

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÕES DOS AÇOS “DUAL PHASE”¹

J.L.Braz²
A.Reguly³
T.R. Strohaecker³
F. Pinheiro⁴
P. Craidy⁵

Resumo

Os aços dual phase tiveram seus primeiros desenvolvimentos em 1937. A obtenção de microestrutura Ferrítica-Martensítica, desde o aquecimento de aços na região intercrítica e o posterior resfriamento, conferem elevada resistência mecânica, boa tenacidade a estes aços. No início da década de 70, devido às necessidades da indústria automobilística relacionadas ao desempenho mecânico e baixa densidade das ligas, os aços dual phase tiveram investimento consideráveis em pesquisas e desenvolvimentos. Neste trabalho, foi desenvolvido aço com aproximadamente 0,1% de Carbono e 2% de Silício, com o objetivo da obtenção de limite de escoamento superior a 500MPa através do resfriamento de amostras desde a zona intercrítica (constituída de ferrita-austenita), em meio de resfriamento severo (água), para a obtenção de microestrutura final ferrítica-martensítica. As taxas de resfriamento foram determinadas através da aplicação de levantamento teóricos utilizando-se diagramas de Lamont e ensaios em simulador termomecânico Gleeble. Avaliaram-se as propriedades mecânicas desde a temperatura obtidas nas simulações, concluindo-se que as amostras resfriadas desde 950°C apresentaram limite de escoamento superior a 500 MPa, com fração volumétrica de martensita de aproximadamente 40% na matriz ferrítica.

Palavras-chave: Aços bifásicos; Ferrita-Martensita.

DEVELOPMENT AND APPLICATIONS OF DUAL PHASE STEELS

Abstract

Dual phase steels were first developed in 1937. The achievement of a ferritic-martensitic microstructure, by heating to the intercritic region and subsequent quenching, gives these steels high strength and good tenacity. Since the beginning of the 70's, because of the autoparts industry demands related to high mechanical performance and low density of the alloys, considerable investments on dual phase steel research and development has been made. This article describes the development of an approximately 0,1%C, 2%Si steel, intending to obtain a yield stress greater than 500MPa, and this by the means of quenching from the intercritic region (composed of ferrite and austenite) in a severe quenching medium (water), in order to obtain a final ferritic-martensitic microstructure. The quenching rates were determined through the application of theoretical treatings, by using Lamont diagrams and tests in the thermo-mechanical simulator Gleeble. The mechanical properties were evaluated accordingly to the temperature of simulation, and it was concluded that the samples quenched from 950°C would show yield strength greater than 500MPa, with volumetric fraction of martensite in the ferrite matrix of approx. 40%.

Key words: Dual phase steels; Biphasic steels; Ferrite-martensite.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² M.Sc. Eng. Metalúrgico, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM) UFRGS.

³ Professor Dr., Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM) UFRGS.

⁴ Mestrando, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM) UFRGS.

⁵ Graduando, Engenharia de Materiais UFRGS.

1 INTRODUÇÃO

Os aços bifásicos ferríticos martensíticos são caracterizados por apresentarem microestrutura constituída de matriz ferrítica, que lhe conferem ductilidade, e “ilhas” de martensita que originam aumento significativo no limite de resistência e limite de escoamento destes materiais. Estes aços também são designados como aços bifásicos fracamente ligados apresentando boa soldabilidade, conformabilidade e aumento da resistência a corrosão em algumas aplicações (dependendo do eletrólito).

Geralmente estes aços estão associados com processos termomecânicos que consistem na aplicação simultânea de aquecimento e deformação com posterior resfriamento. Um rigoroso controle destas etapas tem relação direta com a microestrutura final destes aços.

A composição química é de grande importância nas propriedades mecânicas dos aços Bifásicos, governando particularmente a taxa de resfriamento crítica durante as transformações de fase. Carbono e manganês são os principais elementos, porém outros elementos atuam na temperabilidade, “ancoragem” de tamanho de grão, estabilidade de fases, resistência a corrosão entre outras características metalúrgicas.

Os demais elementos estão associados ao grau de pureza (nível de inclusões) e elementos residuais, oriundos da matéria prima utilizada no processo de fusão, sendo a sua composição controlada pelas usinas desde o forno de fusão e forno panela até o lingotamento (contínuo ou convencional).

Nos aços Dual Phase com 2% de Silício o elemento Silício atua diretamente na estabilização da ferrita expandindo a faixa de temperaturas da zona intercrítica do diagrama ferro carbono. Na Figura 1 pode ser visualizado o efeito da expansão da região intercrítica com adição de 2% de Silício no aço.

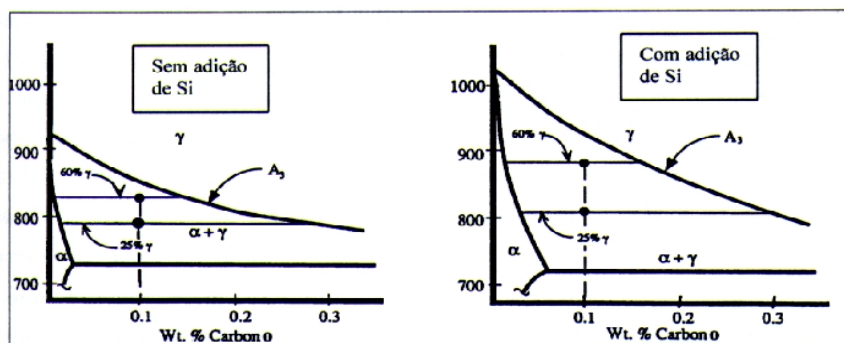


Figura 1. Efeito do silício nos aços, originando expansão da região intercrítica.

O silício também atua como inibidor na formação de carbonetos e é utilizado como desoxidante no processo de fabricação dos aços.

A resfriamento destes aços, desde a região intercrítica, pode ser realizado desde a etapa de conformação mecânica, em barras, após aquecimento na região intercrítica em peças acabadas. Em ambos os aquecimentos devem ser considerados os mecanismos básicos associados ao refino de grão, e crescimento de grão que podem afetar diretamente as suas propriedades mecânicas finais. Nos processo de laminação a recuperação dinâmica e a recristalização relacionados a deformação e ao aquecimento estão vinculados ao refino de grão. Se o tempo e a temperatura após a recristalização forem muito elevados, ocorrerá novo crescimento de grão. Na Figura 2, podem ser visualizadas, as etapas de recuperação dinâmica, recristalização e crescimento de grão, de uma barra laminada a quente.

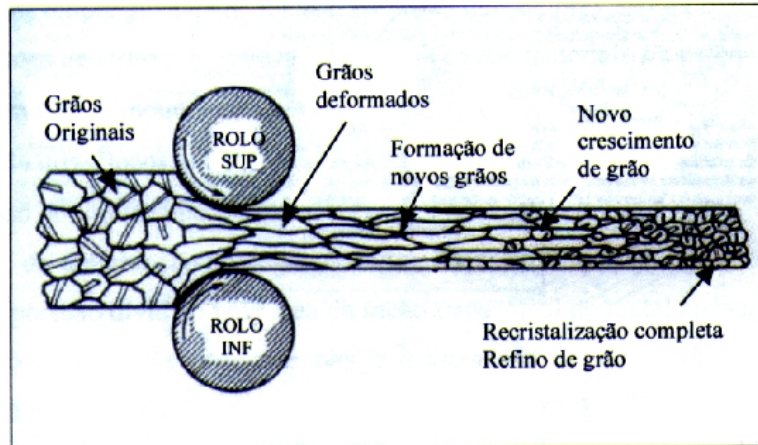


Figura 2. Etapas de recuperação dinâmica, recristalização e crescimento de grão em barras laminadas a quente.

Os volumes de “ilhas” de martensita na matriz ferrítica, originadas após o resfriamento são responsáveis pela resistência mecânica final dos aços bifásicos.

Verifica-se que aços com fração volumétrica na faixa de 35 a 40 % de martensita originam limites de escoamento superiores a 500 MPa. A obtenção das frações volumétricas de martensita, e a definição das taxas de resfriamento podem ser obtidas com a aplicação de modelos teóricos e através da utilização de simuladores termomecânicos.

O efeito da fração volumétrica de martensita com as propriedades mecânicas é obtida através da realização de ensaios de tração e análise da microestrutura definindo-se a melhor correlação para as propriedades desejadas.

Sistemas de análises de imagem em microscópios ópticos e em microscópios eletrônicos de varredura são aplicados para definição do tipo de fratura originada, após a aplicação dos ensaios de tração.

2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

2.1 Composição Química

As matérias-primas deste estudo foram fundidas em Forno à Indução à Vácuo de 135KW utilizando-se lingoteiras de 147 X 800 mm. Após os lingotes foram forjados e laminados para barras de diâmetro de 10mm.

A sucata de aço utilizada na fusão foi basicamente constituída de aços de baixo carbono. As composições químicas finais podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição Química, obtidas no processo de fusão, no forno a indução a vácuo.

%C	%Mn	%Si	%Cu	%Cr	%Ni	%Mo	%S	%P
0,1	0,35	1,96	0,07	0,03	0,01	0,01	0,09	0,01

2.2 Determinação Teórica dos Limites de Temperatura da Região Intercrítica

Foram utilizadas as equações 1 e 2 abaixo, determinando-se através do método desenvolvido por Andrews² as temperaturas limites das linhas Ac1 e Ac3 do diagrama ferro-carbono.

Equações:

- $T_{Ac1} (^\circ C) = 723 - 10,7Mn - 16,9Ni + 29,1Si + 16,9Cr + 290As + 6,38W$
- $T_{Ac3} (^\circ C) = 910 - 203^{1/2} - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W$

Os valores teóricos de temperaturas críticas obtidos, para a composição química da amostra estudada, estão indicados na Tabela 2.

Tabela 2. Limites teóricos de temperaturas da região intercrítica

TAc1 (°C)	TAc3 (°C)
776	953

Definiu-se a temperatura de aquecimento de 950°C, para a obtenção da microestrutura ferrítica-martensítica.

2.3 Simulador Termo-Mecânico Gleeble

O simulador Termo Mecânico Gleeble foi utilizado para a determinação das taxas de resfriamento necessárias para a obtenção da microestrutura bifásica, constituída de ferrita e martensita. A temperatura de aquecimento utilizada nas amostras foi de 950°C. Aplicaram-se diferentes taxas de resfriamento, para posterior comparação com as microestruturas obtidas.

Com os dados obtidos verificou-se que as taxas de resfriamento necessárias somente poderiam ser obtidas em solução aquosa e/ou solução polimérica de baixa concentração (concentração de até 5%).

2.4 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração foram realizados no equipamento Shimadzu UH de 2000KN, utilizando-se um clip gage Shimadzu St 50-50. Determinou-se Limite de Resistência, Limite de Escoamento, Alongamento e Estricção.

2.5 Análise Microestrutural e Mecânica da Fratura

As amostras utilizadas nos ensaios de tração foram analisadas, aplicando-se os procedimentos de metalografia, que consistem em corte transversal, lixamento, polimento e ataque químico. Posteriormente as amostras foram analisadas em microscópio óptico e os volumes de martensita foram determinados com auxílio de software de análise de imagens.

Nas regiões de ruptura das amostras, após os ensaios de tração, as fraturas foram caracterizadas com a utilização de microscópio eletrônico de varredura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Química e Ensaio de Tração

A composição química obtida encontra-se dentro dos parâmetros utilizados para a expansão da zona intercrítica, devido a obtenção do teor de Silício de 1,96%. Esta expansão da região intercrítica ocasionou a possibilidade da realização do aquecimento do aço na temperatura de 950 °C , indicada nas simulações para aquecimento das amostras.

Nos ensaios de tração realizados, obteve-se as propriedades mecânicas indicadas na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades mecânicas dos aços dual phase , após aplicação de aquecimento e resfriamento em solução aquosa.

L.Resistência MPa	L. Escoamento MPa	Alongamento %	Extracção %
842	570	23	34

3.2 Microestruturas e Fração Volumétrica de Martensita

As microestruturas obtidas constituídas de matriz ferrítica e “ilhas” de martensita com fração volumétrica de entre 35 e 40% que conferiram tensão de escoamento superior a 500MPa, sendo os objetivos deste trabalho alcançados.

Na Figura 3 podem ser visualizados as microestruturas típicas dos aços dual phase, resfriados em solução aquosa desde a temperatura de 950°C.

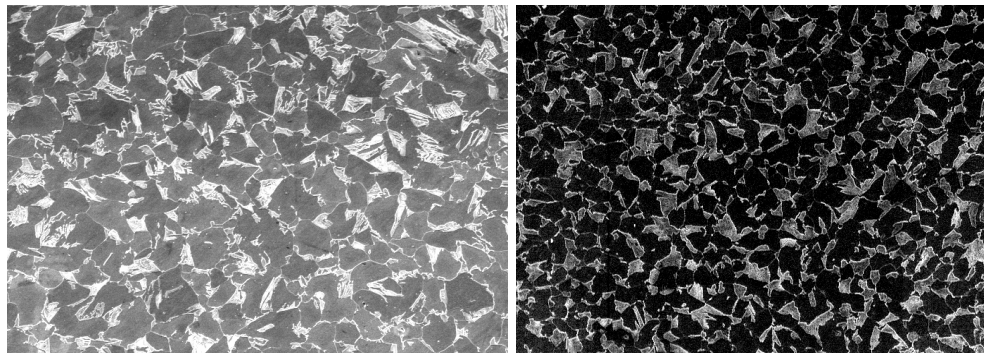


Figura 3 – Matriz ferrítica e “ilhas” de martensita que conferem resistência mecânica das amostras. Microscópio eletrônico de Varredura. Aumento 600X.

3.3 Análise das Fraturas

As fraturas observadas foram caracterizadas pela ocorrência de coalescência por microcavidades, típicas de fraturas dúcteis. Na Figura 4 podem ser verificadas as características das fraturas encontradas.

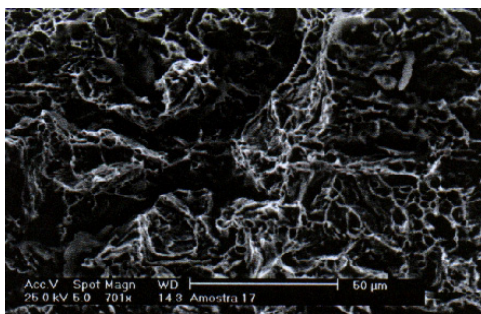


Figura 4. Fractografia apresentando fratura dúctil evidenciada pelo aparecimento de coalescência por microcavidades.

4 CONCLUSÕES

- A composição química utilizada na produção das amostras apresentou bons resultados quanto a obtenção da microestrutura bifásica ferrítica-martensítica.
- Na temperatura de 950°C, o volume de martensita obtido foi superior a 30%, obtendo-se limite de escoamento superior a 500MPa.
- O meio de resfriamento deve ser severo devido à baixa temperabilidade da liga e a temperatura de aquecimento deve estar pouco abaixo da temperatura de austenitização do aço. Em outras composições químicas podem ser aplicadas temperaturas mais baixas, aplicando-se nos estudos critérios similares aos utilizados neste trabalho.
- Estes aços apresentam boa soldabilidade devido ao seu teor de carbono e ótima ductilidade.

- Outras composições químicas com teores mais elevados de carbono ocasionam limite de resistência e de escoamento mais elevados, além uma boa ductilidade.
- Os dados obtidos nas simulações termo-mecânicas e os valores das temperaturas das equações 1 e 2 para a determinação das temperaturas Tc3 e Tc1 foram compatíveis com a fração volumétrica de martensita obtida.
- Podem ser adaptados equipamentos de laminação controlada, com meios de resfriamento após o último passe de laminação, para a obtenção dos aços “dual phase steel”.

REFERÊNCIAS

- 1 ASM Metals Handbook – Vol. 4 – Heat Treating – ASM,1991
- 2 ASM Heat Treater`s Guide – ASM 1982
- 3 J.L.Braz, Desenvolvimento e Caracterização dos Aços Bifásicos, agosto 2002.
- 4 T. Bell, A. Bloyce, J. Lanagan, in George Kraus: Heat Treatment and Surface Engineering 1989.