



Instituto Politécnico, Nova Friburgo  
August 30<sup>th</sup> - September 3<sup>rd</sup>, 2004

paper CRE04-PF08

## Obtenção de Ferrita Acicular em Cordões-de-Solda, por Diferentes Rotas de Resfriamento

**Luis Fernando Gaeti Paris; Marcelo de Freitas Carvalho; Daniel Yvan Martin Delforge**  
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, FEIS, Universidade Estadual Paulista, UNESP  
CP 31, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil  
lfgparis@aluno.feis.unesp.br

Normalmente os aços utilizados em solda, possuem baixos teores de carbono. Porém, vários pesquisadores têm relatado a utilização de aços microligados de médio carbono. A combinação de boas características mecânicas dos aços de baixo carbono e elevado teor de ferrita acicular [1] e a obtenção de ferrita acicular em aços de médio carbono, são analisadas neste trabalho. Geralmente é aceito que os mecanismos que controlam a transformação da austenita para ferrita acicular são idênticos aos mecanismos que controlam a formação da microestrutura bainítica [2,3]. Até mesmo dois tipos de ferrita acicular, a inferior e a superior, a exemplo daquilo que ocorre com a bainita, já foram observadas [4]. A única diferença é o local aonde cada microconstituente nucleia. Enquanto que a bainita nucleia no contorno-de-grão da austenita, a ferrita acicular nucleia no interior do grão de austenita, em inclusões não-metálicas presentes nos aços. E é por isso que a ferrita acicular sempre foi associada à soldagem devido às elevadas concentrações de inclusões nos cordões-de-solda. Alguns autores denominam a ferrita acicular de “bainita fina de interior-de-grão”. Outros citam a “ferrita acicular inferior” e a “ferrita acicular superior”. Vários estudos a respeito dos fatores que favorecem um aumento na formação de ferrita acicular, chegaram à conclusão de que uma redução de superfície de contorno-de-grão austenítico por unidade de volume, favorecia a formação de ferrita acicular em detrimento da bainita, devido à redução dos locais propícios para a sua nucleação. Um efeito similar é obtido através do aumento do número de inclusões presentes no aço. É possível também se obter grande volume de ferrita acicular se uma fina camada de ferrita alotriomorfa se formar inicialmente no contorno-de-grão da austenita. Entretanto, deve-se controlar essa ferrita, no sentido dela não desenvolver ferrita de Widmanstätten ou bainita em baixas temperaturas de transformação. Isto pode ser obtido pelo controle da partição de carbono da austenita para a interface ferrita/austenita. Vários mecanismos foram propostos para explicar o modo pelo qual as inclusões-não-metálicas favorecem a formação de ferrita acicular[1]: a existência de locais aonde ocorrem variações na composição química da matriz, a formação de campos de tensão ao redor das inclusões devido aos diferentes coeficientes de expansão térmica entre a austenita e as inclusões; a melhoria no equilíbrio energético global, da transformação devido à redução da superfície de contato entre a austenita e as inclusões e ao aparecimento de uma superfície de baixa-energia entre a ferrita e as inclusões com a existência de um bom emparelhamento cristalográfico entre eles. No trabalho aqui apresentado, em grupo de corpos-de-provas do aço estrutural ASTM A36 foi soldados com oito passes e em seguida esses corpos-de-prova foram reaquecidos até 1473K em forno tubular com injeção de argônio como proteção contra a oxidação e mantidos a essa temperatura por um período de 360 segundo para em seguida serem resfriados de modo contínuo com taxas de resfriamento diferenciadas até a temperatura ambiente nos seguintes meios de resfriamento: dentro do forno, ar calmo, óleo queimado e água. Após este

procedimento, os corpos-de-prova foram embutidas em resina de poliéster, polidas e atacadas com nital 2,0%. As microestruturas resultantes foram analisadas pelas técnicas da metalografia convencional em bancada metalográfica Neophot 21 procedente da antiga RDA. A figura 01 exhibe um dos resultados mais expressivos. Nela pode ser observado microconstituintes tais como: ferrita acicular, ferrita de Widmantätten, ferrita poligonal, muito comuns em cordões-de-solda.

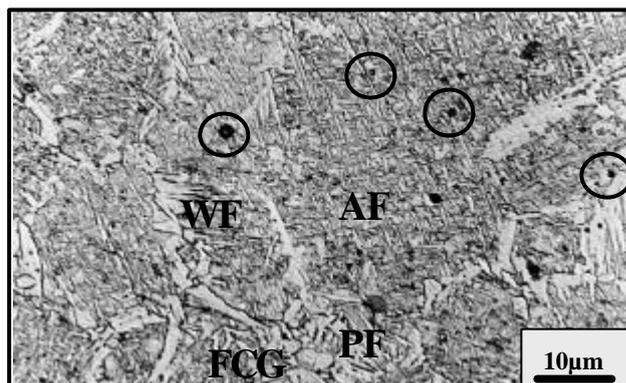


foto: LABSOLDAGC3M/FEIS/UNESP

Figura 01 – Metal-de-solda depositado no aço estrutural ASTM A36, resfriado em água à temperatura de 32<sup>o</sup>C, a partir de 1473K durante 360 segundos. Esta microestrutura constitui-se essencialmente de ferrita acicular (AF). Outras fases também estão presentes, tais como ferrita pró-eutetoide de contorno-de-grão (FCG), ferrita de Widmånstatten (WF) e ferrita poligonal (PF). Observam-se inúmeras partículas que serviram como substrato para a nucleação de ferrita acicular. Algumas destas partículas, que possivelmente se constituem em titânio, manganês ou outros elementos, estão evidenciadas no centro dos círculos. Ataque nital 3%.

#### REFERÊNCIAS

- [1] J.-H. Shim, Y.W. Cho, S.H. Chung, J.-D. Shim and D.N. Lee, “Nucleation Of Intragranular Ferrite At Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particle In Low Carbon Steel”, *Acta mater.* V. 47, No. 9, 2751-2760, 1999.
- [2] DOLBY, R.E. “Guidelines for classification of ferritic steel weld metal microstructural constituents using the light microscope”, *Welding in the World*, V.24, n.7/8, p.144-148, 1986.
- [3] Díaz, M et al. Improvement of Mechanical Properties in Structural Steels by Development of Acicular Ferrite Microstructures. *J. Construct. Steel Res.*, V.46, n. 1-3, pp. 413-414, 1998.
- [4] EVANS, G. M. “Effect of titanium on the microstructure and properties of C-Mn all weld metal deposits”, *Welding Journal*, V.71, p.447s-454s, 1992.