

Influência da composição do revestimento na estabilidade de eletrodos básicos*

** Jesualdo Pereira Farias
*** Américo Scotti

Utilizando uma fórmula de Pokhodnya para expressar a estabilidade de arcos, procurou-se verificar a influência do teor de CaCO_3 , CaF_2 e Pó de ferro sobre a estabilidade de eletrodos revestidos básicos experimentais. Os índices da expressão foram medidos através das imagens osciloscópicas gravadas, tomadas durante as soldagens. Verificou-se que o CaF_2 exerce um forte efeito detrimental, enquanto o CaCO_3 e o Pó de ferro aparentam, em menor escala, melhorar a estabilidade. A comparação dos eletrodos experimentais com um eletrodo comercial mostrou ser imprescindível a adição de elementos estabilizadores para minimizar o efeito do CaF_2 .

1. INTRODUÇÃO

A estabilidade do arco é uma característica de suma importância nos processos de soldagem a arco voltaico, dentre eles a soldagem manual com eletrodos revestidos. É sabido

* Trabalho apresentado no I Congresso Ibero Americano de Soldagem. Rio de Janeiro, outubro de 1985.

** Engenheiro Mecânico, M. Sc, professor do Depto. de Engenharia Mecânica da UNIFOR e pesquisador do NUTEC - CE.

*** Engenheiro Mecânico M. Sc., professor do Depto. de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia.

que muitos defeitos em soldagem, como porosidade, trinca de hidrogênio, mordedura e falta de fusão, são ocasionados devido a instabilidade do arco. Também é conhecido que as causas da instabilidade podem ser tanto de origem operacional, p. ex. manuseio impróprio ou sopro magnético, como de origem intrínseca ao eletrodo.

Para se estudar as causas e fatores que governam o fenômeno da instabilidade de um arco, procurou-se em um recente trabalho⁽¹⁾ desenvolver um modelo que pudesse explicar como a composição química do revestimento influi sobre o comportamento dinâmico da corrente e tensão durante a operação de um arco. O modelo proposto que se se-

que, baseado na análise de oscilogramas de arcos de eletrodos celulósico, rútflico e básico, se fundamenta em observações de outros autores.

"Em soldagens com polaridade direta, devido ao efeito termoiônico forma-se uma barreira de elétrons junto ao metal de base, que dificulta a passagem de corrente. Esta barreira pode ser anulada pelo uso de revestimentos que produzam escórias com facilidade para emitir ions positivos pelo efeito do calor. Se o revestimento ainda possuir compostos com elementos de grande eletronegatividade, como os fluoretos, haverá a formação de uma outra barreira, esta junto ao eletrodo negativo. Esta barreira, que também dificulta a passagem de elétrons, é formada pelos ânions que, devido sua massa e constante emissão junto ao eletrodo, têm dificuldade para se dirigir ao ânodo.

Quando a soldagem é feita em polaridade inversa, a barreira de ions negativos junto ao eletrodo, ou a barreira de elétrons junto ao metal de base, inexistem devido a atração destas cargas pelo polo oposto.

Já em corrente alternada, é necessário uma tensão de reignição do arco após as transições de polaridade. Esta tensão, maior que a tensão nominal de soldagem, é causada pelo momentâneo apagamento do arco e intensificada pela formação de camadas de elétrons termoiônicos junto ao polo positivo. Sua inexistência é possível quando a escória emite ions positivos de baixo potencial de ionização e em quantidade suficiente para anular a barreira de elétrons. Entretanto, se houver a emissão também de ions negativos, haverá a formação de uma barreira de ânions junto ao cátodo durante o ciclo negativo, e sempre que a polaridade inverter de negativa para positiva produzirá um pico de reignição, devido a facilidade de desionização pela combinação destes ânions com os cátions livres. Quando da inversão de positivo para negativo, o pico quase desaparece, devido a dificuldade dos ânions se recombinarem, já que os mesmos estarão sendo atraídos pelo eletrodo antes da extinção do arco."

Em outra publicação⁽²⁾ tentou-se mostrar a dificuldade de se definir estabilidade de arco, e em particular, a dificuldade maior em estabelecer um padrão de comparação. Após analisar vários aspectos como nível de ruído, salpicagem, tensão e aparência do arco, concluiu-se que a forma mais segura, apesar de mais complexa, é avaliar a estabilidade de um arco pela sua característica dinâmica em corrente alternada.

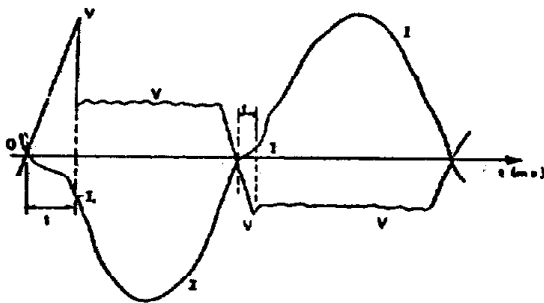


FIGURA 1 - Modelo típico de características dinâmicas de arcos de eletrodos revestidos.

Esta avaliação é reforçada pela utilização de uma fórmula proposta por Pokhodnya et al⁽³⁾, que permite expressar numericamente a estabilidade de um arco e, desta forma, fa-

zer comparações. De acordo com esses autores, a estabilidade do arco é definida pela velocidade média do aumento da condutividade elétrica na coluna do arco durante o período de reignição, que acontece quando da transição de polaridade em corrente alternada. A equação [1] é o resultado final do desenvolvimento da expressão e pode ser mais facilmente entendida observando a figura 1.

$$B = \frac{I_1 \cdot 2 \pi f}{V_1 \left[\arcsin \left(\frac{V_1}{V_0 \sqrt{2}} \right) - \phi \right]} \quad [1]$$

onde:

B = Índice de estabilidade do arco em C.A. ($\Omega^{-1} s^{-1}$)

I_1 = Intensidade da corrente no momento de reignição (A)

V_1 = Tensão do arco no momento da reignição (V)

V_0 = Tensão em vazio da fonte (V)

ϕ = Ângulo de fase entre a corrente e tensão em vazio ($\phi = 0$ para circuito sem indutância)

f = Frequência da rede (Hz).

A tensão de reignição (V_1) e a intensidade de corrente (I_1) dependem fundamentalmente do meio ionizante. Entretanto, pode-se perceber que três fatores externos influem sobre a estabilidade do arco, ou seja, a frequência da rede, a tensão em vazio da fonte e a indutância do circuito. Estes fatores, juntamente com V_1 , determinarão o tempo necessário para a reignição (t_1). A importância e significado de cada um dos parâmetros estão melhor detalhados na referência 2 e no trabalho original⁽³⁾.

Os eletrodos revestidos de baixo hidrogênio, devido suas características, merecem uma atenção muito grande por parte de fabricantes e usuários, apesar de pouco se divulgar sobre os fatores que influenciam na estabilidade de seus arcos. Sabe-se que existem inúmeras variáveis que podem influir no comportamento de um eletrodo, dentre elas, a compactação, granulometria, pureza da matéria prima, fator de revestimento, etc. Porém, é de se esperar que o fator predominante seja a sua constituição, isto é, sua composição química.

Os eletrodos básicos comerciais são constituídos de 20 - 35% de $CaCO_3$, 20 - 30% de CaF_2 , rutilo, silicatos, pó de ferro e outros elementos estabilizadores de arco, desoxidantes, etc⁽⁴⁾. Atribui-se ao $CaCO_3$ as funções de proteção gasosa, desoxidante, formador e controlador de escórias e estabilizador do arco. Já o CaF_2 tem as funções de proteção gasosa, desoxidante e controlador da viscosidade da escória. Também são conhecidas algumas características destas componentes sobre a estabilidade do arco; como visto no início, o flúor tem um efeito deteriorante, por aumentar a tensão de reignição (V_1) no ciclo positivo. Por outro lado, a calcita e pó de ferro têm sido referenciados como estabilizadores de arco⁽⁴⁾. Entretanto não se tem uma idéia clara da influência destes compostos conjuntamente, em variadas percentagens.

Este trabalho objetiva através da utilização do índice de estabilidade de Pokhodnya (B), estudar a influência dos principais compostos de um revestimento básico da classe AWS E - 7018. Para isto foram fabricados alguns eletrodos experimentais, onde se variou criteriosamente o teor de $CaCO_3$, CaF_2 e pó de ferro. Procurou-se utilizar poucos elementos conhecidos estabilizadores de arco para que eles não mascarassem os efeitos deletérios dos demais. O modelo proposto na referência 1 será utilizado como suporte para as análises dos resultados.

TABELA I – Constituição e Característica dos Eletrodos Experimentais.

COMPOSIÇÃO ELETRODO	CaCO ₃	CaF ₂	Pó de Ferro	Feldspato	Quartzo	Celulose	Mn Metálico	Fe-Si	Silicato de Na e K
VR 046/VR 047	20	30	32	2	5	2	5	4	170ml/Kg
VR 018	25	25	32	2	5	2	5	4	170ml/Kg
VR 019	30	20	32	2	5	2	5	4	170ml/Kg
VR 058	30	30	22	2	5	2	5	4	170ml/Kg
VR 059	40	30	12	2	5	2	5	4	170ml/Kg

Diâmetro nominal = 4,00mm
Comprimento = 450mm
Fator de revestimento = 1,7

* A densidade do pó de ferro usado no VR 046/VR 018 e VR 019 é de 3,45 g/cm³, enquanto a do usado no VR 047/VR 058 e VR 059 é de 2,6 g/cm³.

TABELA II – Parâmetros Medidos e Índice de Estabilidade Calculado.

ELETRODO	V ₁ ⁺	I ₁ ⁺	V ₁ ⁻	I ₁ ⁻	B ⁺	B ⁻
E 7018	46	30	14	43	1969	19936
VR 046	63	28	24	38	897	10060
VR 018	59	28	23	40	936	10830
VR 019	56	31	23	40	1149	11974
VR 058	57	24	22	40	852	9878
VR 059	59	20	24	38	678	9392
VR 047	60	30	19	38	987	11981

2. LEVANTAMENTO EXPERIMENTAL

A tabela I mostra a constituição e características dos revestimentos dos eletrodos experimentais, que têm alma de aço comum ao carbono normalmente empregada para confecção de eletrodos revestidos. Para diminuir interferências externas, a soldagem foi feita em um equipamento automático já descrito em outras publicações^(1,2). A única diferença no método de registro dos dados foi que além de fotografar as imagens das características dinâmicas (V x t e I x t) no osciloscópio, estas imagens foram também filmadas por um sistema de vídeo-cassete.

A projeção do vídeo-tape em quadros, possibilitou medir os parâmetros necessários para o cálculo do índice de estabilidade (B) em aproximadamente 200 ciclos. Como verificado por Pokhodnya et al⁽³⁾ e confirmado por estas medições, os valores destes parâmetros não são constantes para cada ciclo, mas seguem uma distribuição gaussiana. Desta forma, só medindo um grande número de ciclos é que se poderia tirar uma média segura.

Foram soldados três eletrodos de cada tipo por simples deposição na posição plana, em chapas de aço ABNT 1020 (250 x 50 x 6,4mm). O comprimento do arco foi mantido alto (4mm) para evitar que freqüentes curto-circuitos mascarassem os resultados. Como este procedimento foi medido por um sistema de projeção, considerou-se como comprimento do arco a distância da ponta do revestimento até a superfície da chapa, não se contabilizando o efeito canhão na ponta do eletrodo. Usou-se 12 cm/min como velocidade

de soldagem enquanto a intensidade de corrente foi mantida em 160 A.

Na tabela II tem-se os resultados das médias encontradas para cada parâmetro, assim como o cálculo do índice B, tanto para o ciclo negativo como para o ciclo positivo. Para possibilitar comparações, também consta nesta tabela os resultados obtidos com um eletrodo classe AWS E - 7018, comercial, nas mesmas condições de testes.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. – Influência do CaCO₃ e CaF₂

Para se fazer esta análise, utilizou-se os dados para os eletrodos VR/046, VR/018 e VR/019, que tinham composições idênticas, exceto variação do CaCO₃ e CaF₂, da seguinte forma:

	VR/046	VR/018	VR/019
CaCO ₃	20	25	30
CaF ₂	30	25	20

A figura 2 ilustra a variação do índice de estabilidade com o aumento do teor de CaCO₃ (e queda do teor de CaF₂). Como pode-se ver, quanto menos CaF₂ e mais CaCO₃, maior o índice de estabilidade, tanto no ciclo positivo como no ciclo negativo. Esta característica é facilmente visualizada pelas figuras 3, 4 e 5, que são características dinâmicas típicas destes eletrodos.

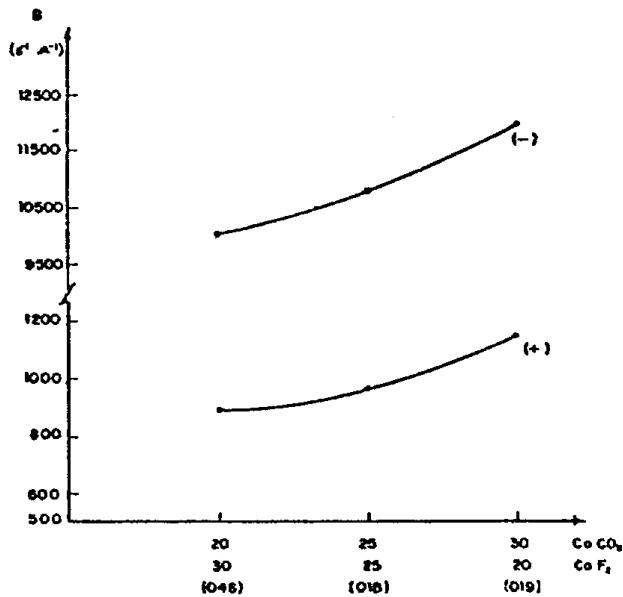


FIGURA 2 – Efeito do CaF_2 e CaCO_3 na estabilidade do arco.

Obs.: As escalas referentes às figuras 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10 são: corrente: 100A/divisão; tensão: 20V/divisão; tempo: 2ms/divisão.

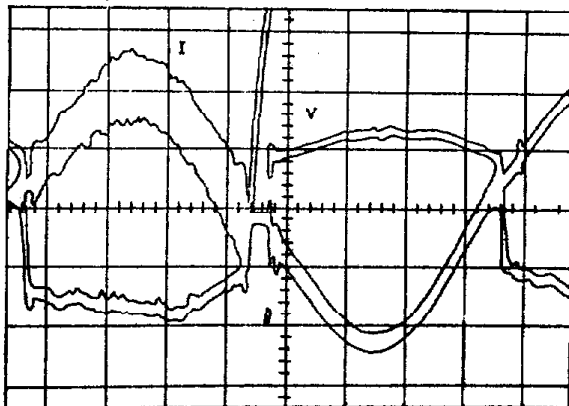


FIGURA 3 – Característica dinâmica típica do eletrodo VR 046.

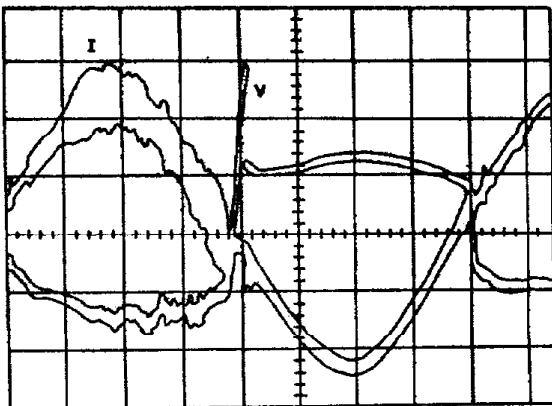


FIGURA 4 – Característica dinâmica típica do eletrodo VR 018.

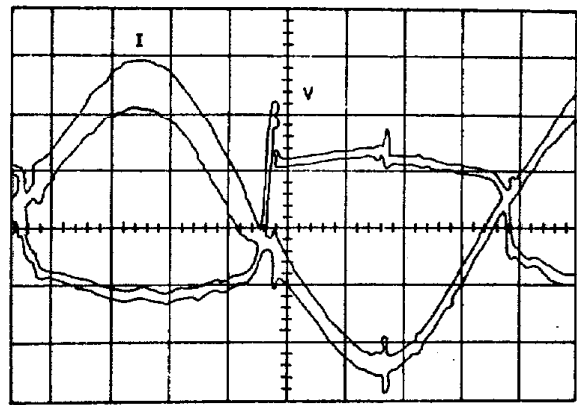


FIGURA 5 – Característica dinâmica típica do eletrodo VR 019.

A fluorita, devido a ação dos ânions de fluor como barreira para eletrodos, tem seu comportamento caracterizado como desestabilizador de arco. Justifica-se então, os crescentes picos de reignição (V_1) na proporção do aumento do CaF_2 .

O efeito do CaCO_3 se caracteriza por sua decomposição, e como visto, é considerado estabilizador de arco. Entretanto, apesar do Ca ser um elemento de baixo potencial de ionização, o CO_2 (ou CO) além de não ser de tão baixo potencial de ionização, é um gás de alta condutibilidade térmica. É conhecido⁽⁵⁾ que o transporte de calor de uma coluna de plasma para o meio ambiente é por radiação, convecção e condução, sendo este último muito importante. Um gás que transfere facilmente o calor, tem a tendência de se resfriar mais rapidamente no momento de transição de polaridade e, conseqüentemente, de se desionizar. Desta forma a reionização será dificultada.

Baseado no modelo inicialmente exposto, é de se esperar que o CaO por formar escória de fácil emissão de ions positivos, impeça a formação da barreira de elétrons junto do ânodo, evitando assim os picos de reignição. Por outro lado, o CO_2 , por facilitar a desionização, pode fazer solicitar maior energia para reignição do arco.

Caso a ação do CaCO_3 fosse neutra, em relação à estabilidade, era de se esperar que o aumento do índice B só se fizesse sentir no ciclo positivo, pois na transição para o negativo o flúor não é tão prejudicial. Se sua ação fosse negativa, a redução da fluorita, caso predominante, faria aumentar a estabilidade do arco no ciclo positivo, mas o aumento do CaCO_3 faria diminuir a estabilidade no ciclo negativo. Desta forma, pode-se supor que a calcita é estabilizante, porém, o efeito negativo da fluorita é superior.

É importante ressaltar que após reignido o arco, a maior instabilidade se dá no ciclo negativo, como mostra as larguras dos traços de corrente dos oscilogramas das figuras 3, 4 e 5. Isto, como explica o modelo, é também causado pela barreira de ânions que se forma junto ao eletrodo. O efeito do CO_2 se faz sentir pela tensão média do arco, embora um aumento no teor de CaCO_3 tenha intensificado, por outro lado, o efeito canhão (o maior potencial de ionização e condutibilidade térmica do CO_2 associados ao maior efeito canhão, proporcionaram um aumento na tensão média do arco para aumentos nos teores de CaCO_3).

Apesar do índice proposto por Pokhodnya et al não ser influenciado pelo comportamento do arco após a reignição, pode-se notar que também este comportamento tem uma melhora na razão da diminuição da fluorita.

3.2 – Influência do CaCO_3 e Pó de Ferro

Destacou-se três eletrodos que têm as composições fixas exceto uma variação sistemática na calcita e pó de ferro, ou seja:

	VR/047	VR/058	VR/059
CaCO_3	20	30	40
Pó de ferro	32	22	12

Pela figura 6 pode-se avaliar o efeito do aumento do CaCO_3 (e decréscimo de pó de ferro) sobre a estabilidade do arco. O índice de estabilidade decresce no sentido do aumento da calcita e redução do pó de ferro, principalmente no ciclo positivo. Esta característica pode ser ilustrada pelas figuras 7, 8 e 9, oscilogramas típicos para estes eletrodos.

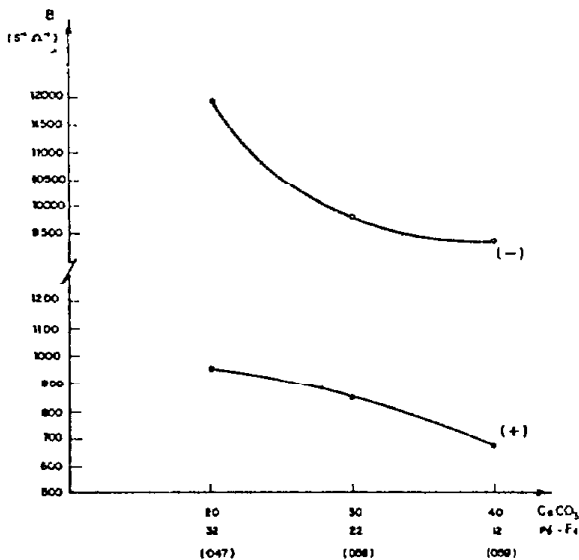


FIGURA 6 – Efeito do pó de ferro e CaCO_3 na estabilidade do arco.

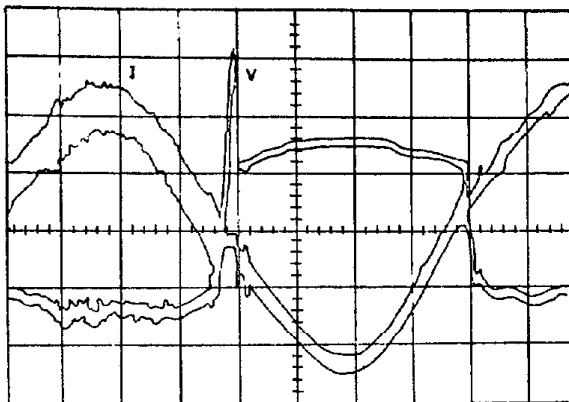


FIGURA 7 – Característica dinâmica típica do eletrodo VR 047.

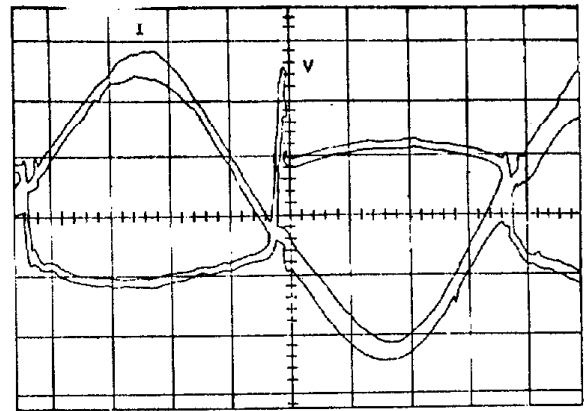


FIGURA 8 – Característica dinâmica típica do eletrodo VR 058.

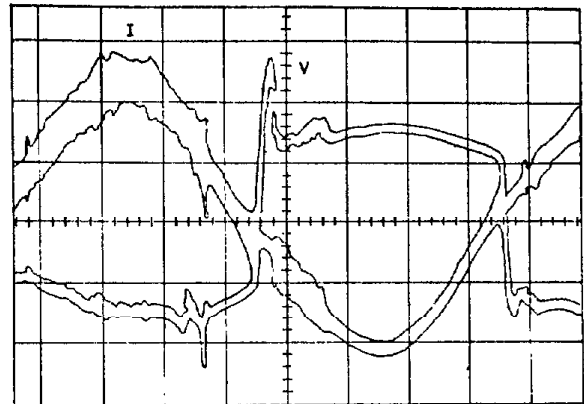


FIGURA 9 – Característica dinâmica típica do eletrodo VR 059.

A existência do alto pico de reignição pode ser atribuída, por si só, ao elevado teor de fluorita desses eletrodos (30%). Entretanto, observando a tabela II, vê-se que apesar do índice de estabilidade do VR/058 e VR/059 ser menor do que do VR/047, a tensão de reignição também é menor. Pode-se perceber ainda que a queda do índice se deu devido a queda de I_1 .

É conhecido que a adição de pó de ferro no revestimento objetiva aumentar o rendimento de deposição, mas, paralelamente o pó de ferro tem outros efeitos. Boniszewski⁽⁶⁾ verificou que o aumento do pó de ferro diminui a resistência ao impacto mas melhora as características operacionais dos eletrodos, proporcionando uma redução de salpicos e facilitando consideravelmente a abertura reignição do arco.

Pode-se atribuir ao aumento de estabilidade do pó de Fe o seu razoável baixo potencial de ionização (do mesmo nível do Ca). A queda de seu teor na composição do revestimento justificaria o menor I_1 , mas torna-se difícil ao mesmo tempo justificar a menor tensão de reignição, mesmo considerando que a calcita aumenta a estabilidade. Outros fatores são importantes como se verá a seguir.

Um fato que chamou a atenção foi que, diferentemente dos outros eletrodos, a soldagem com o VR/058 e VR/059 foi mais difícil. Houve uma dificuldade muito grande em se manter o comprimento do arco pelo controle automático, pois o arco chegava a se extinguir impossibilitando o controle pela tensão de referência. Esta extinção pode

ser atribuída ao excessivo efeito canhão, originado pelos altos teores de carbonato de cálcio.

De toda forma, o comprimento do arco foi mantido o mais curto possível por uma ação manual sobre o controle automático, resultando num comprimento de arco real em torno de 4,0 mm (incluindo agora o efeito canhão). A menor tensão de reignição estaria associada ao efeito dos íons de Ca de baixo potencial de ionização, enquanto que a maior corrente ocorre devido a redução do teor de pó de ferro, e seu efeito sobre o potencial de ionização da atmosfera do arco.

Sendo assim, a instabilidade causada, seria mais pelo aumento da calcita que pela redução do pó de ferro, sendo que o primeiro agiria não sobre a física do arco, sobre a qual seria até benéfico, mas sobre a operacionalidade do arco.

É importante ressaltar que o envolvimento de todos os parâmetros de soldagem, interdependentes ou não, no índice proposto por Pokhodnya et al possibilitou a maior precisão deste índice. Uma análise apenas pela tensão de reignição levaria a resultados antagônicos.

3.3. - Análise do Eletrodo Comercial Classe E - 7018

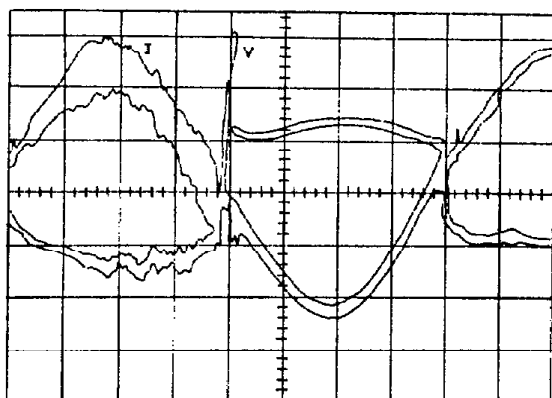


FIGURA 10 - Característica dinâmica típica de um eletrodo Classe AW5 E 7018 comercial.

Pelos dados da tabela II e pela figura 10 pode-se perceber que o índice B para o eletrodo comercial é bem maior que os demais. Isto se reflete principalmente pelo menor pico de reignição, apesar da corrente I_1 , também se mostrar em nível dos mais altos. Também pode-se perceber que os traços das curvas oscilográficas são bem mais finos, identificando uma maior estabilidade.

4. CONCLUSÃO

A observação do comportamento de um componente da escória conjuntamente com variações de outros componentes é muito difícil, apesar de mais real, devido a fenômenos interdependentes ou concorrentes. Entretanto, algumas tendências aparentemente ficaram claras, como se mostra a seguir:

a) A fluorita mostrou ser o maior responsável pela queda da estabilidade de um arco. O seu efeito, apesar de poder ser amenizado com adição de elementos de fácil ionização, não pode ser suprimido. Por isto o seu teor deve ser o mínimo possível;

b) O carbonato de cálcio parece contribuir para a estabilidade do arco em relação aos fenômenos físicos, mas em grandes quantidades pode provocar instabilidade por questões operacionais;

c) A análise do comportamento do pó de ferro ficou prejudicada pela ação do alto teor de calcita, mas pode-se esperar uma melhora na estabilidade do arco com o aumento do seu teor;

d) Tomando-se como referência o eletrodo classe E - 7018 comercial utilizado, verificou-se que para as faixas de composição utilizadas é necessário a adição de outros elementos que facilitem a estabilização do arco.

Além destas observações, pode-se ainda concluir que:

a) A equação proposta por Pokhodnya et al para expressar o índice de estabilidade mostrou-se segura, apesar da complexidade para medição de seus índices;

b) O modelo de comportamento dinâmico dos arcos proposto na referencial 1 mostrou-se adequado para estas condições.

Para se ter certeza das justificativas para ocorrência dos fenômenos, assim como das tendências observadas, se faz necessário um maior número de testes, com a elaboração de novas formulações. A continuidade deste trabalho é propósito dos autores, que paralelamente estão procurando desenvolver novas técnicas experimentais que tornem o estudo cada vez mais simples, barato e preciso.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar o agradecimento à CO-NARCO ALAMBRES Y SOLDADURAS S.A., em especial ao Lic. RAUL TIMERMAN, Lic. ESTELA SURIAN e Lic. VERA RAITER pelo apoio a este trabalho, sem o qual não seria possível realizá-lo. Também gostariam de agradecer à CAPES e à FINEP pelo suporte financeiro, e ao Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, local onde foi desenvolvido este trabalho, dentro de uma das suas linhas de pesquisa.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. SCOTTI, A.; QUITES, A. M.; FARIAS, J. P.; KOBAYASHI, Y.; Características Dinâmicas de Eletrodos Revestidos. In: *Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem*, X, Vitória, ES, outubro, 1984, Anais . . . ABM/ABS, p. 297 - 314.
2. FARIAS, J. P. ; KOBAYASHI, Y. ; SCOTTI, A. ; QUITES, A. M. ; Avaliação de Estabilidade de Eletrodos Revestidos. In: *Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem*, X, Vitória, ES, outubro, 1984, Anais . . . ABM/ABS, p 315 - 335.
3. POKHODNYA, I. K. et alii, Study of Alternating Current Arc Stability. In: *Arc Physics and Weld Pool Behaviour*. Vol. I. Abington Hall. Cambridge, 1980. Anais . . . The Welding Institute, p. 93 - 99.
4. JACKSON, C. E. ; Fluxes and Slags in Welding. In: *Welding Research Council - Bulletin 190*. December, 1979, p. 01 - 09.
5. LANCASTER, J. F. ; The Physics of Welding, 1.a Edição, Pergamon Press; Oxford, 1984.
6. BONISZEWSKI, T. ; The Effects of Iron Powder in Basic Low Hydrogen All - Positional Electrodes. In: *International Conference*, Vol. I. Abington Hall. Cambridge, 1979. Papers . . . The Welding Institute.