

# **INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TAXAS DE RESFRIAMENTO NO PROCESSAMENTO TÉRMICO DE UM AÇO ASTM A-516 GRAU 70, APLICADO NA FABRICAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO**

Flavio Nunes dos Santos, Ulisses Barbosa Junior, Marcelo dos Santos Pereira – Departamento de Materiais e Tecnologia – Faculdade de Engenharia - Campus de Guaratinguetá.

Este trabalho investigou a influencia de diferentes taxas de resfriamento no processamento térmico de um aço aplicado na industria de vasos de pressão, visando: caracterização mecânica das estruturas multifásicas, caracterização microestrutural e fractográfica, verificação e comparação com o tratamento térmico de normalização, da influência do resfriamento rápido a partir da temperatura de austenitização, seguida de revenimento, prevista na norma ASTM A-516, nas propriedades mecânicas do material, antes e depois dos tratamentos térmicos de alívio de tensões e, contribuição para o desenvolvimento tecnológico. As exigências de mercado têm proporcionado um interesse contínuo na pesquisa e desenvolvimento de aços, com conseqüente progresso considerável nos processamentos térmicos e termomecânicos. Neste contexto, as chapas de aço carbono-manganês com adição de microligantes, tratadas termicamente e resfriadas rapidamente a partir da temperatura de austenitização, seguido de revenimento, representam uma alternativa importante tendo em vista que esta estrutura pode aumentar a tenacidade, sem grandes perdas na resistência do material, após o tratamento térmico de alívio de tensões. Estas chapas apresentam ainda um carbono equivalente baixo, melhorando as condições de soldabilidade do material. A somatória destas características apresentadas pelos aços carbono-manganês faz com que estes materiais tenham um grande potencial em termos de pesquisa e desenvolvimento de aços para uso em vasos de pressão. Atualmente o mercado nacional não consegue atender aos requisitos de um aço C-Mn conforme norma ASTM A-516 Grau 70, normalizado, com tratamento térmico de alívio de tensões com tempo de patamar superior a 10 horas, atendendo aos seguintes requisitos: a) CE baixo (0,45% máximo); b) Dureza 180HB e c) Energia absorvida no teste de impacto Charpy V-notch com temperaturas abaixo de -35°C. Aços que atendam a estes requisitos de qualidade são, em sua grande maioria, importados de usinas européias e/ou asiáticas, onde a tecnologia da *laminação controlada* já é adotada e muito bem difundida. Com esta tecnologia, todos os requisitos acima são atendidos, ampliando o leque de aplicação destes aços nos projetos mais críticos para fabricação de vasos de pressão e oferecendo melhores condições de soldagem, reduzindo a probabilidade de ocorrências de trincas a quente e oferecendo dureza mais baixa no equipamento. Este processo exige um pesado investimento nas usinas nacionais, o que torna sua fabricação muito complicada no cenário econômico que vive o país hoje. Neste trabalho foi utilizado um aço produzido pela Usina Siderúrgica de Minas Gerais – USIMINAS, fornecido pela CONFAB Equipamentos, Grupo Tenaris. O aço utilizado nos experimentos foi selecionado por ser um aço produzido comercialmente pela USIMINAS e utilizado na fabricação de equipamentos pela CONFAB. A composição química do material foi fornecida pela siderúrgica. As porcentagens dos elementos químicos (em peso, %) presentes estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1 Composição química do material

%	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	V	Ti	Cr	Ni	Sn	N	B	Ca
10 <sup>2</sup>	0,17	0,25	0,96	0,016	0,007	0,041	0,03	0,020	0,001	0,016	0,02	0,02	0,001	0,0049	0,0001	0,0019

Foram realizados tratamentos térmicos iniciais para determinação das taxas de resfriamento do material. Nesses tratamentos, visou-se acompanhar curvas-padrão de resfriamento da USIMINAS, curvas estas que partem de 840°C e atingem uma temperatura entre 100°/150°C. Para tanto, partiu-se de duas situações: um corpo-de-prova do aço como fornecido e outro corpo-de-prova de um aço austenitizado (mantido à 900°C por cerca de dez minutos e normalizado posteriormente). O aquecimento dos corpos-de-prova foi controlado com o auxílio de um termopar, para maior certeza da temperatura a que estavam submetidos dentro do forno, e de um cronômetro, para aferição do tempo em que cada amostra permaneceu na temperatura de austenitização. O resfriamento foi feito em um banho de água, com e sem agitação, retirando a amostra do forno e colocando-a em contato com a água, acompanhando a diminuição da temperatura em função do tempo decorrido, obtendo desta forma uma taxa de resfriamento. É importante salientar que o resfriamento feito com agitação obteve a menor taxa de resfriamento, entre as duas amostras. Finalmente, a partir do seccionamento da chapa e confecção dos corpos-de-prova, e determinação das temperaturas de trabalho foram realizadas as cinco condições definitivas de tratamentos térmicos: (a) fornecido, (b) austenitização (910°C por 30 minutos) + tratamento de normalização (910°C por 10 minutos), (c) austenitização + tratamento de normalização, seguido de tratamento térmico de alívio de tensões (630°C por 10,5 horas), (d) austenitização + tratamento com resfriamento rápido a partir da temperatura de austenitização (910°C por 10 minutos, seguido de resfriamento em água, taxa de resfriamento de, aproximadamente, 30°C/segundo), seguido de revenimento (670°C por 180 minutos) e (e) austenitização + tratamento com resfriamento rápido a partir da temperatura de austenitização, seguido de revenimento e tratamento térmico de alívio de tensões. As temperaturas dos tratamentos foram selecionadas de acordo com procedimentos padrões realizados pela empresa, respeitando-se as normas vigentes (ASME, seção VIII). Foram realizados também ensaios de tração e de impacto. Os corpos-de-prova para controle da taxa de resfriamento foram extraídos, no sentido da laminação, de uma seção retangular de chapa do aço, com dimensões de 1700 x 2580mm, com espessura de 63,50mm, produzida pela USIMINAS, e foram usinados no Laboratório de Usinagem da CONFAB Equipamentos e no Laboratório de Usinagem de Precisão do DMT/FEG/UNESP, de acordo com a norma ASTM A-516 e A-20. Os corpos-de-prova para os ensaios de tração, também foram extraídos da chapa fornecida pela CONFAB Equipamentos, no sentido da laminação, e foram usinados no Laboratório de Usinagem da CONFAB Equipamentos e no Laboratório de Usinagem de Precisão do DMT/FEG/UNESP, de acordo com a norma para ensaio de tração da ASTM E8 M. Os corpos-de-prova para impacto foram usinados no Laboratório de Usinagem da CONFAB Equipamentos e no Laboratório de Usinagem de Precisão do DMT/FEG/UNESP, seguindo as dimensões normalizadas para o ensaio (ASTM A-516), como segue na figura abaixo. Os corpos-de-prova foram usinados em uma fresadora ferramenteira, de marca Brigeport, com comando numérico computacional, e o entalhe aberto por eletroerosão. A caracterização microestrutural envolveu técnicas associando conceitos de processamento digital de imagens que permitiram medições de parâmetros como tamanho de grão e fração volumétrica das fases. Para cada condição de processamento térmico, foi realizada uma avaliação qualitativa (identificação) e quantitativa (frações volumétricas) das fases presentes, para que fossem isoladas e visualizadas as fases presentes. Baseado em pesquisas anteriores realizou-se um desenvolvimento nas técnicas de preparação e ataque para caracterização da estrutura,

especialmente quanto ao polimento e limpeza das amostras assim como nos procedimentos dos ataques químicos. Desta forma, a análise metalográfica consistiu nas seguintes etapas: seccionamento, embutimento, lixamento, polimento, limpeza e ataque químico. Nas etapas da análise metalográfica, buscou-se a caracterização do material através de técnicas de microscopia óptica, utilizando-se procedimentos metalográficos para identificação e quantificação das fases presentes no aço. O reagente químico utilizado foi o Nital, que é usualmente aplicado na revelação de microestruturas de aços ao carbono, apresentando alguma limitação na identificação de determinadas fases, especialmente quando elas estão em coexistência. Desta forma, foram obtidas fotomicrografias que foram separadas de acordo com sua especificação, em função do tratamento térmico realizado, como por exemplo, referente ao aço como fornecido ou referente ao aço normalizado e, de acordo com o sentido da laminação, pois também foram retiradas amostras ao longo do sentido transversal da amostra. As fotomicrografias foram obtidas com ampliações de 500 vezes, para ambas as amostras. Em todas as etapas da análise metalográfica, buscou-se a caracterização do material através de técnicas de microscopia óptica, utilizando-se procedimentos metalográficos para identificação e quantificação das fases presentes no aço. Através do ataque químico com Nital, percebe-se a presença de uma estrutura composta basicamente de ferrita (em tonalidade cinza clara) e perlita (em tonalidade cinza escura). A microestrutura surge com grãos ferríticos bem definidos e contornos de grão bem delineados. Devido ao tratamento térmico realizado, especialmente quanto ao resfriamento acelerado, percebe-se a possibilidade de formação de pequenas frações volumétricas de bainita. A análise fractográfica do material, para observação da superfície de fratura, não foi realizada. Em função das características macroscópicas da fratura, obtidas após ensaios de tração, observa-se que o material apresenta elevado alongamento em todas as condições analisadas, o que pressupõe que o material apresenta características de fratura dúctil, com presença de dimples (alvéolos ou microcavidades) na sua superfície rompida. Com relação aos corpos-de-prova de impacto, também se percebe os comportamentos dúcteis do material, apresentando elevada absorção de energia, em todas as condições dos ensaios realizados. Os resultados obtidos através dos ensaios mecânicos de tração estão representados na Tabela 2. Todos os resultados são apresentados com o respectivo desvio-padrão.

Tabela 2. Resultados dos ensaios mecânicos de tração.

Condições	Resistência à Tração (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Alongamento (%)
A	$523 \pm 8$	$346 \pm 3$	$38 \pm 1$
B	$472 \pm 5$	$301 \pm 5$	$39 \pm 1$
C	$452 \pm 2$	$300 \pm 3$	$41 \pm 0,7$
D	$536 \pm 10$	$390 \pm 8$	$31 \pm 0,5$
E	$507 \pm 10$	$368 \pm 7$	$38 \pm 1,5$

Assim como demonstrado no item anterior, os resultados obtidos através dos ensaios mecânicos de impacto estão representados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos ensaios mecânicos de impacto.

Condições	Energia Orientação T-L (J)	Energia Orientação L-T (J)
A	$70 \pm 3$	$72 \pm 4$
B	$110 \pm 5$	$113 \pm 4$
C	$84 \pm 5$	$81 \pm 3$
D	$120 \pm 4$	$122 \pm 3$
E	$89 \pm 3$	$88 \pm 4$

Do trabalho, e de acordo com as cinco condições definitivas de tratamentos térmicos realizadas, pode-se concluir que: a) o tratamento de normalização propiciou uma redução nos valores de resistência à tração e do limite de escoamento, um aumento no alongamento e na energia absorvida pelo material, quando comparado ao aço como fornecido. Estas variações podem ser justificadas, principalmente, pelo refinamento do grão ferrítico. b) o tratamento de alívio de tensões, tanto após a normalização como após o resfriamento acelerado, provocou uma queda nos níveis de resistência à tração e do limite de escoamento, além de uma elevação nos níveis do alongamento e da tenacidade, que podem ser justificados pela esferoidização da cementita e pela precipitação de  $\text{Fe}_3\text{C}$  nos contornos de grão ferrítico. c) o resfriamento acelerado ocasionou uma sensível melhoria na resistência à tração e no limite de escoamento, e uma redução no alongamento e na energia absorvida pelo aço. Estas alterações são justificadas principalmente pelo refinamento do grão ferrítico e pela formação de pequenos teores de bainita no material.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ratnapuli,R.C., Cortes,C., *Plate Production Capability at Usiminas*, Steel Technology International, 1993, p.185-188.
2. Timokhina,I.B., Hodgson,P.D., Pereloma,E.V., *Effect of Deformation Schedule on the Microstructure and Mechanical Properties of a Thermomechanically Processed C-Mn-Si Transformation Induced Plasticity Steel*, Metallurgical and Materials Transaction A, vol.34, Aug., 2003, pp.1599-1609..
3. COLPAERT, H., *Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns*, 3ª edição; editora Edgard Blücher: São Paulo, 1974.
4. KRAUSS, G, *Microstructure processing and porperties of steels*, *Metals Handbook*, 10<sup>th</sup> edition, ASM, Materials Park, v.1.