

CLAUDIO GERALDO GUIMARÃES

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E
MICROESTRUTURAL DE AÇO BAIXO CARBONO
TEMPERADO DA ZONA CRÍTICA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Faculdade de Engenharia de
Materiais como requisito parcial para obtenção
do título de engenheiro de Materiais.
Orientador: André Luiz de Moraes Costa

MARABÁ-PA
2009

CLAUDIO GERALDO GUIMARÃES

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E
MICROESTRUTURAL DE AÇO BAIXO CARBONO
TEMPERADO DA ZONA CRÍTICA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Faculdade de Engenharia de
Materiais como requisito parcial para obtenção
do título de engenheiro de Materiais.

Data de aprovação:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Luiz de Moraes Costa - Orientador
FEMAT / UFPA

Prof. M.Sc. Clesianu Rodrigues de Lima
FACEN / UFPA

Prof. Dr. Elias Fagury Neto
FEMAT / UFPA

DEDICATÓRIA

À procura do infinito, busquei o finito em várias direções. Em cada caminho encontrei pessoas que transmitiram excelências, competências e alegrias. Hoje posso enxergar bem mais que antes pois sempre estive apoiado em ombros de gigantes. Dedico este trabalho a todos os mentores e mestres responsáveis por minha formação acadêmica e profissional, os quais me apresentaram os valores inerentes ao profissional de sucesso e a ética presente nos indivíduos de boa índole.

AGRADECIMENTOS

Em primeira instância agradeço a Deus, o maior responsável pelas vitórias obtidas, as quais foram requeridas em cada oração, sempre com a certeza da existência de justiça pelos esforços proferidos. Aos meus mestres, os quais ensinaram a relação cíclica entre progresso, resultado e sucesso. Aos meus pais, que derramaram lágrimas para que eu fosse feliz e conquistasse sonhos. A minha esposa, que sempre me apoiou nos momentos bons e difíceis. Aos demais envolvidos em minha vida escolar e pessoal, os quais me transmitiram alegrias, paz, serenidade, cautela e paciência para continuar a seguir sempre em frente.

SUMÁRIO

RESUMO.....	
ABSTRACT.....	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE GRÁFICOS	
LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 AÇOS.....	14
2.2 CLASSIFICAÇÃO.....	15
2.3 CONSTITUINTES.....	16
2.4 DIAGRAMA TRANSFORMAÇÃO – TEMPO – TEMPERATURA (TTT)	19
2.5 TRATAMENTOS TÉRMICOS.....	26
2.6 AÇOS BIFÁSICOS.....	27
2.7 TÊMPERA INTERCRÍTICA.....	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 RECEBIMENTO DO MATERIAL E IDENTIFICAÇÃO.....	32
3.2 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	32
3.3 TRATAMENTOS TÉRMICOS.....	32
3.4 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL.....	35
3.5 ENSAIOS DE MICRODUREZA.....	37
3.6 ENSAIO DE TRAÇÃO.....	37
3.7 ENSAIO DE IMPACTO (CHARPY)	39
3.8 ANÁLISE QUÍMICA.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
5 CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

RESUMO

Um dos objetivos da indústria metalúrgica é aumentar a aplicabilidade de aços baixo-carbono comuns a partir da melhoria de suas propriedades mecânicas. Neste trabalho foram realizados tratamentos de têmpera intercrítica em um aço 1020 variando-se a temperatura intercrítica e o caminho de aquecimento até esta temperatura a fim de se avaliar as transformações microestruturais e propriedades mecânicas. As microestruturas resultantes apresentaram basicamente duas fases: ferrita e martensita, mas as morfologias e distribuição das fases foram completamente diferentes dependendo do caminho do tratamento térmico. As amostras que apresentaram maior resistência mecânica foram aquelas resfriadas desde o campo austenítico. Entretanto, a otimização das propriedades mecânicas foi obtida para o 'Step quenching'.

Palavras-chave: martensita, intercrítico, aço.

ABSTRACT

In this work the effects of heat treatment path and intercritical temperature on the microstructure and properties of a 1020 dual-phase steel were analyzed. The final microstructures presented basically two phases: ferrite and martensite, but the phases' morphologies and distributions were completely different as changing the direction of heat treatment from intercritical annealing to step quenching. The highest strength was obtained by step quenched samples. However, the optimized mechanical property was verified to the sample treated by Step quenching. This result was attributed to the microstructure of ferrite grains surrounded by martensite net.

Keywords: martensite, intercritical, steel.

LISTA DE TABELAS

1	Tabela de procedimentos dos tratamentos térmicos realizados. T Aq – temperatura de aquecimento; t.p – tempo de permanência na Temp. Aq; RLF – resfriamento lento no forno; RRA – resfriamento rápido em água; TA – temperatura ambiente	32
2	Análise química do aço estudado, adquirido através de espectrômetro de fluorescência da empresa Siderúrgica do Norte do Brasil S.A., SINOBRAS.....	41
3	Resultados dos ensaios executados.....	47

LISTA DE FIGURAS

1	Diagrama de fases Ferro – Carbono (CALLISTER, 2003, p.203)	16
2	Formação da microestrutura nas fases de equilíbrio para uma composição de 0,25%C (CALLISTER, 2003, p.308)	18
3	Esquema representativo de formação de perlita através da austenita, a direção de difusão de carbono é representada pelas setas (CALLISTER, 2003, p.303)	19
4	Diagrama TTT de um aço eutetóide (CALLISTER, 2004, p211)	20
5	Diagrama de transformação isotérmica (TTT) para um aço hipoeutetóide (CHIAVERINI, 2005, p47)	21
6	Fotomicrografias de (a) perlita grossa e (b) perlita fina. Aumento de 300x (CALLISTER, 2003, p.331)	22
7	Microestrutura martensítica de uma liga Fe- 0.2% C (KRAUSS, 2005, p.59)	24
8	A dureza da martensita, perlita e carbeto esferoidizado em função do percentual de carbono do aço, com a parte hachurada representando a presença de austenita retida, (BHADESHIA, 2006, p121)	25
9	A curva de tensão-deformação dos corpos-de-prova temperados a 780 °C, comparados com a condição como recebido (ZHANGA e COLABORADORES, 2003 segundo GALLO, 2006, p.44)	29
10	Propriedades mecânicas como função das temperaturas da têmpera intercrítica (ZHANGA e colaboradores, 2003 segundo GALLO ,2006, p.46)..	30
11	Tratamento térmico de têmpera em água.....	33
12	Esquema demonstrativo do procedimento de têmpera do par de amostra 2.	34
13	Esquema demonstrativo do procedimento de têmpera dos pares de amostras 4, 6 e 8.....	34
14	Esquema demonstrativo do procedimento de têmpera dos pares de amostras 3, 5 e 7.....	35
15	Dimensões proporcionais do pino de leitura do teste de tração recomendado pela norma ASTM - E 8M – 00b Métrico, 2001. Em destaque, no quadrado, o utilizado no procedimento deste trabalho.....	38
16	Desenho para amostra padrão de corpo de prova tipo “A” para o ensaio Charpy, segundo norma ASTM E 23-01, 2001.....	39

17	Esquema demonstrativo do Intercritical Quenching com a relação entre o tratamento térmico dos pares das amostras 3 (vermelho), 5 (azul) e 7 (verde) no diagrama Fe-C e TTT, para o aço 0,12 % C.....	42
18	Esquema demonstrativo do Step Quenching com a relação entre o tratamento térmico dos pares das amostras 2 (preto), 4 (vermelho), 6 (azul) e 8 (verde) no diagrama Fe-C e TTT, para o aço 0,12 % C.....	42
19	Microestruturas resultante dos procedimentos da tabela 1, ataque nital 2%..	44
20	Microestrutura ampliada das amostras temperadas na zona intercrítica, sendo a esquerda o 'intercritical quenching'(3, 5 e 7) e a direita o 'Step quenching' (4, 6 e 8), 1000x, nital 2%.....	46

LISTA DE FIGURAS

21	Gráfico mostrando o resultado do cálculo de percentual de fase escura (temperada) nas microestruturas apresentadas na figura 17 em relação à temperatura de têmpera.	49
22	Gráfico mostrando o limite de escoamento do ensaio de tração em função do percentual de fase endurecida a 30° C.....	50
23	Gráfico mostrando a variação do alongamento durante o ensaio de tração realizado a temperatura ambiente de 30°C.....	50
24	Gráfico mostrando o alongamento total do ensaio de tração a 30° C em função do percentual de fase endurecida.....	51
25	Gráfico mostrando o resultado do ensaio de impacto Charpy, realizado a temperatura ambiente de 30°C.....	52
26	Gráfico mostrando o resultado do ensaio de impacto Charpy, realizado a temperatura ambiente de 30°C.....	53
27	Gráfico mostrando o resultado do ensaio de microdureza realizado em função de temperatura de têmpera, sendo a fase média a dureza de várias fases medidas ao mesmo tempo na indentação com carga de 1000 g e a fase endurecida com carga de 10 g.....	54
28	Gráfico mostrando a relação da microdureza da fase média (carga de 1000g) e o percentual de fase endurecida.....	54
29	Gráfico mostrando o resultado do ensaio de microdureza da fase (carga de 10 g) realizado em função das temperaturas de têmpera na fase escura.....	56
30	Gráfico mostrando a estimativa do percentual de carbono na fase endurecida através da equação (1) e regra da alavanca no diagrama Fe-C..	56
31	Gráfico mostrando a relação da Microdureza com o percentual de fase endurecida (carga de 10g) pelo tratamento térmico.....	57

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

SP	- São Paulo
p	- Página
C	- Carbono
°C	- Grau Celsius
Fe	- Ferro
α	- Ferrita
cm ⁻³	- Centímetros cúbicos
°F	- Graus Fahrenheit
μm	- Mícron
C ₀	- Carbono Inicial
%	- Percentual
x	- Vezes/versos
CCC	- Cúbica de corpo centrado
<i>M</i>	- Martensita
Ms	- Início de fase martensítica
mm	- Milímetro
cm	- Centímetro
kN	- KiloNewton
J	- Joule
PVC	- Cloreto de vinila