

POLARIDADE E GERAÇÃO DE CALOR NO ARCO DE SOLDAGEM – PARTE 1

Volodymyr Ponomarov

Instituição e endereço: Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bairro Santa Mônica, CEP 38400-902, Uberlândia – MG.

e-mail: vladimir@ufu.br

Hélio Cordeiro de Miranda

Instituição e endereço: Universidade Federal de Ceará, Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza - CE, CEP 60020-181

e-mail: hmiranda@ufc.br

Resumo: O arco elétrico representa uma excelente fonte de calor para soldagem, pois fornece energia suficientemente concentrada para fundir todos os metais e suas ligas. O calor gerado pelo arco é distribuído de modo não uniforme nas suas três regiões, sendo que as duas maiores parcelas são aplicadas exatamente onde é necessário, a saber, na ponta do eletrodo e na superfície do metal base, ou seja, nas regiões de queda anódica e catódica. A terceira região, a coluna de arco, com a menor parcela dessa distribuição de energia, atua como uma ligação elétrica (condutor) entre as regiões de queda e assegura a integridade do arco. Quase todo o calor gerado nas regiões anódica e catódica é aproveitado para fundir o metal de base e o eletrodo consumível (ou para aquecer o eletrodo não consumível). Analisando a geração do calor nas diferentes regiões do arco é necessário levar em consideração que nem todo o calor gerado no cátodo ou no ânodo será absorvido pelos mesmos, mas terá uma parcela transferida para o ânodo ou cátodo respectivamente (além de perdas para o meio ambiente). Na soldagem a arco, praticamente sempre é o cátodo que gera mais calor tanto no caso do eletrodo consumível, como no caso do eletrodo não consumível. Mas a maior parte deste calor é transferido para o ânodo via o fluxo de elétrons. Estes fenômenos são explicados neste trabalho de uma maneira de fácil percepção. A Parte 1 deste trabalho apresenta, de maneira bem sucinta, os modelos elétrico e térmico do arco. O modelo elétrico é simples, baseia-se em quantificação do calor gerado pelo efeito Joule nas diferentes regiões do arco, mas não explica a transferência de calor entre as regiões do arco, ou seja, não quantifica o calor consumido por cada região do arco. Ao passo que o modelo térmico leva em consideração a geração e a movimentação das cargas elétricas no arco e, logo, a transferência e a troca de calor entre o cátodo, o ânodo, a coluna do arco e o meio ambiente. Por outro lado, o modelo térmico é menos “preciso”, pois há grande variedade de processos físico-químicos a serem levados em consideração, em muitos casos, sem sequer avaliação quantitativa, ou seja, este modelo é do tipo parcialmente descritivo e deixa um certo nível de incerteza.

Palavras-chave: Soldagem a arco; Polaridade; Geração e consumo de calor.

1.1 INTRODUÇÃO

É universalmente aceito que o arco elétrico aplicado em soldagem seja composto no seu sentido longitudinal de três regiões, como esquematizado na Fig. 1.1, coluna de plasma e duas conexões do arco com o ânodo e com o cátodo chamadas regiões anódica e catódica, respectivamente.

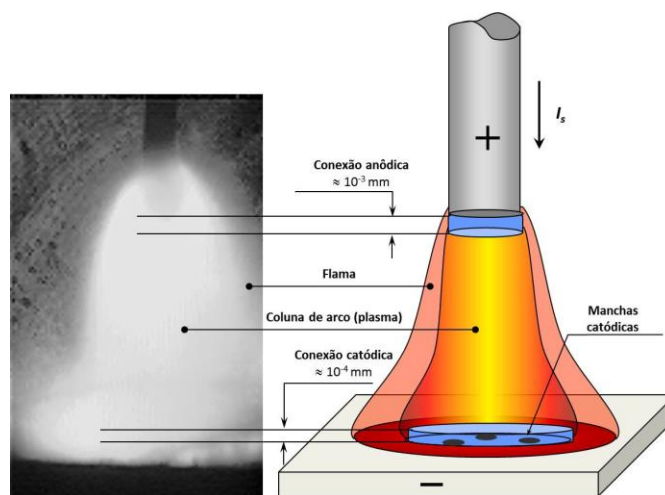


Figura 1.1 Estrutura do arco elétrico de soldagem

O arco elétrico representa uma excelente fonte de calor para soldagem, pois fornece energia suficientemente concentrada para fundir todos os metais e suas ligas. O calor gerado pelo arco é distribuído de modo não uniforme nas suas três regiões, sendo que as duas maiores parcelas são aplicadas exatamente onde é necessário, a saber, na ponta do eletrodo e na superfície do metal base, ou seja, nas regiões de queda anódica e catódica. A terceira região, a coluna de arco, com a menor parcela dessa distribuição de energia, atua como uma ligação elétrica (condutor) entre as regiões de queda e assegura a integridade do arco. Quase todo o calor gerado nas regiões anódica e catódica é aproveitado para fundir o metal de base e o eletrodo consumível (ou para aquecer o eletrodo não consumível). Boa parte do calor gerado na coluna de arco é perdida na forma de radiação e convecção para o ambiente.

Em termos de volume, o arco é constituído quase que exclusivamente pela coluna. Esta pode ter vários milímetros de comprimento (normalmente de 1 a 10 mm), enquanto que as regiões anódica e catódica têm espessuras da ordem de 1 μm sendo consideradas como películas. Cada região tem suas características e funções, como será mostrado a seguir. O arco elétrico de soldagem é um fenômeno bastante complexo envolvendo processos térmicos, elétricos e químicos. Para simplificar a análise dele são usados diferentes modelos, principalmente o modelo elétrico e o modelo térmico. Cada um deles tem suas vantagens e limitações. O modelo elétrico é simples, baseia-se em quantificação do calor gerado pelo efeito Joule nas diferentes regiões do arco. Mas este modelo do arco não explica a transferência de calor entre as regiões do arco, ou seja, não explica o fato que apenas uma parte do “calor gerado”, por exemplo, no cátodo é consumido pelo próprio cátodo. Enquanto que o modelo térmico leva em consideração a geração e a movimentação das cargas elétricas no arco e, logo, a transferência e a troca de calor entre o cátodo, o ânodo, a coluna do arco e o meio ambiente. Por outro lado, o modelo térmico é menos “preciso”, pois há grande variedade de processos físico-químicos a serem levados em consideração, em muitos casos, sem sequer avaliação quantitativa, ou seja, este modelo é do tipo parcialmente descritivo e deixa um certo nível da incerteza. Estes dois tipos dos modelos do arco elétrico de soldagem são apresentados a seguir.

1.2 MODELO ELÉTRICO DO ARCO DE SOLDAGEM

Uma analogia com um circuito de resistências em série, mostrada na Fig. 1.2, ilustra as três regiões de queda de tensão ao longo do comprimento de um arco gerada pela passagem da corrente (é importante ressaltar que não se trata de resistências que obedecem à Lei de Ohm).

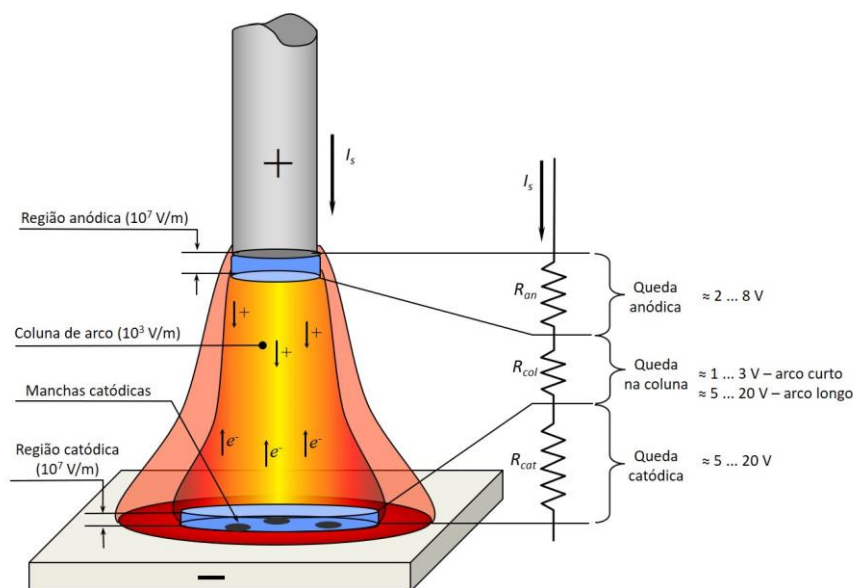


Figura 1.2 Distribuição da tensão ao longo do arco elétrico de soldagem para o eletrodo consumível nu (conforme Scotti e Ponomarev, 2014)

A queda de tensão na própria coluna de plasma (U_{col}) depende do seu comprimento e não excede alguns poucos volts (levando em consideração que a tensão específica da coluna de arco de soldagem é em torno de 0,5 – 1,0 V/mm). O restante da tensão consumida se refere às quedas nas regiões anódica (U_{an}) e catódica (U_{cat}). Experimentos mostram que, para eletrodos consumíveis não revestidos, a queda de tensão catódica é maior do que a queda de tensão anódica: 5 a 20 V e 2 a 8 V, respectivamente (Scotti e Ponomarev, 2014). Conforme Modenesi (2004), a queda de tensão anódica é ainda mais baixa, em torno de 1 V.

No caso do eletrodo não consumível (usualmente, de tungstênio), a queda anódica vai ser a mesma (na faixa de 2 a 8 V) tanto faz onde o ânodo está localizado, no eletrodo de tungstênio (corrente contínua eletrodo positivo – CCEP) ou na peça (corrente contínua eletrodo negativo – CCEN). A principal função do ânodo é absorver os elétrons, o que anula o fator do material do ânodo, desde que ele seja condutor. Ao passo que a queda de tensão catódica será da ordem de 5 a 6 V no caso do eletrodo não consumível (Modenesi, 2004) e bem maior no caso do eletrodo consumível, de 5 a 20 V (Scotti

e Ponomarev, 2014). Esses dados são apresentados de maneira resumida na Tabela 1.1. A Figura 1.3 mostra a representação tradicional da distribuição da tensão para o eletrodo consumível (a) e o eletrodo não consumível (b) para as polaridades CCEN e CCEP.

Percebe-se que a maior queda de tensão (5 – 20 V) é registrada na região catódica caso o cátodo seja consumível, ou seja, é do tipo “catodo frio” (emissão dos elétrons “por campo”). Ao passo que o “cátodo quente” (o eletrodo não consumível) favorece a uma redução considerável da queda de tensão (5 – 6 V) devido à emissão termiônica.

Tabela 1.1 Queda de tensão nas regiões anódica e catódica em função do material do ânodo e do cátodo, respectivamente (Scotti e Ponomarev, 2014)

Queda de tensão	Material do ânodo e do cátodo		
	Metal de base	Eletrodo consumível	Eletrodo não consumível
U_{an}, V	2 – 8 (CCEN)	2 – 8 (CCEP)	2 – 8 (CCEP)
U_{cat}, V	5 – 20 (CCEP)	5 – 20 (CCEN)	5 – 6 (CCEN)

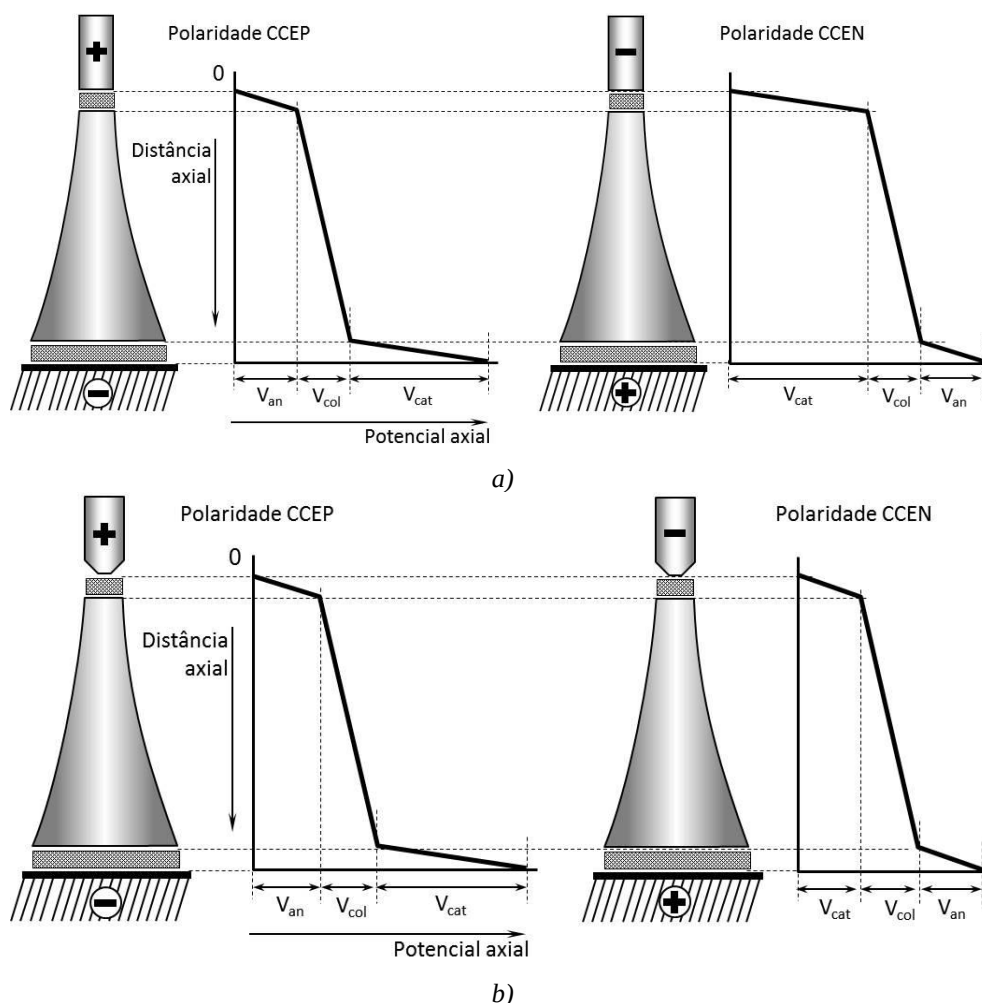


Fig. 1.3 Distribuição da tensão ao longo do arco elétrico de soldagem (representação tradicional) para o eletrodo consumível (a) e não consumível (b)

Fica óbvio que a tensão do arco não vai sofrer variações notáveis ao mudar a polaridade da corrente no caso da soldagem com o eletrodo consumível. Embora alguma mudança da tensão do arco vai sim acontecer, devido ao fato que a ponta de eletrodo é caracterizada por uma temperatura ligeiramente maior do que a da poça de fusão. Uma maior temperatura da ponta do eletrodo vai favorecer à emissão dos elétrons do cátodo na polaridade CCEN provavelmente reduzindo a queda de tensão catódica, mas de maneira não muito significativa. No caso da soldagem com o eletrodo não consumível, a mudança da polaridade de corrente acarreta uma variação da tensão do arco bem mais significativa, o que, junto com a ausência da transferência metálica e uma maior estabilidade de arco, justifica a escolha preferencial, por parte dos pesquisadores, pela escolha do processo TIG para a avaliação da geração de calor nas diferentes regiões do arco de soldagem. O procedimento experimental adotado neste trabalho também foi baseado no uso do arco do processo de soldagem TIG, como mostrado no item 1.4.

1.3 MODELO TÉRMICO DO ARCO DE SOLDAGEM

O modelo elétrico permite calcular o calor gerado na coluna do arco e nas áreas catódica e anódica, mas logo a seguir o calor vai sofrer certa redistribuição conforme os processos elétricos, térmicos e químicos bem diferentes que acontecem naquelas regiões. O modelo térmico do arco, ou seja, os fenômenos da geração, transferência e consumo do calor na soldagem a arco são, usualmente, apresentados por meio de esquemas como mostrado, por exemplo, nas Figs. 1.4 e 1.5. Os esquemas apresentados aqui são apenas exemplos sem entrar em análise deles (deixando isso para leitores curiosos). O leitor até pode não concordar com a opinião dos autores deles acerca de um ou outro aspecto abordado, mas ele também não pode ignorar o fato que tais esquemas ajudam, de um lado, perceber como o fenômeno da geração, redistribuição e o consumo do calor na soldagem a arco é complicado e, de outro, ajudam entender melhor este fenômeno. Como pode ser percebido (Figs. 1.4 e 1.5), o modelo térmico, sim, leva em consideração a geração e a movimentação das cargas elétricas no arco e, logo, a transferência e a troca de calor entre o cátodo, o ânodo, a coluna do arco e o meio ambiente. Mas os cálculos do calor gerado ou consumido por diferentes regiões do arco via este modelo são baseados em muitas premissas (Modenesi, 2004, Scotti e Ponomarev, 2014), pois há grande variedade de processos físico-químicos a serem levados em consideração, em muitos casos, sem sequer avaliação quantitativa. Logo, o modelo térmico é do tipo parcialmente descritivo e deixa um certo nível da incerteza no que diz respeito a conclusões tiradas.

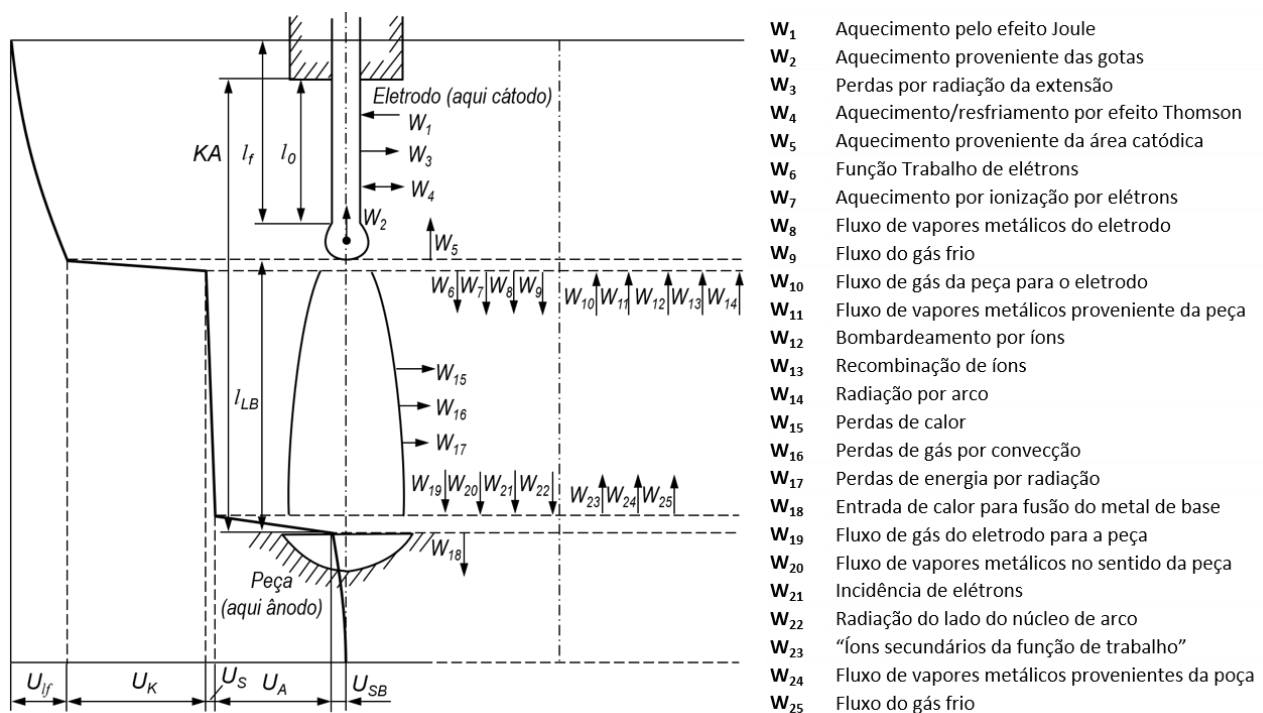
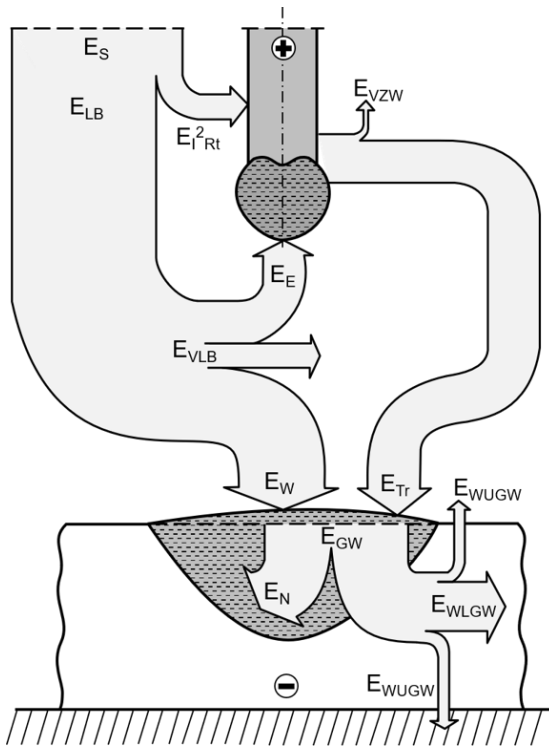


Figura 1.4 Esquema da geração, transferência e consumo do calor na soldagem a arco (adotado do Kruscha, 2012)

1.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA ESTUDAR OS PARÂMETROS ELÉTRICOS DO ARCO DE SOLDAGEM

Utilizando uma mesa de duas coordenadas, foram feitas deposições pelo processo TIG de maneira automática com a distância entre a ponta do eletrodo e a peça (DPEP) variado sucessivamente de 2 a 4 e a 6 mm em cada 20 s sem interromper o processo de soldagem (Fig. 1.6). A velocidade de soldagem foi de 50 mm/s. O metal de base foi um aço inoxidável ferrítico (chapas de 4 mm de espessura). A afiação do eletrodo de tungstênio (do tipo WTh2) foi de 60° e o gás de proteção foi Argônio puro aplicado com a vazão de 7 l/min. Para registrar a tensão do arco foi usado um sistema de aquisição computadorizado composto por um condicionador de sinal, uma placa de aquisição e o programa labVIEW. A medição da tensão do arco durante variações da DPEP permite avaliar a tensão específica da coluna do arco (E_{col}), partindo de uma premissa que as mudanças do comprimento do arco não acarretam alterações da queda de tensão catódica, nem anódica (Fig. 1.7). Os resultados são apresentados na Tab. 1.2.



E_S	Energia de soldagem
E_{LB}	Energia de arco
$E_{I^2 Rt}$	Energia pelo efeito Joule
E_E	Energia absorvida pela ponta de eletrodo
E_{VLB}	Perdas de energia do arco
E_W	Energia térmica transferida do arco diretamente para a peça de trabalho
E_{VZW}	Perdas de energia pelas gotas de metal de eletrodo
E_{Tr}	Energia repassada para a peça de trabalho através da transferência metálica
E_{GW}	Energia absorvida pela peça de trabalho
E_N	Energia aproveitada para a fusão do metal de base
E_{WLGW}	Energia não aproveitada para a fusão sendo difundida pela condução para o metal de base
E_{WUGW}	Energia não aproveitada para a fusão sendo perdida pelo metal de base para o meio ambiente

Figura 1.5 Esquema da geração, transferência e consumo do calor na soldagem a arco (adotado do Wilhelm, 2006)

Uma abordagem combinada baseada nos modelos térmico e elétrico do arco permite esclarecer melhor os assuntos de geração de calor e do consumo dele nas diferentes regiões do arco de soldagem, o que é assunto da Parte 2 deste trabalho.

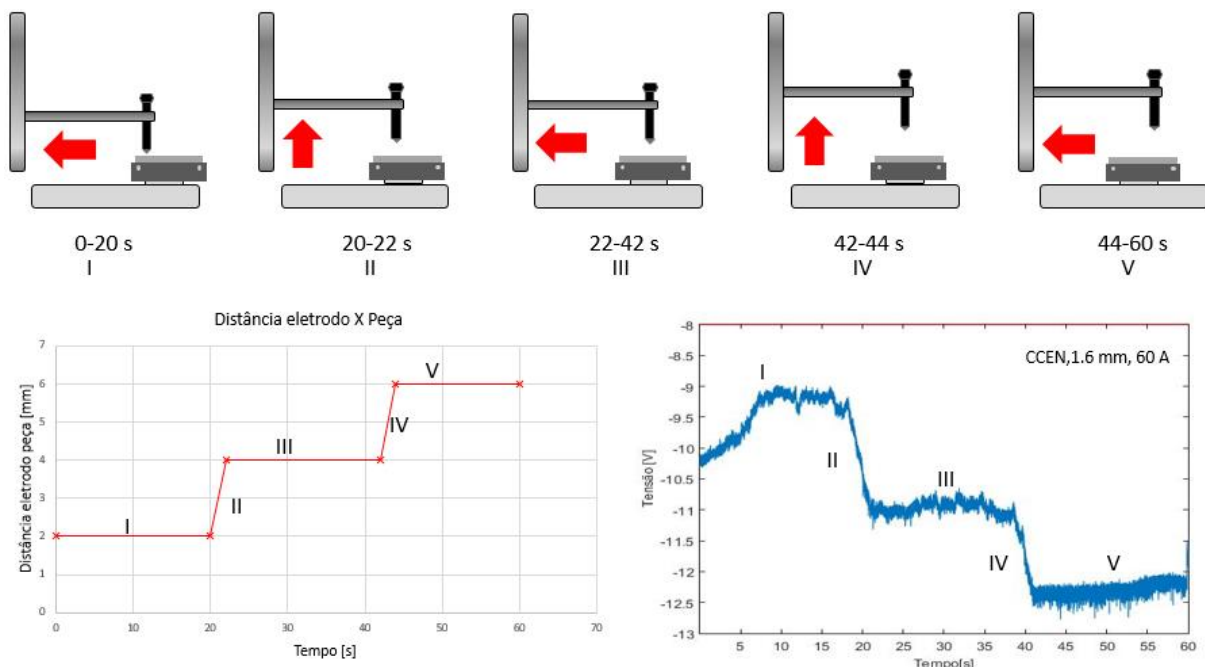


Fig. 1.6 Ilustração da bancada experimental para a avaliação da influência do comprimento do arco na sua tensão e um exemplo do registro dela (Bravo, 2019)

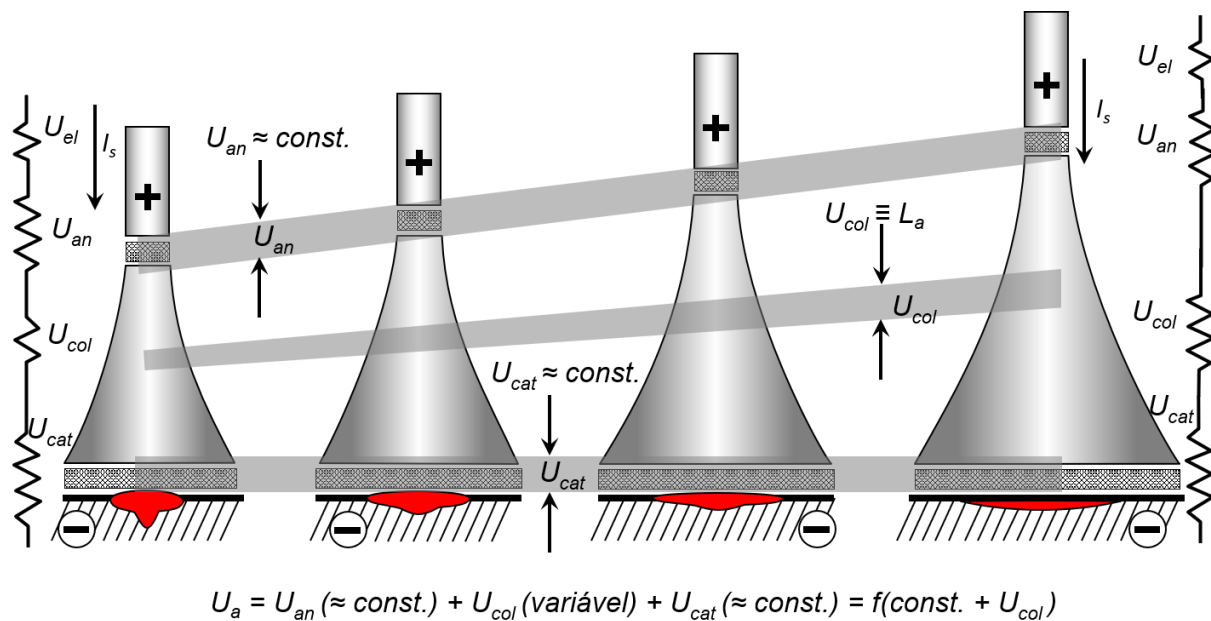


Fig. 1.7 Ilustração da premissa que as mudanças do comprimento do arco não acarretam alterações da queda de tensão catódica, nem anódica do arco de soldagem, tanto para o eletrodo consumível, como não consumível

1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme ilustrado na Fig. 1.3, b e mostrado na Tab. 1.1, a queda anódica é considerada ser a mesma (na faixa de 2 a 8 V) tanto faz onde o ânodo está localizado, no eletrodo de tungstênio (polaridade CCEP) ou na peça (polaridade CCEN). Ao passo que a queda de tensão catódica será da ordem de 5 a 6 V no caso da polaridade CCEN (o eletrodo é o cátodo) e bem maior no caso da polaridade CCEP (a peça é o cátodo), de 5 a 20 V. Ou seja, a tensão do arco será em torno de 5 - 10 V maior no caso da polaridade CCEP. Os dados apresentados na Tab. 1.2 confirmam esta conclusão.

Tabela 1.2 Resultados da medição da tensão do arco nas polaridades CCEN e CCEP na soldagem TIG.

Teste	Diâmetro do eletrodo de W, mm	Polaridade	Corrente I_s , A Ajustada (medida)	DPEP (comprimento do arco), mm	Tensão do arco U_a , V	Tensão específica da coluna, V/mm	Tensão $U_{cat} + U_{an}$, V
1	1,6	CCEN	60 (62)	2 (2,0)	9,2	0,8	7,6
				4 (4,0)	11,0		7,8
				6 (6,0)	12,3		7,5
2	1,6	CCEN	15 (17)	de 2 a 6	O arco foi muito instável		
3	1,6	CCEP	15 (18)	3 (5,0)	18,3	0,3	15,8
				5 (6,0)	18,6		15,6
				7 (7,5)	19,0		15,3
4	4,0	CCEN	60 (62)	2 (2,0)	9,9	0,6	8,7
				4 (4,0)	11,2		8,8
				6 (6,0)	12,3		8,7
5	4,0	CCEN	15 (16)	2 (2,0)	12,8	0,75	11,3
				4 (4,0)	14,4		11,4
				6 (6,0)	15,8		11,3
6	4,0	CCEP	60 (64)	2 (3,0)	16,5	0,3	15,6
				4 (5,0)	16,9		15,4
				6 (8,0)	17,8		15,4

Obs.: A corrente e a tensão do arco foram medidas por um sistema de aquisição computadorizado com a frequência de aquisição de 1000 Hz.

Conforme dados da Tab. 1.2, a tensão específica da coluna do arco (E_{col}) está na faixa de 0,6 – 0,8 V/mm para a polaridade CCEN e é bem mais baixa para a polaridade CCEP (0,2 – 0,3 V/mm). Pode ser que a avaliação do valor da E_{col} a partir da medição de variações da tensão do arco como respostas às mudanças da DPEP não seja adequada para a polaridade CCEP pelo fato de que o comprimento do arco (L_a) nesta polaridade quase não se altera com a variação da DPEP devido ao seu comportamento característico. Diferentemente da polaridade CCEN, caracterizada por um arco bem estável, na polaridade CCEP o arco é muito agitado com sua mancha catódica apresentando deslocamentos bruscos na conexão do arco com a peça, atuando, às vezes, bem longe da ponta do eletrodo tanto no sentido do deslocamento do eletrodo, quanto atrás dele, como ilustrado pela Fig. 1.8. A Figura 1.9 mostra que na polaridade CCEP, o comprimento do arco é próximo à hipotenusa do triângulo reto, que pode assumir qualquer comprimento sem alterar o cateto vertical, que representa a distância DPEP. Como indicado por muitos pesquisadores, podem existir ao mesmo tempo mais que uma mancha catódica, logo mais que uma raiz (ou núcleo) do arco podem atuar simultaneamente. A tensão específica do arco da polaridade CCEP e o comportamento da própria tensão refletem estes fenômenos complexos e o valor da tensão do arco neste caso não é determinado apenas pela distância entre a ponta do eletrodo e a peça, mas pela concentração de óxidos ao redor da poça de fusão.

Definitivamente, o arco da polaridade CCEP não atua pela linha mais curta entre a ponta do eletrodo e a poça de fusão, cuja superfície tem poucos óxidos disponíveis. Pode-se afirmar que na polaridade CCEP $L_a \gg DPEP$. Sem saber o comprimento real do arco e a sua tensão instantânea, não tem como chegar ao valor da E_{col} com uma confiança razoável. Uma tese, que o valor alto da tensão da polaridade CCEP pode ser ligado ao maior comprimento do núcleo do arco, não é sustentável, uma vez que o núcleo do arco assume comprimentos curtos também, e o sistema de aquisição (com a frequência de aquisição de 1000 Hz) deveria então registrar tensões baixas, o que não acontece.

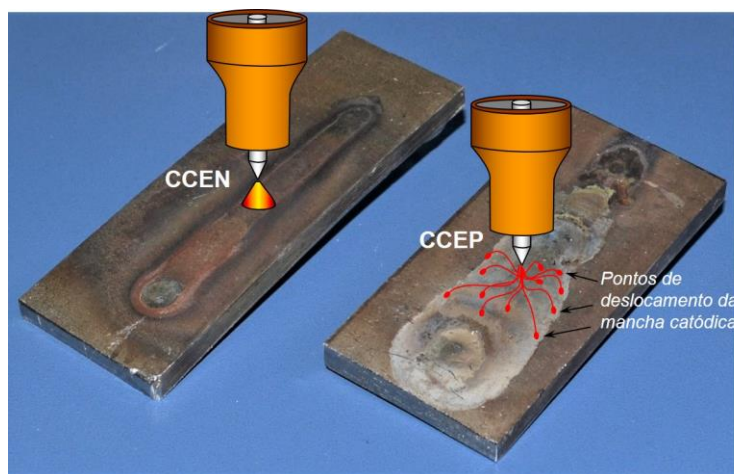


Figura 1.8 Ilustração do comportamento dos arcos das polaridades CCEN e CCEP (processo de soldagem TIG, testes 4 e 6 da Tab. 1.2 respectivamente)

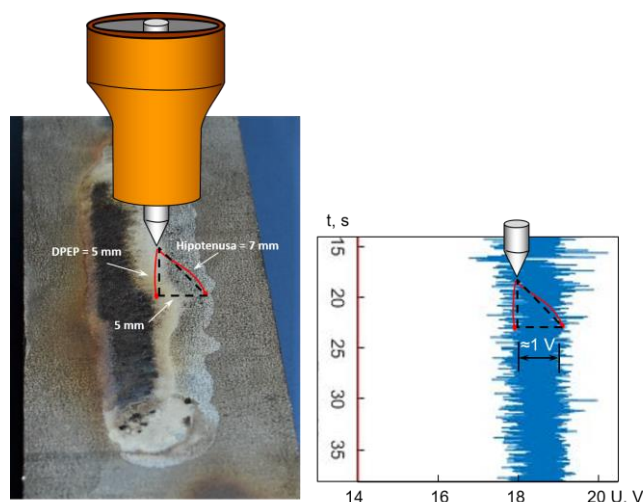


Figura 1.9 Ilustração da relação entre a distância da ponta de eletrodo até a peça e o comprimento do arco na soldagem TIG com a polaridade CCEP (veja também Fig. 1.8)

Apesar de todo o cuidado nas análises, o modelo elétrico do arco não permite explicar alguns fenômenos observados com arcos elétricos de soldagem, o principal deles consiste em certas “perdas de calor” sofridas pelo cátodo (além das perdas de calor por meio ambiente) e em certos “ganhos de calor” aproveitados pelo ânodo além daqueles calculados pela equação: $Q = U_{an} \cdot I_s \cdot t_s$, o que é comprovado pela calorimetria e pode ser ilustrada pelos dados apresentados na Tab. 1.3.

Tabela 1.3 Resultados dos cálculos e da medição pela calorimetria do calor gerado nas diferentes regiões do arco e absorvido pela chapa do aço ao carbono no processo TIG (foram aproveitados os resultados do trabalho de Silva, 2018, Tab. 3)

U_a (V)	I_s (A)	Calor gerado no cátodo, ao assumir $U_{cat} = 6$ V (Modenesi, 2004), J	Calor gerado na coluna, ao assumir $U_{col} \approx 2$ V (Tab. 1.2, teste 4), J	Calor gerado no ânodo, ao assumir $U_{an} = 4$ V (Scotti, 2014), J	Calor absorvido pela chapa, J (calorimetria)
12	212	27042,7	9014,2	18028,5	28362,6

Obs.: Eletrodo do tipo WTh2 de 4 mm com a afiação de 60°; vazão de gás de 15 l/min; bocal de no. 12 (diâmetro do orifício de 18,8 mm); DPEP de 2 mm; tempo de soldagem t_s de 21,26 s.

Como visto da Tab. 1.3, o ânodo (peça) tem recebido bem mais calor do que “sugere” o cálculo (usando o valor $U_{an} = 4$ V da faixa de 2 – 8 V, Scotti e Ponomarev, 2014). Conforme os cálculos, o cátodo também gera mais calor do que o ânodo. Por incrível que pareça, está conclusão está certa, mas “gera” não significa “consome”. O modelo elétrico do arco não leva em consideração a transferência do calor efetuada pelos elétrons, íons e outras partículas presentes no arco. O balanço térmico nas diferentes regiões do arco deve ser analisado do aspecto do calor **gerado** e do calor **absorvido**, pois nem todo o calor gerado no cátodo ou no ânodo será absorvido pelos mesmos, mas terá uma parcela transferida para o ânodo ou cátodo respectivamente (além de perdas para o meio ambiente). Como será mostrado na Parte 2 deste trabalho, o modelo térmico do arco ajuda entender melhor os fenômenos da geração, da transferência e do consumo do calor nas diferentes partes do arco, assim complementando e, de certa maneira, corrigindo o modelo elétrico do mesmo.

1.6 CONCLUSÃO (da Parte 1)

Para analisar os fenômenos da geração, transferência e consumo do calor na soldagem a arco são usados diferentes modelos, principalmente o modelo elétrico e o modelo térmico. Cada um deles tem suas vantagens e limitações. O modelo elétrico é simples, se baseia em quantificação do calor gerado pelo efeito Joule nas diferentes regiões do arco, mas não explica a transferência de calor entre as regiões do arco. Ao passo que o modelo térmico leva, sim, em consideração a geração e a movimentação das cargas elétricas no arco e, logo, a transferência e a troca de calor entre o cátodo, o ânodo, a coluna do arco e o meio ambiente. Por outro lado, o modelo térmico é menos “preciso”, pois há grande variedade de processos físico-químicos a serem levados em consideração, em muitos casos, sem sequer avaliação quantitativa, necessitando da aplicação de muitas premissas, ou seja, este modelo é do tipo parcialmente descritivo e deixa um certo nível da incerteza no que diz respeito a conclusões tiradas. Uma abordagem combinada baseada nos modelos térmico e elétrico do arco deve permitir esclarecer melhor os assuntos de geração de calor e do consumo dele nas diferentes regiões do arco de soldagem, o que é assunto da Parte 2 deste trabalho.

1.7 REFERÊNCIAS

- Bravo, C.S., 2019. Avaliação comparativa dos parâmetros elétricos do arco no processo de soldagem TIG com polaridade CCEN e CCEP. Trabalho de Fim de Curso. UFU. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/31182>.
- Kruscha, J., 2012. Untersuchungen zum Einsatz geregelt gepulster Lichtbögen zur Beeinflussung der Schmelzbaderstarrung. In: Abschlussbericht des DFG/AiF-Cluster “Lichtbogenschweißen - Physik und Werkzeug” Teilprojekt A1. Hochschule Lausitz – IIM.
- Modenesi, P.J. e Bracarense, A.Q., 2004. Introdução à Física do Arco Elétrico e sua Aplicação na Soldagem dos Metais. UFMG, Belo Horizonte.
- Scotti, A. e Ponomarev, V., 2014. Soldagem MIG/MAG: Melhor entendimento, melhor desempenho. São Paulo: ArtLiber, 288 p.
- Silva, D.C.C. e Ponomarev, V., 2018. Contribuição de cada Parâmetro Elétrico no Calor Imposto na Soldagem a Arco. XLIV CONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem, Uberlândia.
- Wilhelm, G., 2006. Quantitative Optimierung des Energieeintrages beim MSGHochleistungsschweißen nichtrostender Stähle. In: Dissertation. Technische Universität Chemnitz. ISBN 3-87155-976-8

1.8 RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

POLARITY AND HEAT GENERATION IN THE WELDING ARC – PART 1

Volodymyr Ponomarov

Institution and address: Federal University of Uberlandia, Av. Joao Naves de Avila, nº 2121, Bairro Santa Monica, CEP 38400-902, Uberlandia – MG.

e-mail: vladimir@ufu.br

Helio Cordeiro de Miranda

Institution and address: Federal University of Ceara, Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza - CE, CEP 60020-181

e-mail: hmiranda@ufc.br

Abstract: *The electric arc represents an excellent source of heat for welding, as it provides energy concentrated enough to melt all metals and their alloys. The heat generated by the arc is distributed non-uniformly in its three regions, and the two largest portions are applied exactly where it is needed, namely, at the electrode tip and on the surface of the base metal, that is, in the anodic and cathodic fall regions. The third region, the arc column, with the smallest share of this energy distribution, acts as an electrical link (conductor) between the fall regions and ensures the integrity of the arc. Almost all of the heat generated in the anode and cathode regions is used to melt the base metal and the consumable electrode (or to heat the non-consumable electrode). Analysing the generation of heat in the different regions of the arc, it is necessary to take into account that not all the heat generated in the cathode or anode will be absorbed by them, but will have a portion transferred to the anode or cathode respectively (beside of losses to the environment). In arc welding, it is practically always the cathode that generates more heat both in the case of the consumable electrode and in the case of the non-consumable electrode. But most of this heat is transferred to the anode via the flow of electrons. These phenomena are explained in this work in a way of easy perception. Part 1 of this work presents, in a very succinct way, the electric and thermal models of the arc. The electrical model is simple, it is based on quantifying the heat generated by the Joule effect in the different regions of the arc, but it does not explain the heat transfer between the regions of the arc, that is, it does not quantify the heat consumed by each region of the arc. While the thermal model takes into account the generation and movement of electrical charges in the arc and, therefore, the transfer and exchange of heat between the cathode, anode, arc column and the environment. On the other hand, the thermal model is less “precise”, since there is a great variety of physical-chemical processes to be taken into account, in many cases, without any quantitative evaluation, that is, this model is of a partially descriptive type and leaves a certain level of uncertainty.*

Keywords: Arc Welding; Polarity; Heat generation and consumption.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.