



## 20º Congresso de Iniciação Científica

### ESTUDO DE ESTRUTURA BANDEADA EM AÇOS CARBONO E AÇOS DE BAIXA LIGA

#### Autor(es)

---

MARINA FONSECA SPAGNOL

#### Orientador(es)

---

RODOLFO LIBARDI

#### Apoio Financeiro

---

FAPIC/UNIMEP

#### 1. Introdução

---

Os aços são ligas de ferro com percentual de carbono que varia entre 0,008% a 2,11 % podendo conter outros elementos de liga tais como: Mn, Si, P, S, Cr, Mo, Ni, Al, Co, Cu, V, W, Ti, enfim, qualquer outro elemento que dê o efeito desejado a liga (CHIAVERINI, 1986).

Com as especificações da composição química dos aços, espera-se que em toda sua extensão, o mesmo apresente a mesma composição química. Os processos de lingotamento contínuo, solidificação do lingotamento, grau de redução/difusão, tratamento a quente, resfriamento e laminação, esses processos podem interferir na microestrutura do aço carbono e aço baixa - liga, que com consequência podem gerar problemas de segregação (COLPAERT, 2008).

Um dos problemas de segregação é obtido pelo processo de laminação, onde a mesma alinha a microsegregação dendrítica do aço, gerando uma microestrutura bandeada (COLPAERT, 2008).

O bandejamento pode ser definido como uma condição microestrutural que apresenta bandas alternadas com diferentes microestruturas, paralelas à direção de laminação, que se desenvolve nos produtos de aço, em especial em aços baixo carbono (MAHL *et al.*, 2000; KRAUSS, 2003).

Para aços de construção mecânica com estrutura ferrita e perlita laminados a quente no estado austenítico, a presença de bandas alternadas de ferrita e perlita na direção de laminação é comum. A importância de se reduzir o grau de bandejamento deve-se à busca por uma melhor homogeneidade microestrutural, com consequente melhoria das propriedades dos produtos/componentes (MAHL *et al.*, 2000).

Para a eliminação da microestrutura bandeada, tratamentos térmicos são aplicados no aço carbono. Tratamentos térmico são um conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características determinadas, porém, não se determina o tipo de tratamento térmico pelo caráter da variação da temperatura com tempo, mas sim pelo tipo de modificações de fases e estrutura no metal (SPECTRO, 2011).

O recozimento de homogeneização é um tratamento térmico cujo processo principal é a eliminação das consequências da segregação dendrítica, sendo assim, acontecem dois processos principais: nivelamento da concentração dentro dos grãos da solução sólida e dissolução da fase de não-equilíbrio em excesso (NOVIKOV, 1994).

A normalização é o tratamento térmico indicado para obter uma estrutura homogênea e refinada e melhorar a resistência e a tenacidade destes aços (COLPAERT, 2008).

Por meio de análises metalográficas verificou-se que foi possível retirar o bandejamento da microestrutura do aço carbono, somente na condição de homogeneização. Ensaios de tração e ensaios de impacto foram realizados para comparar os resultados do aço com e sem microestrutura bandeada.

## 2. Objetivos

---

O objetivo deste trabalho é realizar o tratamento térmico de homogeneização para eliminar a microestrutura bandeada dos aços. Análises metalográficas, ensaios de tração e ensaios de impacto serão realizados a fim de se comparar os resultados dos aços com e sem estrutura bandeada.

## 3. Desenvolvimento

---

### 3. MATERIAS E MÉTODOS

O aço carbono utilizado como amostra nesse projeto foi adquirida da COSIPA e sua composição é 0,14%C; 0,36%Si; 1,40%Mn; 0,022%P; 0,006S; 0,027%Cr; 0,011%Mo; 0,017%Ni; 0,048%Al; 0,002%Co; 0,009%Cu; 0,019%Nb; 0,011%Ti; 0,074%V; 0,029%W; 0,016%Pb; 0,003%Sn; restante de Fe, onde a mesma foi analisada pela empresa LabTeste: Análises e Ensaios de Materiais Metálicos Ltda.

#### 3.1. Preparação da amostra para análise metalográfica para verificação da microestrutura

Em primeiro lugar, foi verificado se a amostra oferecida para o projeto obtinha sua microestrutura bandeada.

Essa verificação foi feita pelas análises metalográficas, onde o aço é cortado por um disco de carbeto de silício na cortadora metalográfica no sentido de sua laminação.

Tanto na transversal como na longitudinal, a amostra é embutida usando baquelite para que a amostra ficasse plana. Após o embutimento do corpo de prova, a amostra passa pelas lixas de números 220, 320, 400 e 600 sucessivamente na politriz.

Depois de perfeitamente lixada, a amostra passa pela mesma politriz para ser polida com um pano para polimento e fluido de alumina. Para que não risque, a amostra é limpa com um algodão com água e secada imediatamente passando-se na superfície um pouco de algodão com álcool e por meio de jatos de ar produzidos por um secador. Depois de seca, a amostra é atacada com Nital 2%. Com a amostra pronta para a análise metalográfica, a mesma, foi analisada pelo microscópio ótico metalúrgico, com ampliação máxima de 1000vezes.

Na figura 1 é possível verificar que a amostra fornecida pela COSIPA possui sua microestrutura em bandas de ferrita e perlita, regiões claras e escuras respectivamente.

Figura 1 - Análise metalográfica da amostra na longitudinal com uma ampliação de 100x

#### 3.2. Tratamentos térmicos

##### 3.2.1. Tratamento de Homogeneização e dupla Normalização

Depois de analisada metalograficamente e confirmado o bandejamento na microestrutura, deu-se início ao tratamento térmico, onde a amostra foi homogeneizada no forno a 1200°C por 2 horas e resfriada ao ar.

Por meio de mais uma análise metalográfica, foi possível verificar que após o tratamento de homogeneização, o bandejamento já havia sido eliminado, porém a microestrutura da amostra apresentava grãos grosseiros.

Sendo assim, a amostra foi normalizada duas vezes, ficando 1 hora cada vez à 870°C e novamente resfriada ao ar, onde com a última análise metalográfica, mostra que a amostra apresentou uma granulação mais fina (figuras 2).

Figura 2 - Análise metalográfica da amostra homogeneizada e duplamente normalizada com 100x

##### 3.2.2. Tratamento de Normalização

O tratamento térmico de normalização foi realizado à 870°C por 2 horas, seguido de resfriamento ao ar.

#### 3.3. Teste de dureza

Os corpos de provas utilizados no teste de dureza foram os aços embutidos após os dois tipos de tratamento térmico descritos anteriormente e na condição de recebimento (laminado).

Os ensaios de dureza foram realizados utilizando a máquina WOLPERT.

Como o aço utilizado foi um aço carbono, a carga aplicada sobre a superfície da mesma foi de 187,5Kgf, utilizando uma esfera de aço de 2,5mm.

### 3.4. Ensaio de impacto

O método utilizado para o ensaio de impacto foi o do golpe desferido por um peso em oscilação. A máquina utilizada foi o martelo pendular. O tipo de entalhe utilizado foi Charpy tipo A.

Para a preparação dos corpos de prova, as amostras, após terem passado pelos tratamentos térmicos, foram enviados para a empresa UPP- Usinagem de Precisão de Piracicaba, onde a mesma usinou as amostras para cada ensaio, tanto para o ensaio de impacto quanto para o ensaio de tração.

Os ensaios de impacto foram realizados em duas temperaturas, primeiro à temperatura ambiente, no caso 28,6°C e depois a 0°C.

### 3.5. Ensaio de tração

A máquina utilizada foi a máquina de tração e compressão KRATOS com capacidade de carga de 30.000 kgf.

Primeiramente, foram marcados os corpos de prova com uma tinta para traçagem, para medir com um paquímetro o comprimento inicial (Li) e o diâmetro inicial (Di).

Foi obtido um gráfico para o registro das forças de escoamento e força máxima. Após o ensaio, foi medido o comprimento final (Lf) e o diâmetro final (Df).

## 4. Resultado e Discussão

---

Por intermédio de pesquisas e testes realizados, foi possível obter como resultado, que a microestrutura bandeada é possível de ser eliminada por meio de tratamentos térmicos de homogeneização sendo resfriado ao ar, porém é necessário que posteriormente se faça os tratamentos de normalização para que se diminuam os tamanhos dos grãos da microestrutura tratada, sendo também resfriado ao ar. No teste de dureza, os resultados tanto no corpo de prova laminado como no corpo de prova apenas normalizado e no corpo de prova homogeneizado e duplamente normalizado, os resultados não tiveram uma variação significativa como se pode observar na tabela 1. No ensaio de impacto, só foi possível ser feito em dois de três corpos de prova, no corpo de prova no estado laminado e no normalizado, já o corpo de prova homogeneizado e duplamente normalizado, não foi possível, pois os mesmos foram usinados em medidas erradas pela empresa UPP - Usinagem de Precisão de Piracicaba. Sendo assim, conforme é mostrado na Tabela 1, em ambas as condições de temperatura (0°C e 28,6°C), houve um aumento na tenacidade do material normalizado em relação ao material laminado.

No ensaio de tração, como mostra a tabela 1, houve um pequeno aumento na resistência mecânica da amostra apenas normalizada em comparação com a amostra laminada e homogeneizada e duplamente normalizada.

A amostra homogeneizada e duplamente normalizada teve uma pequena queda, tanto no limite de escoamento quanto na resistência mecânica em comparação com as demais amostras.

Já no alongamento e extricção, houve poucas variações significativas entre as amostras.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios mecânicos.

Legenda:

ST - 1 = Corpo de prova Laminado

CT - 2 = Corpo de prova Homogeneizado e duplamente Normalizado

CT - 3 = Corpo de prova Normalizado

LRT = Limite de Resistência à Tração

LE = Limite de Escoamento

A% = Alongamento

Z% = Extricção.

---

## 5. Considerações Finais

---

Neste trabalho foi possível concluir que a microestrutura bandeada é eliminada com tratamentos térmicos de homogeneização, porém os grãos da microestrutura precisam ser diminuídos, sendo assim, o aço é duplamente normalizado.

Nas propriedades mecânicas (ensaio e tração e impacto) conclui-se que houve poucas variações significativas em relação à amostra laminada.

## Referências Bibliográficas

---

CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica. **Estrutura e propriedades das ligas metálicas**. 2.ed. São Paulo, SP, Ed. Pearson Education do Brasil, 1986. v.1.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. Ed. São Paulo, SP, Ed. Edgard McGraw-Hill, 2008.

KRAUSS, G. **Solidification, Segregation, and Banding in Carbon and Alloy Steels**. *Metallurgical and Materials Transactions B*. Vol. 34B, pp. 787 – 788, dez. 2003.

MAHL, R. L. *et al.* Artigos. **Influência da Condição de Resfriamento na Ocorrência de Bandeamento no Aço SAE 10B22 MOD**. Disponível em: <http://www.unimep.br/lmcm/>. Acesso em 17 set 2011.

NOVIKOV, I. Tradução: Teodósio J R. **Teoria dos Tratamentos Térmicos dos Metais**. Rio de Janeiro, RJ, Ed. UFRJ, 1994.

SPECTRO. Artigos. **Tratamentos Térmicos dos Aços: Recozimento, Normalização, Têmpera e Revenimento**. Disponível em : . Acesso em: 28 nov.2011.

## Anexos

---

Teste de Dureza (HRB)				
	ST - 1	CT - 2	CT - 3	
1	81,2	81,3	81,1	
2	80,8	80,2	82,1	
3	81,3	79,9	82,8	
4	81,1	80,0	82,6	
5	80,0	80,1	81,5	
Média	80,9	80,3	82,0	
Ensaio de Impacto (J) Temperatura ambiente 28,6°C				
	ST - 1	CT - 3		
CP1	186,4	206		
CP2	215,8	231,5		
CP3	211,9	227,6		
Ensaio de Impacto (J) Temperatura 0°C				
	ST - 1	CT - 3		
CP1	170,7	176,6		
CP2	188,4	194,3		
CP3	184,4	217,8		
Ensaio de Tração				
	LRT (MPa)	LE (MPa)	A%	Z%
ST1 - 1.1	1024,8	357,9	32,5	74,2
ST1 - 1.2	1067,8	385,7	33,9	74,7
CT2 - 1.1	1030,3	343,4	32,7	77,6
CT2 - 1.2	985,8	344,3	33,6	78,7
CT3 - 1.1	1059,5	401,0	33,6	77,8
CT3 - 1.2	1082,3	395,3	33,8	77,6



