravelmente baixa em virtude da capacidade do soldador de repetir este ciclo de destacamento, de forma cadenciada em elevadas velocidades de adição de material, além das constantes paradas para as trocas das varetas ao longo da operação.

Uma alternativa ao uso das varetas consiste no emprego de um tracionador de arame, similar ao utilizado no processo MIG, para adicionar o material na forma de arame a poça de fusão - figura 1.

Este sistema aumenta a dinâmica de adição de material depositado. No entanto, sua operação é crítica devido à estreita faixa de ajuste de operação, pois qualquer desequilíbrio entre a taxa de fusão de arame e a velocidade de avanço do mesmo, ou o não correto alinhamento entre o arame e o arco elétrico, ocasiona o mergulho do arame na poça de fusão ou a sua falta de fusão.

Além de adicionar material com uma dinâmica inerente a habilidade do operador, este sistema torna o custo da soldagem mais baixo, uma vez que o custo do material de adição, na forma de arame, é sensivelmente mais barato em comparação com o material na forma de vareta, além do fato que o aproveitamento do arame é superior a das varetas tendo em vista a inexistência do “toco”.

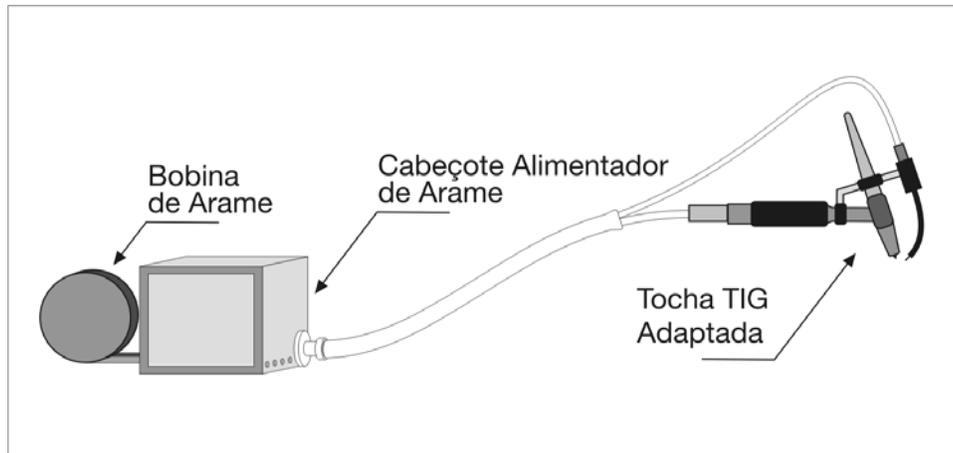


Figura 1 – Sistema de alimentação de arame - Cabeçote tracionador e tocha TIG adaptada

## 4. DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Dispositivo alimentador

No processo TIG com alimentação semi-automática de arame, o mesmo é alimentado por meio de um dispositivo acoplado a tocha de soldagem. Diferentemente da adição de material na forma de varetas, isto impossibilita o direcionamento do arame pelo soldador, já que o suporte é fixo a tocha e uma vez ajustado o ângulo de incidência do arame, o mesmo não pode ser alterado durante o processo.

Com o objetivo de substituir a alimentação de material à poça de fusão na forma de varetas por arame, foi desenvolvido um dispositivo denominado caneta TIG – figura 2. Este dispositivo, em forma de caneta a ser manipulada pelo operador, permite o direcionamento do arame ao ponto onde o mesmo será consumido, além de permitir a alimentação contínua do mesmo. O mesmo é concebido como um dispositivo leve, robusto e de fácil manuseio.

A caneta TIG é conectada ao mesmo cabeçote tracionador de arame empregado na soldagem do processo MIG, não sendo necessária qualquer adaptação. Sua utilização permite a alimentação contínua de material a poça de fusão, eliminando as paradas para troca de varetas, reduzindo os riscos de defeitos dos cordões de solda, ocasionados pela reabertura do arco, e conseqüentemente o consumo de gás. Além de diminuir os desperdícios, já que no caso da soldagem, as sobras das varetas não são aproveitadas.

Outra implicação é quanto a saúde do soldador, já que neste sistema não é necessário o mesmo movimento repetitivo de mão para adicionar a vareta, eliminando os riscos de lesões ocasionadas por esforço repetitivo.

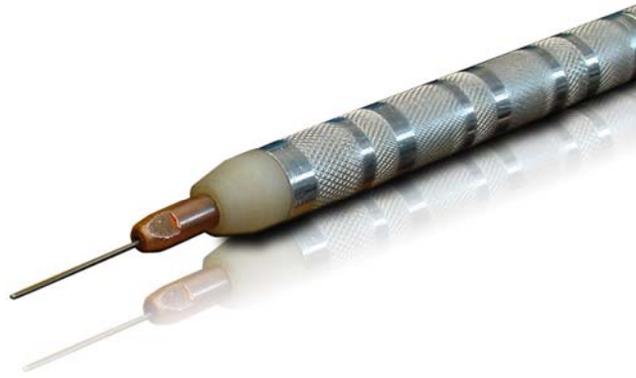


Figura 2 – Dispositivo alimentador de arame – “Caneta TIG”

#### 4.2 Sistema de controle

Foi desenvolvido e implementado numa fonte de soldagem com tecnologia inversora, um sistema que permite o controle adaptativo do avanço de arame no processo TIG alimentado. Tendo apenas a velocidade de avanço de arame como parâmetro de ajuste, quando a soldagem é iniciada o sistema identifica automaticamente, se o arame se encontra dentro ou fora do arco e a partir disso, comanda a velocidade de avanço de arame ajustada (figura 3).

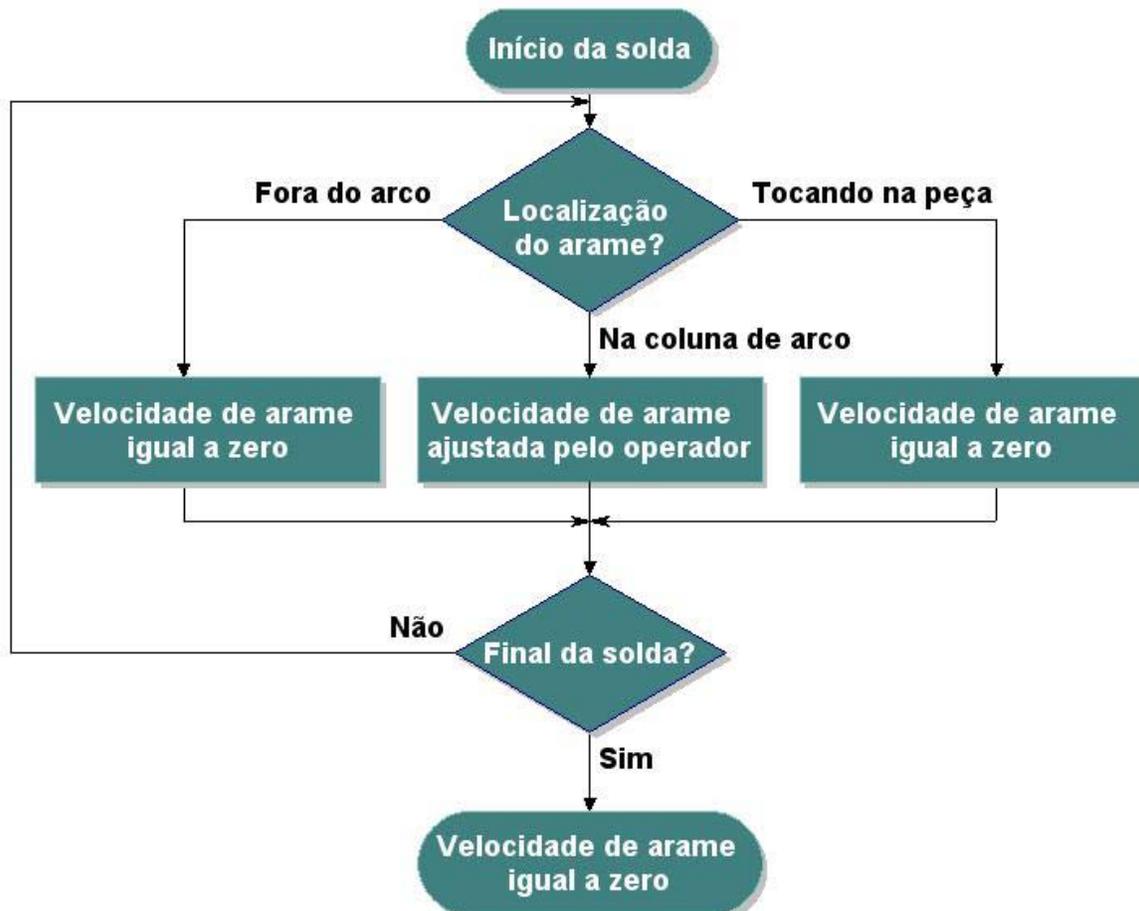


Figura 3 – Algoritmo do sistema de controle do avanço de arame

Quando o sistema de controle identifica que o arame está fora do arco, o mesmo interpreta que o operador não necessita de adição de material neste dado instante e, desta forma a velocidade de avanço de arame é cessada.

A partir do momento que o soldador coloca o arame no arco, o sistema de controle interpreta que o mesmo deseja adicionar material, desta forma o arame assume a velocidade ajustada pelo operador no painel do equipamento. No entanto, se a velocidade ajustada pelo operador não estiver de acordo com a taxa de fusão do arco, e o mesmo não possuir capacidade suficiente para fundir o arame, acarretando assim no toque do mesmo a peça de trabalho, o sistema de controle entenderá que existe alimentação de arame demasiada e fará a velocidade de arame igual à zero. Assim, o sistema de controle atua de modo a evitar que a extremidade do arame mergulhe na poça de fusão, fazendo com que a mesma permaneça submetida às elevadas temperaturas da coluna de arco, proporcionando um maior calor gerado e conseqüentemente uma maior taxa de fusão.

Desta forma, a realimentação do sistema de controle adaptativo permite uma menor sensibilidade do operador ao ajustar a velocidade de avanço de arame para uma dada taxa de fusão do arco.

## **5. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL**

### **5.1 Materiais e métodos**

Os ensaios foram conduzidos utilizando uma fonte de soldagem inversora, com capacidade máxima de corrente de 160A, equipada com o sistema de avanço adaptativo de arame. A medição do comprimento de arame depositado, foi realizada utilizando um medidor de velocidade de arame (MVA-2), no qual, dentre as suas funções, permite a medição de metragem cumulativa.

Com o intuito de verificar o funcionamento do sistema de controle, foram realizadas soldas de união de chapas finas de aço inox (ER 309), com 1,2 mm de espessura, e comparados o aspecto visual dos cordões realizados manualmente com varetas e com o sistema de controle. Nestes ensaios foram utilizados como metal de adição, varetas (ER 309L) de 1,6 mm de diâmetro, arame (ER 309L) de 1,2 mm de diâmetro, argônio como gás de proteção (8 l/min) e corrente de soldagem igual a 46A.

Com o objetivo de confrontar a produtividade oferecida pelo sistema de controle e a adição com varetas, depósitos sobre chapas de aço carbono (4 mm de espessura) foram realizados durante um período de 2 minutos. Nestes, foram utilizando como metal de adição varetas e arame, ambos ER70S-6 de 1,6 mm de diâmetro e argônio como gás de proteção (8 l/min).

Em virtude da fonte de soldagem fornecer 110A/100%, adotou-se como esta a corrente de soldagem nestes ensaios. Assim, numa eventual aplicação, a produtividade desenvolvida não estaria atrelada à capacidade do equipamento, mas do processo em questão.

### **5.2 Resultados e discussão**

Inicialmente foram realizadas soldas de união utilizando varetas como metal de adição, na qual se obteve cordões conforme mostrado na figura 4.

Utilizando os mesmos parâmetros, foram realizadas soldas dispondo do uso da caneta TIG e do sistema de controle adaptativo de avanço de arame. A figura 5 mostra os cordões realizados neste ensaio.



Figura 4 – Cordões realizados com adição de material na forma de varetas



Figura 5 – Cordões realizados com adição de material na forma de arame

Analisando as figuras 4 e 5, percebe-se que não há diferenças significativas, quanto ao aspecto visual, entre os cordões realizados com o sistema de controle e com os realizados com adição na forma de varetas, mostrando que o sistema de controle consiste numa forma de adição de material viável.

Nos ensaios conduzidos com o intuito de confrontar a produtividade oferecida pelo sistema de controle e pela adição manual de varetas, se estabeleceu um critério de molhabilidade, no qual o reforço do cordão apresentasse um ângulo igual, ou superior, a  $90^\circ$ , conforme mostra a figura 6. Dentre os cordões realizados, aqueles que não atenderam a molhabilidade estabelecida, foram rejeitados.

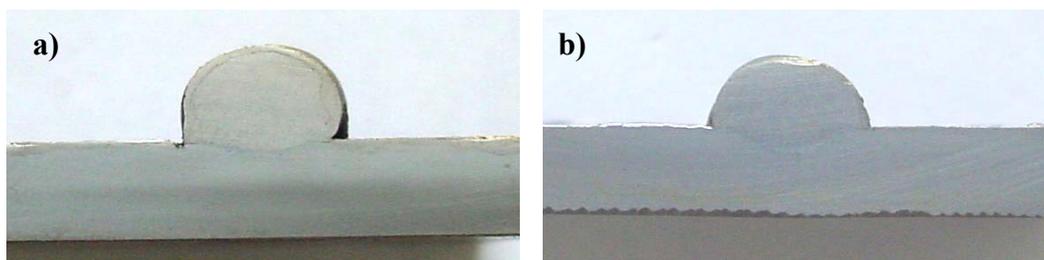


Figura 6 – Perfil dos cordões depositados.

a) falta de molhabilidade – cordão rejeitado, b) molhabilidade aceitável – cordão aceito

Para cada material de adição, dentre os cordões que apresentaram molhabilidade aceitável, selecionaram-se os três que apresentaram maior deposição. A tabela 1 mostra o comprimento de material depositado em cada cordão.

Tabela 1 – Quantidade de material depositado em cada cordão

| Cordão | Vareta depositada (m) | Arame depositado (m) |
|--------|-----------------------|----------------------|
| 1      | 0,84                  | 1,20                 |
| 2      | 0,83                  | 1,10                 |
| 3      | 0,76                  | 1,07                 |
| Média  | 0,81                  | 1,12                 |

Com o intuito de determinar a taxa de deposição de material em cada processo, primeiramente calculou-se o volume de uma vareta,  $V = 2,01 \times 10^{-6} m^3 \cdot m^{-1}$ , (equação 1). Onde  $r^2$  é o raio e L o comprimento da vareta.

$$V = \pi * r^2 * L \quad (1)$$

Uma vez calculado o volume contido num metro de material e com a densidade volumétrica do aço  $D_m$ , determinou-se a densidade linear da vareta ( $D_L = 0,015 kg \cdot m^{-1}$ ) (equação 2).

$$D_L = D_m * V \quad (2)$$

Considerando que as varetas e o arame utilizados possuem o mesmo diâmetro e são constituídos do mesmo material (ER 70S-6), estes resultados se aplicam também ao arame.

Através dos valores médios da quantidade de material depositada (L) e da densidade linear do material utilizado ( $D_l$ ), calculou-se a taxa de deposição média ( $TX_D$ ) do material durante o período (t) em que o cordão foi realizado (equação 3).

$$TX_D = \frac{D_l * L}{t} \quad (3)$$

Para os depósitos realizados com varetas, obteve-se uma taxa de deposição de material de  $0,364 kg \cdot h^{-1}$  ou  $40,5 cm \cdot min^{-1}$ , enquanto que para o arame obteve-se  $0,504 kg \cdot h^{-1}$  ou  $56 cm \cdot min^{-1}$ . Isto representa um aumento de produtividade de 38,46% com o emprego do sistema de controle de avanço de arame adaptativo em relação ao uso de varetas.

É importante salientar que mesmo depositando em torno de 38% a mais, os depósitos obtidos com o sistema de controle, resultaram em cordões com aspecto visual compatíveis com os cordões realizados com varetas (figura 7), confirmando o resultado encontrado nos ensaios de união de chapas finas.

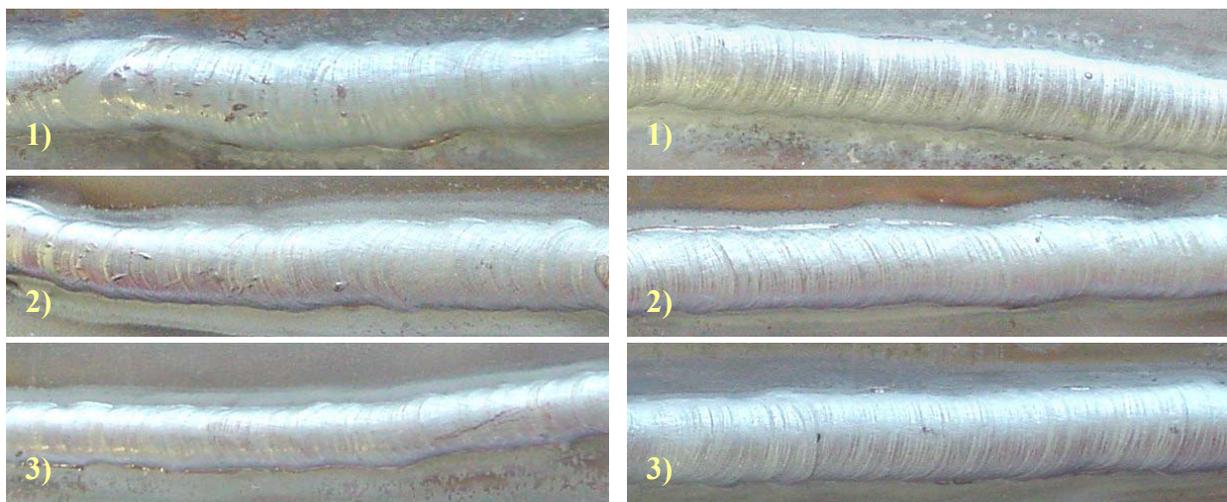


Figura 7 – Cordões depositados - (esquerda) com varetas, (direita) com arame

Estes resultados foram obtidos sem considerar o tempo de parada para a troca de varetas. Assim, acredita-se que o ganho de produtividade, atribuído ao sistema de controle, não é apenas em

virtude da alimentação contínua do arame, mas também em função da dinâmica de adição de material imposta pelo sistema. Pois, ao cessar o avanço do arame no instante que o mesmo toca a peça de fusão, permite-se uma maior exposição do arame à coluna de arco, onde as temperaturas são extremamente elevadas, corroborando num maior calor transferido ao arame.

Evidentemente, se o soldador apresentasse condições físicas de adicionar a vareta com a mesma dinâmica de resposta do sistema de controle, ou seja, adicionar material promovendo o destacamento das gotas numa frequência elevada sem mergulhar o arame na poça de fusão, o mesmo atingiria os mesmos patamares de velocidade de deposição. Contudo, ainda existiria a questão de fadiga do soldador.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas soldas de união de chapas finas de aço inox, mostraram que o sistema de controle, operando juntamente com o dispositivo alimentador, pode se constituir numa solução viável para a indústria, produzindo cordões de solda com aspecto visual comparada as soldas realizadas com varetas.

Nos ensaios realizados com o intuito de verificar a produtividade oferecida pelo sistema de controle, observou-se que o mesmo é capaz de depositar cerca de 38% a mais de material, comparado com a adição na forma de varetas, sem considerar o tempo de parada para as trocas das mesmas. Isto pode ser explicado, dado ao fato da temperatura na coluna de arco ser consideravelmente maior do que a temperatura da poça de fusão. Assim, cessar a velocidade de avanço quando o arame toca a peça, resulta na manutenção do arame na coluna de arco, onde o calor, responsável pela fusão do mesmo, é maior. Em consequência, têm-se maiores taxas de deposição.

Em vista dos resultados obtidos, acredita-se que o sistema adaptativo de avanço de arame pode se constituir numa solução adequada em soldas de passe de raiz.

## 7 REFERENCIAS

1. DELGADO, L. C. **Estudo e desenvolvimento do processo TIG com alimentação automática de arame.** 2000. 180 f. Dissertação (Mestrado em Eng. mecânica) - Faculdade de engenharia mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
2. LAMBERT, J. A. and GILSTON P. F. et al. Hot-wire GTAW for nuclear repairs. **Welding journal**, p. 45-52, set. 1990.
3. RICHARDSON, M. et al. Semiautomatic cold wire feeder systems increase GTA productivity. **Welding Journal**, p. 51-54, jan. 1995.

## **Development of an Adaptive Wire Feed System for the TIG Welding Process**

### **Tiago Vieira da Cunha**

LABSOLDA / UFSC – Welding Laboratory of the Federal University of Santa Catarina. Mechanical Engineering Department – Bloco B - Campus Universitário Trindade, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: [tvc@labsolda.ufsc.br](mailto:tvc@labsolda.ufsc.br)

### **Jair Carlos Dutra**

LABSOLDA / UFSC – Welding Laboratory of the Federal University of Santa Catarina. Mechanical Engineering Department – Bloco B - Campus Universitário Trindade, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: [jdutra@labsolda.ufsc.br](mailto:jdutra@labsolda.ufsc.br)

### **Régis Henrique G. Silva**

LABSOLDA / UFSC – Welding Laboratory of the Federal University of Santa Catarina. Mechanical Engineering Department – Bloco B - Campus Universitário Trindade, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: [regis@labsolda.ufsc.br](mailto:regis@labsolda.ufsc.br)

### **Raul Gohr Junior**

LABSOLDA / UFSC – Welding Laboratory of the Federal University of Santa Catarina. Mechanical Engineering Department – Bloco B - Campus Universitário Trindade, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: [rgj@labsolda.ufsc.br](mailto:rgj@labsolda.ufsc.br)

**Abstract.** The arising problem regarding automatic wire feed in the TIG process lies on the narrow adjustment range between wire feed speed for a specific melting rate and welding speed. This work has as goal the development of an adaptive wire feed system and a device for continuous wire feed in the TIG process. The global objective is combine TIG's quality and MIG's productivity. Using the arc itself as a sensor this system creates a feedback loop making the wire speed adaptive from a operator established reference speed, providing better control of material input. In order to address the serviceability of the new system, stainless steel sheet welds were performed manually, compared with traditional rod feeding. Also, satisfactory deposits were carried out using continuous wire and rods, in order to validate the increase in productivity accomplished by the adaptive continuous wire feed system.

Keywords: welding, productivity, quality, feedback, sensing