

# TRATAMENTO SUPERFICIAL DE AÇOS UTILIZANDO DEPOSIÇÃO DE CARBONO E ARCO ELÉTRICO

**Lucídio Vanderlei Kunrath**

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Mecânica  
[lucidio@mail.ufsm.br](mailto:lucidio@mail.ufsm.br)

**Aleir Antonio Fontana De Paris**

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Mecânica  
[aparis@ct.ufsm.br](mailto:aparis@ct.ufsm.br)

**Resumo.** O tratamento superficial de peças para melhorar suas propriedades de resistência ao desgaste é conhecido e bastante empregado. O resultado esperado é um aumento da dureza superficial sem modificar as propriedades mecânicas do material de base. Várias técnicas são utilizadas industrialmente com este objetivo. Uma técnica nova foi desenvolvida para o tratamento superficial de aços baixo carbono, consistindo no depósito de carbono e sua posterior difusão para a peça, utilizando arco elétrico como elemento de apoio à difusão. Os resultados são promissores, e indicam aumento da dureza na superfície da peça.

**Palavras-chave:** Arco elétrico, tratamento superficial, aços, difusão de carbono.

## 1. INTRODUÇÃO

Os tratamentos superficiais dos aços têm como objetivo a obtenção de uma dureza elevada na superfície, aliada a uma tenacidade e ductilidade importantes no núcleo. Para efetuar a tempera superficial, a peça de aço deve ser aquecida até a temperatura austenítica ( $> AC_3$ ) apenas numa região da camada superficial com determinada espessura. O aquecimento deve ser feito de forma rápida para evitar o aquecimento do núcleo até a temperatura de tempera<sup>(1)</sup>.

Várias técnicas são empregadas com o intuito de obter o tratamento superficial das peças, diferenciando-se pelo modo de aporte de energia térmica na zona superficial. Aquecimento por indução, em que um gerador de tensão de alta frequência [alguns kHz até centenas de kHz] alimenta um solenóide que constitui o primário do transformador e o secundário é a peça a tratar. O aporte térmico na zona superficial é devido às perdas por histerese magnética a ao efeito Joule ligado a existência de correntes induzidas (ou correntes de Foucault). A zona eficaz onde circulam estas correntes é limitada a uma espessura  $\delta$  pela relação de Kelvin (efeito de casca)<sup>(2)</sup>:

$$\delta = 1,6 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \quad (1)$$

$\delta$  : espessura da zona em mm

$\rho$  : resistividade elétrica em  $\mu\Omega.cm$

$\mu$  : permeabilidade magnética relativa

$f$  : frequência em kHz

A velocidade de aquecimento por indução de elevada frequência atinge 300 – 500°K/s.

O aquecimento com maçarico é feito através da chama obtida pela queima de um gás tipo propano-O<sub>2</sub> ou acetileno-O<sub>2</sub>, podendo atingir velocidades de aquecimento suficientemente rápidas e

elevadas ( ~ 500°K/s). Como a chama atinge temperaturas elevadas, aproximadamente 2800°K, a região da peça se aquece rapidamente atingindo a temperatura austenítica com profundidade de 2-3 mm.

O uso desta técnica é limitado a grandes peças ou quando outras técnicas se mostram inaplicáveis na prática. A dificuldade encontrada é o controle preciso da espessura da camada tratada.

Outros métodos mais recentes e não convencionais de aporte térmico foram desenvolvidos: feixe laser, feixe de elétrons e arco elétrico.

O tratamento com laser proporciona uma alta concentração de energia em uma camada fina. O tempo de aquecimento é bastante curto,  $10^4$ - $10^6$  °K/s, e a massa interna da peça dissipa o calor com uma velocidade elevada  $10^3$ - $10^6$  °K/s, não necessitando um resfriamento adicional através de um agente externo. Algumas publicações estão disponíveis sobre o emprego de laser no tratamento superficial de ferro fundido [3,4].

Um tratamento que mostrou interessante do ponto de vista de praticidade e operacionalidade é o uso de arco elétrico para efetuar tratamento térmico superficial [5]. O processo TIG sem metal de adição foi empregado no tratamento superficial de ferro fundido cinzento [6,7] e em aços para fabricação de trilhos [8]. O arco é deslocado de forma rápida, sem que possa ocorrer a fusão do metal, mas atingindo uma temperatura suficientemente alta para ocasionar mudanças microestruturais na superfície da peça.

O processo foi aplicado em metais com alto teor de carbono, permitindo desta forma a obtenção de uma estrutura martensítica e/ou martensítica/bainítica.

A mais recente tentativa de uso de arco elétrico é no endurecimento superficial de aço carbono SAE 1020, com adição de carbono separadamente, sendo o objetivo deste trabalho apresentar a metodologia e resultados encontrados.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Sobre amostra de chapas de aço carbono SAE 1020 com 6 x 60 x 150 mm, foi depositado uma fina camada de carbono (negro de fumo) com uma chama oxiacetilênica carburante. Após este depósito, foram efetuadas várias passagens, de forma mecanizada, do arco elétrico com o processo TIG. A velocidade foi mantida constante em 10,5 mm/s, e variou-se a intensidade de corrente e o comprimento do arco, para não haver fusão do metal de base. A Tabela 1 mostra os parâmetros utilizados. O eletrodo empregado foi tungstênio puro com 2% de tório, classificação AWS Th-2, com diâmetro de 2 mm e como gás protetor argônio de pureza comercial com vazão de 10 l/min.

Após os tratamentos superficiais, as amostras foram seccionadas transversalmente e preparadas metalograficamente para as análises da estrutura e dureza. Foram empregadas microscopia ótica, eletrônica de varredura e microdureza Vickers com carga de 100g e tempo de aplicação 10s.

Tabela 1. Parâmetros utilizados no tratamento térmico.

| Cordão | Intensidade de corrente<br>(A) | Comprimento do arco<br>(mm) | Tensão<br>(V) |
|--------|--------------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1      | 50                             | 2                           | 13            |
| 2      | 50                             | 3                           | 13            |
| 3      | 50                             | 4                           | 13            |
| 4      | 50                             | 5                           | 13            |
| 5      | 50                             | 6                           | 13            |
| 6      | 75                             | 6                           | 12            |
| 7      | 75                             | 7,5                         | 12            |
| 8      | 100                            | 7,5                         | 16            |

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha dos parâmetros da Tabela 1 foram selecionados de forma a não ocasionar a fusão superficial da peças. Os baixos valores da intensidade de corrente são diretamente afetados pela velocidade de passagem do arco elétrico. Como o equipamento de mecanização empregado no processo permitiu uma velocidade máxima de 10,5 mm/s, com o aumento da corrente acima de 100 A e comprimento do arco de 2 mm, houve fusão superficial do cordão. Portanto procurou-se jogar com a corrente e comprimento do arco. Todos os ensaios efetuados não apresentaram fusão superficial de forma que a apresentação dos resultados se fez sobre a amostra nº 8, ou seja, intensidade de corrente de 100 A e comprimento do arco de 7,4 mm, já que a mesma apresentou a maior largura de tratamento, o que permite tempos menores de aplicação.

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos para a largura de penetração e a camada tratada em função dos parâmetros selecionados. As medidas foram realizadas empregando-se um software de tratamento de imagem UTHSCSA Image Tool.

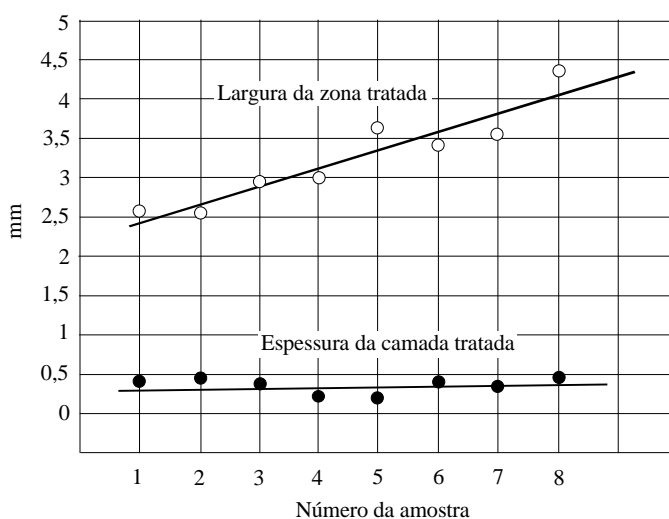


Figura 1. Largura e espessura da camada tratada em função dos parâmetros apresentados na Tabela 1.

O aumento da intensidade de corrente associada com o aumento do comprimento do arco, proporcionou um aumento na largura de tratamento. A espessura tratada no entanto, manteve-se aproximadamente constante.

A Figura 2 mostra uma macrografia da seção transversal do corpo de prova nº 8.

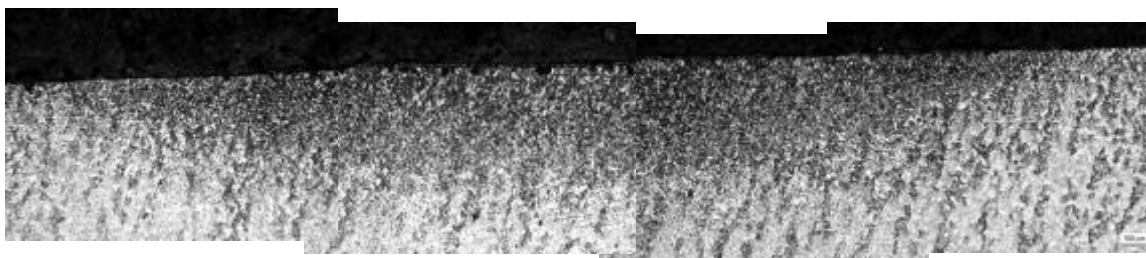


Figura 2. Macroestrutura da seção transversal do tratamento com intensidade de corrente de 100A e comprimento do arco de 7,4 mm.

A Figura 3 mostra a micrografia da interface entre o metal de base e zona tratada. A composição do metal de base como mostra a figura, é composto de ferrita e perlita. Após o tratamento com o arco elétrico a estrutura se modifica com a difusão do carbono da superfície para o interior da peça.

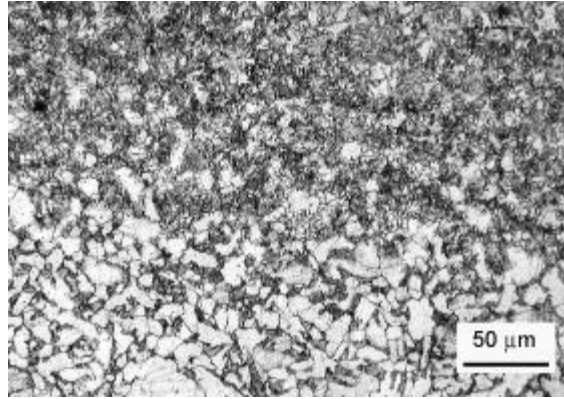


Figura 3. Micrografia da interface entre o metal de base e a zona tratada.

Nos processos denominados tratamentos termoquímicos, a composição da estrutura superficial varia de acordo com o calor e a ação química de difusão dos átomos do carbono da superfície para interior da peça. O processo de penetração por difusão do elemento a uma distância  $x$  da superfície da peça, ocasionará uma composição  $C$  da solução que varia em função do tempo, segundo a lei de Fick:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2)$$

onde  $D$  é o coeficiente de difusão.

Aplicando condições limites teóricas<sup>(1)</sup>, chega-se a seguinte equação:

$$x = K \sqrt{Dt} \quad (3)$$

onde  $K$  é constante.

Assim, a profundidade de difusão varia proporcionalmente à raiz quadrada do tempo de exposição, com temperatura constante.

No processo industrial de carbonetação (cementação) que é aplicado em peças de aço de baixo carbono, o carvão vegetal é colocado em contato com a peça, que é aquecida até a temperatura de austenitização. Com o aquecimento, o carbono do carvão vegetal une-se ao oxigênio do ar que se encontra na caixa de cementação, entre as partículas carburantes, e forma monóxido de carbono. Em contato com o ferro, o monóxido de carbono produz carbono atomizado que é absorvido pela austenita e se difunde para o interior da peça. Obtém-se desta forma, uma concentração de carbono na camada superficial variando de 0,8 a 1,0%. Este processo se faz de forma lenta e objetiva o enriquecimento da camada superficial de carbono para posterior tratamento.

No caso do método com deposição de carbono e tratamento térmico com arco elétrico, a difusão do carbono não se faz exclusivamente por via gasosa mas provavelmente, por via sólida, já que o processo TIG é utilizado com proteção de gás argônio inerte, isolando o oxigênio para formar a reação monóxido de carbono. Além disso, a velocidade de aquecimento e resfriamento é muito rápida, o que ocasiona a difusão e endurecimento da camada tratada ao mesmo tempo.

A Figura 4 mostra a região de tratamento pelo arco elétrico. Pode-se verificar que a estrutura é formada por uma quantidade pequena de martensita em placas e bainita acicular, característica de um aço austemperado, o que lhe confere melhores propriedades mecânicas.

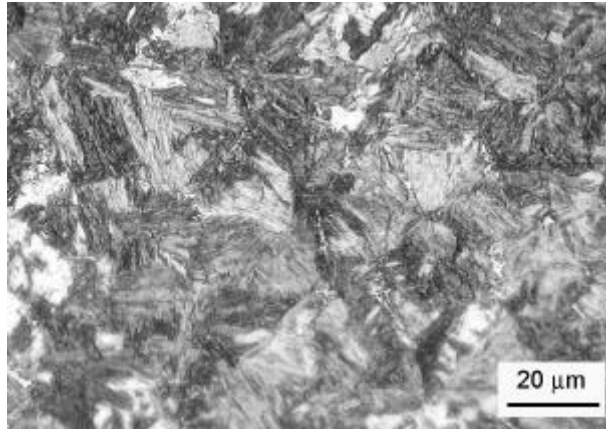


Figura 4. Micrografia da zona tratada, característica de um aço austemperado, mostrando a presença de martensita em placas e bainita acicular.

Para melhor caracterizar a estrutura da peça, empregou-se Microscopia Eletrônica de Varredura, como mostra Figura 5.

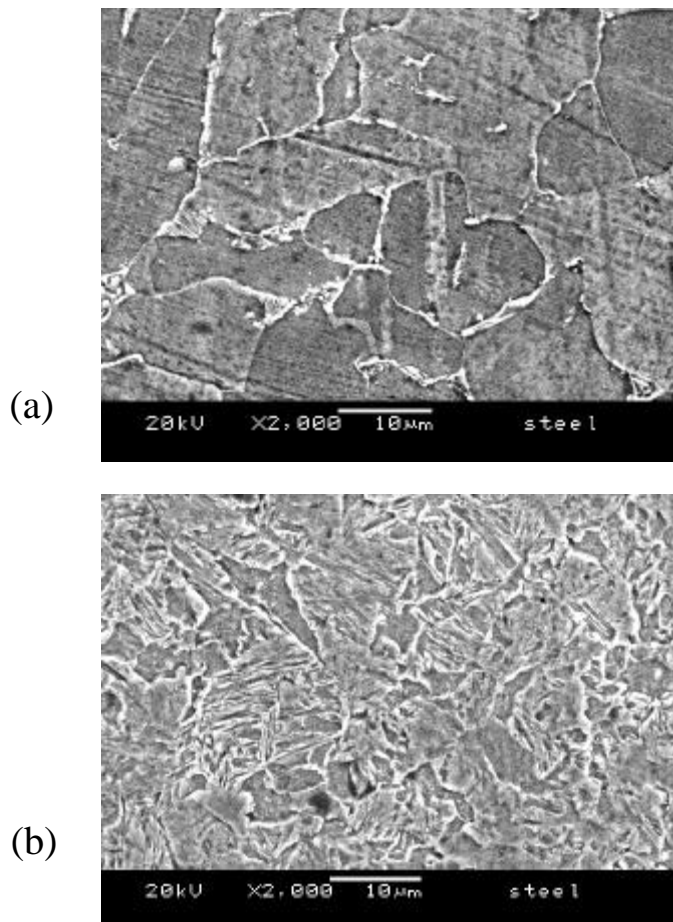


Figura 5. Microestrutura do metal de base (a) composto de ferrita e perlita; e zona tratada composta de martensita e bainita acicular (b).

Um perfil de dureza é apresentado na Figura 6 e mostra o aumento da dureza da zona tratada com relação ao metal de base. A dureza obtida com valor médio de HV 475 (HRC 50), corresponde aquela da bainita obtida por austempera<sup>(9)</sup>.

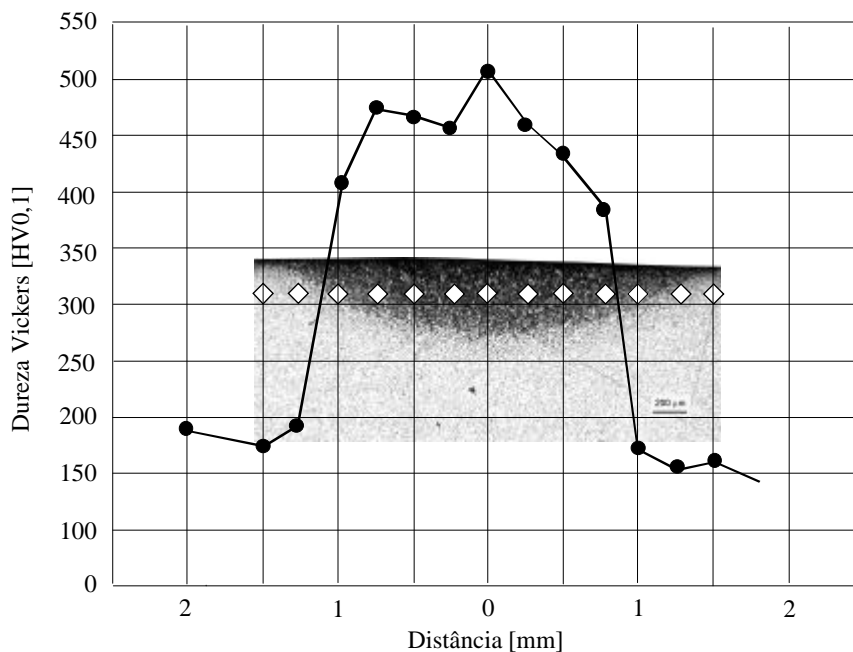


Figura 6. Perfil de dureza ao longo da zona tratada e do material de base.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos experimentos mostram a possibilidade de tratamento superficial por arco elétrico de aços baixo carbono, de uma forma rápida e com bons resultados. A adição de carbono na peça, via chama redutora, permite o endurecimento superficial com a difusão do carbono para o interior da peça e ao mesmo tempo efetuando um tratamento térmico que se assemelha a austempera. Apesar da largura da região tratada ser pequena para efetuar uma varredura rápida na peça, existe a possibilidade de trabalhar com intensidades de correntes maiores e portanto velocidades maiores o que permitira, pelo aumento do comprimento do arco, uma camada tratada mais larga.

#### 5. REFERÊNCIAS

- (1) NOVIKOV, Iliia. **Teoria dos tratamentos térmicos dos metais**. 1ª ed, Rio de Janeiro: UFRJ, 1994, 550 p.
- (2) MAEDER, G. ; BARRALIS, J. **Précis de métallurgie, élaboration, structures-propriétés et normalisation**, 5ª ed, Paris: Nathan -AFNOR, 1990, 185 p.
- (3) FOUQUET, Francis et al. Traitment thermique superficiel d'une fonte grise perlitique pás faisceau Laser. **Mémoires et Etudes Scientifiques de la Revue de Métallurgie**, n. 1, p. 23-31, 1991.
- (4) GUAN, Y. et al. Fatigue behavior of pearlitic s. g. cast irons after laser surface heats treatment. **Journal de Physique IV**, v. 1, n. 12, p. C781 – C786, 1991.

- (5) OLGIVIE, G.J. ; OGILVY, I.M. A heat treatments process using the tungsten-inert gas arc. **Metals Forum**, v. 2, n. 1, p. 34-39, 1979.
- (6) KUCERA, Sérgio da Silva. **Estudo microestrutural de ferro fundido tratado com o processo TIG**. 1995, Monografia de Especialização, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.
- (7) De PARIS, Aleir et al. Tratamento superficial de ferro fundido cinzento por arco elétrico. **In: XXII Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem**, 1996, Blumenau, SC, p.883-889.
- (8) LIMBERGER, Inácio Fontoura et al. Tratamento térmico superficial usando como fonte de calor um arco de solda TIG. **In: IV Simpósio de Tratamentos Térmicos e Engenharia de Superfícies**, 2002, Gramado, RS, CD-ROM.
- (9) CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 5ª ed., São Paulo: ABM, 1982, 517 p.

## **SUPERFICIAL TREATMENT OF STEELS USING DEPOSITION OF CARBON AND ELECTRIC ARC**

### **Lucídio Vanderlei Kunrath**

Federal University of Santa Maria, Department of Mechanical Engineering  
lucidio@mail.ufsm.br

### **Aleir Antonio Fontana De Paris**

Federal University of Santa Maria, Department of Mechanical Engineering  
aparis@ct.ufsm.br

***Abstract.** The superficial treatment of pieces to improve its resistance properties to the waste is known and frequently used. The expected result is an increase of the superficial hardness without modifying the mechanical properties of the base material. Several techniques are used with this objectify. A new technique was developed for the superficial treatment of lower carbon steels, consisting of the deposit of carbon and its posterior diffusion to the piece, using electric arc as support element to the diffusion. The results showed good results with increase of the hardness in the surface of the piece.*

***Keywords.** Electric arc, superficial treatment, steels, diffusion of carbon.*