

## **ESTUDO DA MICROESTRUTURA DO AÇO NAVAL ASTM A-131 GRAU AH36 AQUECIDO ATÉ AS TEMPERATURAS DE CONFORMAÇÃO**

Edson F. Pereira<sup>1</sup>, Ricardo A. Sanguinetti Ferreira<sup>2</sup>, Tiago L. Rolim<sup>3</sup>, Yogendra Prasad Yadava<sup>4</sup>, Paternak de Sousa Barros<sup>5</sup>.

<sup>1,2,3,4,5</sup> UFPE , Avenida Professor Moraes Rego, nº 1235 - Cidade Universitária,  
Recife - PE - CEP: 50670-901, e-mail: [edsonfernando@ipojuca.ifpe.edu.br](mailto:edsonfernando@ipojuca.ifpe.edu.br)  
Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós Graduação.

### **RESUMO**

*As chapas da proa e popa dos navios têm curvaturas complexas, para conformá-las exige-se a aplicação do processo de conformação por linhas de calor. Este método utiliza uma fonte de calor em movimento com o objetivo de provocar na região aquecida uma dilatação plástica. Neste trabalho, apresentaremos um estudo micro estrutural do aço naval ASTM A131 grau AH36, aquecido nas temperaturas de 500°C e 900°C, simulando em laboratório o processo de linha de calor. Os resultados mostraram que os efeitos térmicos sobre a microestrutura na região plastificada. Algumas temperaturas os grãos de ferrita subdivide-se em sub-grãos devido à intensa recristalização. Em temperaturas mais elevadas, além da recristalização, o material perdeu totalmente os efeitos da textura inicial de laminação, caracterizando degradação do material. Pode-se concluir que a medição e o controle da temperatura nos processos de conformação por linhas de calor são imprescindíveis para se evitar as possíveis degradações do material.*

*Palavras Chaves: Microestrutura, Aço ASTM A 131 Grau AH36, Conformação por Linhas de calor.*

## INTRODUÇÃO

Na indústria naval as operações de soldagem de painéis reforçados, geralmente são controladas por procedimentos específicos, que produz soldas de qualidade que reduzem as deformações, contudo, existe a possibilidade de aparecimento de deformações dimensionais, além das recomendações das normas de inspeção, então, necessita-se de correções. Na Fig. 1, mostra uma correção das deformações dimensionais de um convés, na edificação de um bloco aplicando o processo de linha de calor.



Figura 1- Aplicação de linha de calor para correção no convés de navio  
Fonte: Voestalpine Stahi Gmbh, disponível em [www.voestalpine.com.steel](http://www.voestalpine.com.steel)

A linha de calor como correção é o método mais seguro, efetivo e econômico de reparar estruturas danificadas, entretanto, deve-se fazer uma análise analítica do comportamento das chapas; observar as faixas de temperaturas; medir os gradientes de temperaturas; onde e como aplica a fonte de calor; como utilizar os equipamentos de tensão (1).

Complementa que existem diversos tipos de linhas de calor para correção de distorção de estruturas, conforme Fig. 2, que podem ser combinadas entre elas, para operação uma eficiente. Incluem-se definir os parâmetros de velocidade da tocha, altura da tocha, fluxo de resfriamento, ângulo da fonte de calor e outros, que são parâmetros comuns na indústria naval.

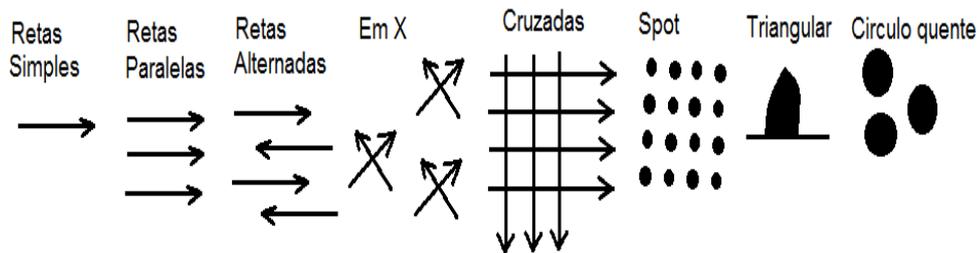


Figura 2 - Tipos de aplicações de Linha de Calor

Reta simples, paralelas e alternadas. A linha de calor é aplicada ao longo e em sequência, este método é frequentemente usado para remover distorções angular através de ligações das placas e dos perfis reforçados.

Em X. A linha de calor é aplicada em linhas em forma de X, este método é um meio termo entre a linha continua e por spot. Quando ocorrem deformações angulares em duas direções

Linhas cruzadas. As linhas de calor são aplicadas transversalmente, este método é frequentemente usado para remover severas distorções. Uma vez deve ter cuidado com não exceder a temperatura recomendadas pelas certificadoras (2), limitada a 650 °C.

Spot. O calor é aplicado varias vezes num ponto determinado, este método é largamente para correção de e remoção de distorção em especial em estruturas de chapas finas.

Triangular. O calor é aplicado sobre uma área de forma triangular, este método é usado para remover distorção de dobramento nos bases de perfis.

Circulo quente. Quando severas distorções ocorrem em áreas bem localizadas, pode ser necessário um batimento com martelo em altas temperaturas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A linha de calor foi produzida pela chama oxiacetilênica deslocando-se na velocidade de 5,3 mm/s e 13,4 mm/s, logo após, aplicado um resfriamento por um jato de água. As temperaturas das aplicações das linhas de calor foram medidas e registradas por uma câmara termográfica. Porém, as geometrias da região aquecida pela linha de calor, na chapa de 12,7 mm, não foram suficientes para verificação das microestruturas. Então, necessitou-se de uma simulação em amostras maiores.

As amostras foram tiradas da chapa ASTM A 131 grau AH36, caracterizada por laminação controlada seguida de resfriamento acelerado (TMCP), na classe de tensão de escoamento de 36 Kgf/mm<sup>2</sup> [353,04 MPa], nas dimensões 3,0 mm de espessura, largura, variando entre 5,0 a 7,0 mm e comprimento de 10 mm, conforme Fig. 3.

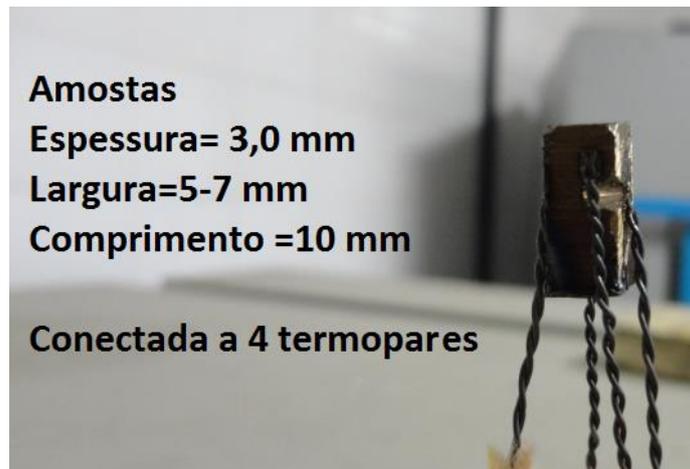


Figura 3 - Amostra da chapa.

A simulação das temperaturas obtidas na linha de calor foi realizada no forno mostrado na Fig. 4, as amostras das chapas foram aquecidas nas temperaturas de 500°C e 900°C três evidências para cada temperatura e resfriadas rapidamente em água, Quatro termopares do tipo K foram instalados um em cada superfície.



Figura 4- Equipamentos de Aquecimento e de coleta de dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As temperaturas registradas nas aplicações das linhas de calor, medidas por uma câmara termográfica, que consistiu em aplicar uma linha de calor, em um lado da amostra de chapa, fixada numa anteparo e noutro lado, posicionada a câmara termográfica adequadamente ajustada, atingiu valores conforme Tab. 1.

Tabela 1- Características térmicas da aplicação da linha de calor.

Número do Bico	8	
Fluxo de Calor	3.784,31 J/s	3.854,20 J/s
Velocidade de Deslocamento da chama	5,3 mm/s	13,4 mm/s
Temperatura medida na Câmara Termográfica	<b>968,90 °C</b>	<b>581,90 °C</b>

Observa-se que a velocidade de deslocamento da chama é inversamente proporcional a temperatura, para uma pequena variação do fluxo térmico. Então, sabe-se que em uma aplicação da linha de calor a temperatura pode atingir 581,90 °C até 968,90 °C dependendo da velocidade de aplicação. Em muitos casos, na indústria naval não controla a temperatura da chama aplicada nos painéis navais (3).

As micrografias foram obtidas em três situações distintas, a primeira do metal base, na temperatura ambiente, a segunda, aquecida na temperatura a 500°C e a terceira na temperatura de 900°C, ambas no centro da amostra e na região próxima à extremidade.

A micrografia do metal de base, aço ASTM A 131 grau AH36, na temperatura de 30°C, apresenta-se com grãos grosseiros de perlita primária e de ferrita intergranular entre os veios de perlita alinhados devido ao processo de laminação, conforme mostrado na Fig. 5. A Microdureza atingiu um valor de 165,76 HV.

A microestrutura da amostra aquecida a 500°C se apresenta diversificada, sendo constituída de grão de perlita mais concentrado em forma circular e grão de ferrita primária mais acentuada, praticamente a perlita indicadora do sentido de laminação alinhada fica menos visível, indicando um alívio de tensão.

Na Fig. 6 (A) apresenta a micrografia do centro da amostra, enquanto que na Fig. 6 (B), mostra a micrografia na região próxima à extremidade. A microdureza atingiu um valor de 191,38 HV.

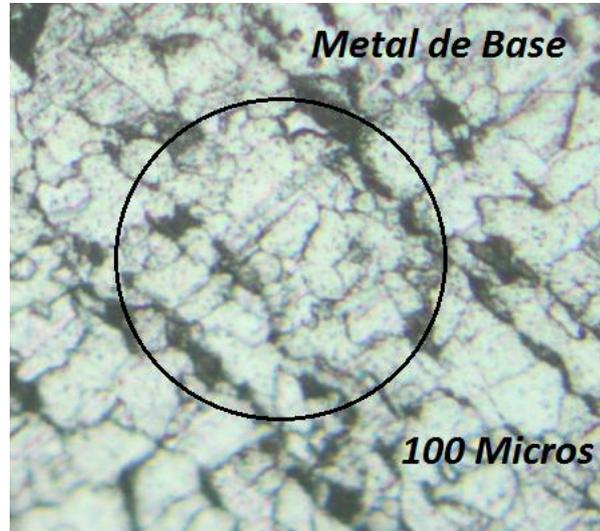


Figura 5 - Centro da amostra do metal de Base a 30°C. Aumento 200x.

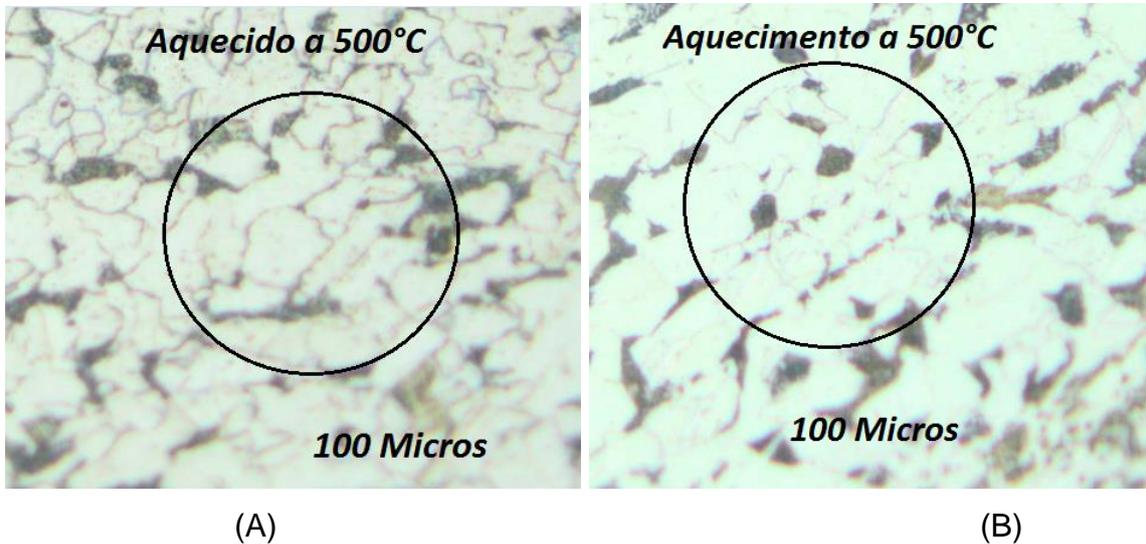


Figura 6 – (A) Centro da amostra, (B) Na extremidade da amostra, na temperatura de 500°C. Aumento 200x.

A microestrutura da amostra aquecida a 900°C se apresenta com elevada recristalização e o material perdeu totalmente os efeitos da textura inicial de laminação, caracterizando degradação do material.

Na Fig. 8 (A) apresenta a micrografia no centro da amostra, enquanto que na Fig. 8(B), mostra a micrografia na região próxima à extremidade. A microdureza atingiu um valor de 220,55 HV nas regiões dos círculos.

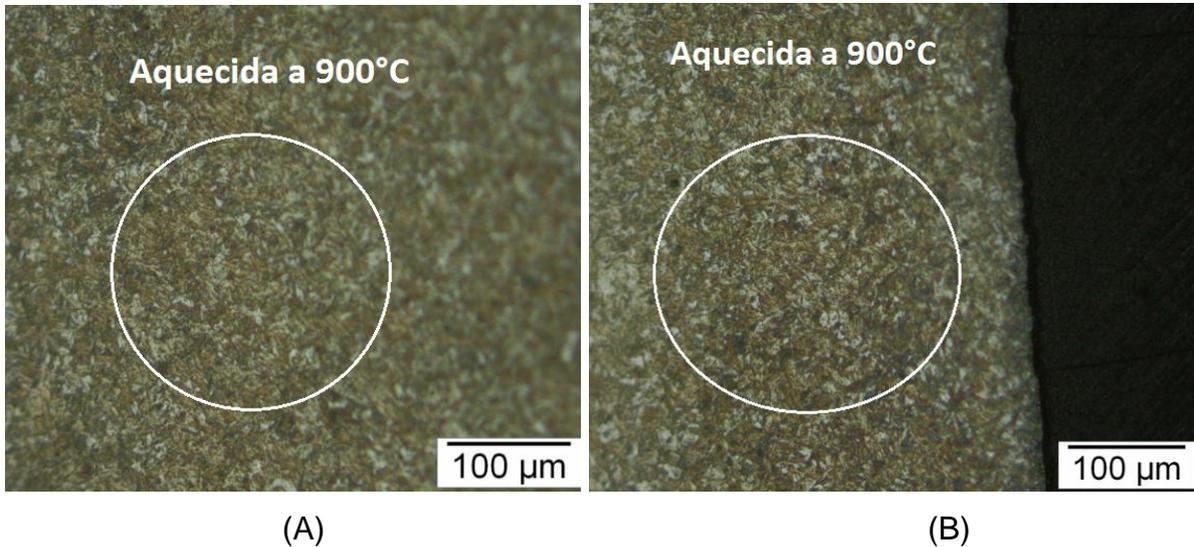


Figura 8 – (A) Centro da amostra, (B) Na extremidade da amostra, na temperatura de 900°C. Aumento 200x.

## CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que os efeitos térmicos sobre a microestrutura na região plastificada apresenta recristalização. Enquanto que, nas regiões que atingiram temperaturas mais elevadas houve degradação do material.

Pode-se concluir que a medição e o controle da temperatura nos processos de conformação por linhas de calor são imprescindíveis para se evitar as possíveis degradações do material, nas elevadas temperaturas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFPE (Instituto Federal de Pernambuco) campus Ipojuca, especialmente ao curso de construção naval e a UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) pelo acesso as pesquisas em suas dependências.

## REFERÊNCIA

- 1 AVENT, R. **Heat Straightening of Steel: From Art to Science**. USA. 2003
- 2 ABS AMERICAM BUREAU OF SHIPPING. In: **Rules of Materials and Welding , Part 2, Chapter 4, Preparation Welding 3, Forming**. Houston USA: ABS Plaza, 2007.
- 3 CLAUSEN, H. B. **Plate Forming by Line Heating**. Department of Naval Architecture and Offshore Engineering, Technical University of Denmark. KGS.. LYNGBY. 2000. (<http://orbit.dtu.dk/files/5446521/Clausen.pdf>. Acesso in 12/05/2012).

### STEEL MICROSTRUCTURE STUDY OF NAVAL ASTM A-131 DEGREE AH36 HEATED UP AS FORMING TEMPERATURES

*The plates of the bow and stern of the ship have complex curvatures; to conform them requires the application of the forming process by lines of heat. This method uses a moving heat source in order to cause the heated region a plastic dilation. In this paper, we present a micro structural study of naval steel ASTM A131 Grade AH36, heated at temperatures of 500 ° C and 900 ° C, simulating in a laboratory heat-line process. The results showed that the thermal effects on the microstructure in the plasticized region. Some temperatures of the ferrite grains is subdivided into sub-grains due to recrystallization intense. At higher temperatures, beyond the recrystallization, the material has completely lost the effects of the initial texture lamination, characterized degradation of the material. It can be concluded that the measurement and control of temperature in the heat lines for forming processes is essential to avoid possible degradation of the material.*

*Key Words: Microstructure, ASTM A 131 steel Grade AH36, Conformation heat lines.*