

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS**

**EFEITO DO NIÓBIO NA MICROESTRUTURA E NAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO INOXIDÁVEL
SUPERDUPLEX FUNDIDO
SEW 410 W. Nr. 1.4517**

Eng^o MSc. Sérgio Mazzer Rossitti

Tese apresentada à Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais.

ORIENTADOR: Prof. Dr. João Manuel D. de Almeida Rollo

São Carlos
2000

*À minha esposa, Haydeé, pelo apoio e resignação às
tantas horas subtraídas de nosso convívio*

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. João Manuel Domingos de Almeida Rollo, pela orientação e pelo excepcional apoio fornecido durante a elaboração deste trabalho.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Materiais da EESC/USP pela colaboração. Em especial ao Pedro di Lorenzo pelo suporte técnico na realização da parte experimental do trabalho.

Aos colegas da FUNDINOX, Marco Lo Monaco pelo acompanhamento dos ensaios mecânicos, Ivan Girardi pelo apoio durante a etapa de impressão deste trabalho e Eng^o Marcelo Martins pelos comentários.

À SULZER BRASIL S/A – Divisão FUNDINOX pela doação dos materiais e pela liberação dos resultados do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xviii
LISTA DE SIMBOLOS.....	xix
RESUMO.....	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
1) INTRODUÇÃO.....	1
1.1) Objetivos do trabalho.....	9
2) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1) Histórico.....	10
2.2) Microestrutura dos aços inoxidáveis duplex.....	10
2.2.1) Diagramas de fases.....	11
2.2.2) Microestrutura bruta de fundição.....	16
2.2.3) Microestrutura após tratamento térmico de solubilização.....	20
2.2.4) Microestrutura após envelhecimento – fases precipitadas nos aços inoxidáveis duplex	22
2.2.4.1) Carbonetos.....	23
2.2.4.2) Fases Chi (χ) e R.....	24
2.2.4.3) Precipitação de austenita (γ) na ferrita (α).....	26
2.2.4.4) Precipitados de Cu (ϵ).....	26
2.2.4.5) Fase sigma (σ).....	27
2.2.4.6) Fase α'	32
2.2.4.7) Nítreto de cromo.....	34
2.3) Propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis duplex.....	35

2.3.1) Propriedades mecânicas no ensaio de tração.....	36
2.3.2) Propriedade mecânica no ensaio de impacto.....	40
2.4) Metalurgia física do nióbio em aços inoxidáveis.....	41
2.4.1) Constituição.....	43
2.4.2) Fases formadas contendo nióbio.....	44
2.4.2.1) Carbonetos e nitretos.....	44
2.4.2.2) Fase sigma (σ).....	45
2.4.2.3) Fase Laves.....	45
2.4.2.4) Fragilização 475°C.....	45
2.5) Propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis contendo nióbio.....	46
2.5.1) Reforçamento por solução sólida.....	46
2.5.2) Dutilidade.....	47
2.5.3) Tenacidade.....	47
3) MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.1) Materiais.....	49
3.1.1) Elaboração da liga SEW 410 W. Nr. 1.4517.....	49
3.1.2) Fusão da liga e vazamento dos corpos de prova.....	50
3.1.3) Tratamentos térmicos.....	52
3.2) Análise microestrutural.....	53
3.2.1)Microscopia ótica (MO).....	53
3.2.2) Metalografia quantitativa (MQ).....	54
3.2.3) Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	54
3.2.4) Análise química de microregiões com microsonda eletrônica.....	55
3.2.5) Microscopia eletrônica de transmissão (MET).....	55
3.2.6) Dilatometria.....	56
3.2.7) Detecção de fases magnéticas.....	56
3.3) Ensaio mecânicos.....	57

3.3.1) Ensaio de dureza.....	57
3.3.2) Ensaio de tração.....	58
3.3.3) Ensaio de impacto.....	59
4) RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4.1) Microestruturas brutas de fundição.....	60
4.1.1) Análise microestrutural.....	61
4.1.1.1) Microscopia ótica.....	61
4.1.1.2) Metalografia quantitativa.....	63
4.1.1.3) Detecção de fase magnética.....	65
4.1.1.4) Microscopia eletrônica de varredura.....	66
4.1.1.5) Análise química de microregiões com microsonda eletrônica.....	67
4.1.2) Ensaio mecânicos.....	70
4.1.2.1) Ensaio de dureza.....	70
4.2) Microestruturas após tratamento térmico de solubilização.....	74
4.2.1) Análise microestrutural.....	74
4.2.1.1) Microscopia ótica.....	74
4.2.1.2) Metalografia quantitativa.....	76
4.2.1.3) Detecção de fase magnética.....	80
4.2.1.4) Dilatometria.....	84
4.2.1.5) Análise química de microregiões com microsonda eletrônica.....	87
4.2.2) Ensaio mecânicos.....	92
4.2.2.1) Ensaio de dureza.....	92
4.2.2.2) Ensaio de tração.....	93
4.2.2.3) Ensaio de impacto.....	99
4.3) Microestruturas após tratamentos térmicos de envelhecimento.....	103
4.3.1) Análise microestrutural.....	103
4.3.1.1) Microscopia ótica.....	103

4.3.1.2) Metalografia quantitativa.....	106
4.3.1.3) Microscopia eletrônica de varredura.....	108
4.3.1.4) Microscopia eletrônica de transmissão.....	110
4.3.1.5) Detecção de fase magnética.....	112
4.3.1.6) Dilatometria.....	116
4.3.1.7) Análise química de microregiões com microsonda eletrônica.....	120
4.3.2) Ensaio mecânicos.....	123
4.3.2.1) Ensaio de dureza.....	123
4.3.2.2) Ensaio de tração.....	127
4.3.2.3) Ensaio de impacto.....	128
5) CONCLUSÕES.....	131
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- Etapas do processo de fabricação de uma peça fundida.....	5
FIGURA 2	- Limite de escoamento para aços inoxidáveis com diferentes percentuais de ferrita/austenita.....	7
FIGURA 3	- Possíveis precipitações de fases em aços inoxidáveis duplex e a influência dos elementos de liga na curva TTT.....	7
FIGURA 4	- Diagramas pseudo-binários Fe-Cr-Ni, representando os campos de estabilidade das fases, para teores fixos de Fe.....	12
FIGURA 5	- Diagrama constitucional para aços inoxidáveis depositados por solda, relacionando o número de ferrita (FN) versus Cr e Ni equivalentes; FN = 100 equivale a aproximadamente 65% em volume de ferrita.....	15
FIGURA 6	- Diagrama de Schoefer - diagrama constitucional para estimativa do teor de ferrita em aços inoxidáveis fundidos com composição química na faixa de 16 a 26%Cr, 6 a 14%Ni, 0 a 4%Mo, 0 a 1%Nb, até 0,3%C, até 0,15%N, até 2,0%Mn e até 2,0%Si.....	16
FIGURA 7	- Diagrama esquemático pseudo-binário do sistema ternário Fe-Cr-Ni mostrando o efeito da composição na morfologia austenita-ferrita em soldas de aços inoxidáveis austeníticos.....	17
FIGURA 8	- Esquema dos modos de solidificação e o tipo de microestrutura relacionados com $(Cr/Ni)_{equiv}$	19
FIGURA 9	- Influência da temperatura de solubilização no teor de ferrita.....	21
FIGURA 10	- Curvas TTT de várias fases observadas na liga U50.....	22
FIGURA 11	- Curva TTT para um aço inoxidável DIN W. Nr. 1.4462 solubilizado a 1050°C/30min.....	24
FIGURA 12	- Curva TTT da fase χ para o aço 17%Cr – 13%Ni – 5%Mo com	

teores crescentes de N.....	25
FIGURA 13 - Efeito do teor de Cr na precipitação de σ em ligas com 6,5%Ni e 2,8%Mo, previamente solubilizadas a 1100°C/30min seguidas de tratamento isotérmico a 800°C.....	29
FIGURA 14 - Efeito do teor de Mo na precipitação de σ em ligas com 25%Cr e 6,5%Ni, previamente solubilizadas a 1100°C/30min seguidas de tratamento isotérmico a 800°C.....	30
FIGURA 15 - Efeito do teor de Ni na precipitação de σ em ligas com 25%Cr e 2,8%Mo, previamente solubilizadas a 1100°C/30min seguidas de tratamento isotérmico a 800°C.....	30
FIGURA 16 - Esquema do efeito do Mo na precipitação de fase σ	31
FIGURA 17 - Efeito da temperatura de tratamento térmico prévio de solubilização na precipitação de σ para um aço com 25%Cr – 7%Ni – 3%Mo; tempo de tratamento: 30min seguido de envelhecimento a 800°C.....	31
FIGURA 18 - Diagrama de fase Fe – Cr esquemático com as linhas espinodais.....	33
FIGURA 19 - Efeito do teor de ferrita e da temperatura no limite de escoamento dos aços inoxidáveis duplex.....	37
FIGURA 20 - Efeito do teor de ferrita e da temperatura no limite de resistência dos aços inoxidáveis duplex.....	39
FIGURA 21 - Efeito do teor de ferrita e da temperatura de ensaio na energia absorvida no ensaio Charpy.....	40
FIGURA 22 - Temperatura de transição dúctil-frágil versus teor de Nb no ensaio de impacto de aços 21%Cr, 1%Mo, C+N = 0.010 a 0.015%.....	48
FIGURA 23 - Porcentagem de ferrita em função do Cr _{equiv.} e Ni _{equiv.}	50
FIGURA 24 - Desenho esquemático representando o bloco tipo quilha, para	

obtenção de corpos de prova para ensaios mecânicos.....	52
FIGURA 25 - Dimensões do corpo de prova para ensaio de tração conforme DIN 50125.....	59
FIGURA 26 - Amostras no estado bruto de fundição. 0% Nb: ferrita α (fase azul escuro), austenita γ (fase bege) e fase eutetóide composta por $\sigma + \gamma_{\text{eutetóide}}$ na interface γ/α - 0,2%Nb: mesmas fases, porém com maior quantidade da fase eutetóide - 0,5%Nb: similar à anterior com maior quantidade de eutetóide e presença de precipitados em forma de agulhas - 1,5%Nb: a fase eutetóide predomina, praticamente eliminado a ferrita; a austenita em pequena quantidade se confunde sobre a matriz de fase eutetóide.....	63
FIGURA 27 - Variação da fração volumétrica da austenita ($\gamma + \gamma_{\text{eutetóide}}$) e da fase σ em função da variação da fração volumétrica da ferrita.....	65
FIGURA 28 - Teor de ferrita versus porcentagem de Nb no estado bruto de fundição obtido por detecção de fases magnéticas.....	66
FIGURA 29 - Microestruturas observadas por MEV para as ligas no estado bruto de fundição: a) 0%Nb – b) 0,5%Nb.....	67
FIGURA 30 - Espectro de raio X característico da fase σ	69
FIGURA 31 - Análise qualitativa da concentração do Nb na matriz do material com 0,5%Nb no estado bruto de fundição.....	69
FIGURA 32 - Trincas ocorridas durante a tentativa de corte via “arc-air” do material 0,5%Nb no estado bruto de fusão.....	72
FIGURA 33 - Rotor de aço inoxidável duplex, trincado durante a etapa de aquecimento no ciclo de tratamento térmico de solubilização.....	73
FIGURA 34 - Microestruturas após tratamento de solubilização a 1120°C/30min seguidas de resfriamento em água. 0%Nb: ferrita α (fase escura) formando a matriz, austenita γ (fase branca) formando “ilhas” sobre a	

matriz 0,2%Nb: mesmas fases presentes na amostra anterior 0,5% Nb: além das fases ferrita e austenita, presença de precipitados em formato de agulha, dispersos na matriz. 1,5%Nb: matriz formada por ferrita α com precipitados coalescidos dispersos aleatoriamente; a austenita γ foi praticamente eliminada.....	75
FIGURA 35 - Variação do teor de ferrita em função da temperatura de solubilização.....	78
FIGURA 36 - Teor de ferrita versus porcentagem de Nb no estado solubilizado a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água, obtido por detecção de fases magnéticas.....	81
FIGURA 37 - a) EFN de materiais 100% ferríticos versus percentual de Fe na ferrita - b) volume % de ferrita observado metalograficamente versus número normalizado de ferrita (NFN).....	83
FIGURA 38 - Variação dimensional (dL/Lo) x temperatura e taxa de variação dimensional em relação à temperatura [d(dL/Lo)/dT] x temperatura para as amostras: a) 0%Nb – b) 0,5%Nb.....	85
FIGURA 39 - Variação dimensional em função do tempo, relativa ao ciclo de aquecimento a 1120°C/30min seguido de resfriamento a 850°C.....	86
FIGURA 40 - Análise qualitativa da distribuição do Cu nas estruturas: a) bruta de fundição – b) após solubilização a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água.....	89
FIGURA 41 - Limite de escoamento convencional a 0,2% versus teor de ferrita após tratamento térmico de solubilização em temperaturas variando de 1000°C a 1150°C/30min seguido de resfriamento em água.....	95
FIGURA 42 - Limite de resistência versus teor de ferrita após tratamento térmico	

	de solubilização em temperaturas variando de 1000°C a 1150°C/30min seguido de resfriamento em água.....	96
FIGURA 43	- Alongamento versus teor de ferrita após tratamento térmico de solubilização em temperaturas variando de 1000°C a 1150°C/30min seguido de resfriamento em água.....	97
FIGURA 44	- Propriedades mecânicas versus teor de Nb após solubilização a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água.....	99
FIGURA 45	- Propriedades mecânicas de resistência ao impacto no ensaio Charpy, alongamento no ensaio de tração, e teor de ferrita para as amostras 0%Nb e 0,2%Nb.....	102
FIGURA 46	- Microestrutura das amostras após tratamento térmico de solubilização a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água, e envelhecimento a 475°C/1h.....	104
FIGURA 47	- Precipitação de fase σ após tratamento térmico de solubilização a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água, e envelhecimento a 850°C por 5 minutos.....	105
FIGURA 48	- Fotomicrografias obtidas via MEV, mostrando a morfologia da fase σ após solubilização a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água e envelhecimento a 850°C/90min para amostras 0%Nb- 0,2%Nb e 0,5%Nb e a 850°/60min 1,5%Nb.....	109
FIGURA 49	- Fotomicrografias obtidas via MEV, mostrando a morfologia da fase σ após solubilização a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água e envelhecimento a 700°C por um tempo de 6 horas.....	110
FIGURA 50	-Fotomicrografias obtidas via MET do precipitado em forma de agulha do material 0,5%Nb após tratamento térmico de solubilização	

a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água e envelhecimento a 850°C/90min : a) campo claro - aumento 4686X b) exemplo de padrão de difração.....	111
FIGURA 51 - Teor de ferrita remanescente versus tempo e temperatura de envelhecimento.....	113
FIGURA 52 - Teor de ferrita remanescente versus temperatura e tempo de envelhecimento.....	113
FIGURA 53 - Traçado das curvas TTT para a decomposição da ferrita obtidas por ferritoscopia.....	114
FIGURA 54 - Curva TTT para um aço inoxidável duplex 25%Cr – 7%Ni – 3,5%Mo – 0,5%Cu – 0,6%W – 0,25%N (% em peso), baseada em dados de difração de raio X	116
FIGURA 55 - Curvas de variação dimensional (dL/Lo) x tempo e da derivada da variação dimensional com relação ao tempo d(dL/Lo)/dt x tempo para uma amostra do material 0%Nb solubilizada a 1120°C/30min, seguida de envelhecimento a 600°C/200min.....	117
FIGURA 56 - Fotomicrografia do material 0%Nb após solubilização a 1120°C/30min seguido de envelhecimento a 600°C/200min, isento de precipitação de fase σ	117
FIGURA 57 - Curvas de variação dimensional (dL/Lo) x tempo e da derivada da variação dimensional com relação ao tempo d(dL/Lo)/dt x tempo para uma amostra do material 0%Nb solubilizada a 1120°C/30min seguida de envelhecimento a 850°C/90min.....	118
FIGURA 58 - Curvas de início de precipitação de fase σ baseadas nos resultados de dilatométrica.....	119

FIGURA 59 - Valores de dureza versus tempo de envelhecimento a 475°C.....	123
FIGURA 60 - Valores de dureza versus temperatura e tempo de envelhecimento...	126
FIGURA 61 - Fractografia da superfície dos corpos de prova Charpy: a) após envelhecimento a 475°C/1h – b) após envelhecimento a 850°C/10min.....	130

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- Propriedades dos aços inoxidáveis duplex em relação aos outros aços inoxidáveis.....	2
TABELA 2	- Composição química de alguns aços inoxidáveis duplex de maior utilização em peças fundidas (% em peso).....	3
TABELA 3	- Comparativo de custos de elaboração do metal líquido em relação à composição da carga fria.....	8
TABELA 4	- Fatores para Cr e Ni equivalentes.....	14
TABELA 5	- Efeito da composição química na fragilização 475°C para as ligas Fe – Cr e Fe – Cr – Ni – Mo.....	34
TABELA 6	- Comparação entre a ferrita (CCC) e a austenita (CFC).....	36
TABELA 7	- Valor da constante K_y de Hall-Petch para os aços inoxidáveis.....	37
TABELA 8	- Composição química e teor de ferrita dos aços inoxidáveis duplex citados por FLOREEN & HAYDEN (1968).....	38
TABELA 9	- Fatores de $Cr_{equiv.}$ para o Nb em aços inoxidáveis.....	44
TABELA	- Composição da carga fria de fusão.....	51
10		
TABELA	- Composição química dos aços inoxidáveis em estudo (% em peso).	51
11		
TABELA	- Porcentagem volumétrica de cada fase presente na microestrutura	
12	bruta de fundição (via MQ – análise de imagens).....	64
TABELA	- Composição química (% em peso) das fases observadas na	
13	microestrutura bruta de fundição obtidas por análise via	
	EDX.....	68
TABELA	- Dureza das amostras no estado bruto de fundição resfriadas dentro	
14	do molde de areia.....	70

TABELA	- Fases presentes na microestrutura solubilizada a 1120°C/30min	
15	seguida de resfriamento em água (via MQ – análise de imagens).....	76
TABELA	- Variação da porcentagem de fases em função da temperatura de	
16	solubilização (via MQ análise de imagens.).....	77
TABELA	- Valores de Cr _{equiv.} , Ni _{equiv.} e teor de ferrita segundo diversos	
17	autores.....	80
TABELA	- Composição química (% em peso) das fases observadas na	
18	microestrutura solubilizada a 1120°C/30min, seguida de resfriamento	
	em água obtidas por análise via EDX.....	88
TABELA	- Coeficientes de partição entre a austenita e a ferrita dos elementos	
19	químicos presentes nos aços inoxidáveis duplex.....	90
TABELA	- Alcance eletrônico e profundidade de geração de raio X.....	91
20		
TABELA	- Dureza das amostras após tratamento térmico de solubilização a	
21	1120°C/30min seguido de resfriamento em água.....	93
TABELA	- Resultados do ensaio de tração e teor de ferrita (MQ) após	
22	tratamentos térmicos de solubilização em temperaturas variando de	
	1000°C a 1150°C/30min seguido de resfriamento em água.....	94
TABELA	- Valores das propriedades mecânicas exigidos pela norma SEW 410	
23	para o material W. Nr. 1.4517.....	95
TABELA	- Resistência ao impacto no ensaio Charpy e teor de ferrita (MQ) após	
24	tratamentos térmicos de solubilização, em temperaturas variando de	
	1000°C a 1150°C/30min seguido de resfriamento em	
	água.....	100

TABELA	- Porcentagem volumétrica de cada fase presente nas microestruturas:	
25	bruta de fundição; após solubilização a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água; e após envelhecimento a 850°C até transformação total da ferrita das amostras solubilizadas e resfriadas em água (via MQ – análise de imagens).....	106
TABELA	- Parâmetros de rede da fase Laves encontrados na literatura.....	112
26		
TABELA	- Composição química (% em peso) das fases observadas nas microestruturas após solubilização a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água e envelhecimento a 850°C/90min para as amostras 0%Nb, 0,2%Nb, 0,5%Nb e por 850°C/60min para amostra 1,5%Nb.....	121
27		
TABELA	- Valores de composição química da fase σ (% em peso) encontrados na literatura.....	122
28		
TABELA	- Propriedades mecânicas no ensaio de tração da amostra 0%Nb.....	127
29		
TABELA	- Propriedades mecânicas no ensaio de impacto do material 0%Nb....	129
30		

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL	Alongamento (%)
AOD	Argon Oxygen Decarburization
ASTM	American Society for Testing and Materials
ccc	Cúbica de corpo centrado
cfc	Cúbica de face centrada
DIN	Deutsches Institut für Normung
EDX	Energy Dispersive X-ray
EFN	Extended Ferrite Number
ES	Estricção (%)
FN	Ferrite Number
LE	Limite de Escoamento (MPa)
LR	Limite de Resistência (MPa)
M_d	Temperatura de início de formação de martensita induzida por deformação
MET	Microscópio Eletrônico de Transmissão
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MO	Microscopia Ótica
MQ	Metalografia Quantitativa
NFN	Normalized Ferrite Number
N_v	Número de vacâncias eletrônicas
PREn	Pitting Resistance Equivalent number
TTT	Tempo-Temperatura-Transformação
VOD	Vacuum Oxygen Decarburization

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Ferrita
α'	Fase alfa linha
χ	Fase Chi
ϵ	Fase épsilon
γ	Austenita
μ	Mícron
σ	Fase sigma
Nm	Nanômetro
Ky	Constante relacionada à intensidade com que as deslocções são empilhadas nas barreiras ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
D	Diâmetro do grão (mm)
σ_0	Tensão de escoamento (kg/mm^2)
σ_i	Tensão de friccionamento oposta à movimentação das discordâncias (kg/mm^2)
Rko	Alcance eletrônico de Kanaya-Okayama (μ)
R	Profundidade de geração de raio X de Anderson e Hasler (μ)
A	Peso atômico (g/mol)
Z	Número atômico
ρ	Densidade (g/cm^3)
Eo	Energia do feixe primário (Kev)
Ec	Energia característica (Kev)

RESUMO

ROSSITTI, S. M. (2000). *Efeito do nióbio na microestrutura e nas propriedades mecânicas do aço inoxidável superduplex fundido SEW 410 W. Nr.1.4517*. São Carlos, 2000. 150p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos/Instituto de Física de São Carlos/Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo.

A produção economicamente viável dos aços inoxidáveis duplex, pressupõe a utilização de sucatas e retornos de ligas contendo altos teores de elementos como Cr, Ni e Mo. O aproveitamento destes materiais pode entretanto, introduzir na composição química outros elementos não previstos pela norma do material sendo produzido. Este trabalho estudou a influência do Nb na microestrutura e nas propriedades mecânicas do aço inoxidável superduplex fundido SEW 410 W. Nr. 1.4517, bem como sobre as etapas de fabricação de um produto fundido. Os teores de Nb estudados foram 0%, 0,2%, 0,5% e 1,5% (% em peso). Foi dada ênfase às microestruturas e propriedades no estado bruto de fundição, após tratamento térmico de solubilização e finalmente, após envelhecimento das amostras solubilizadas. Foram utilizadas diversas técnicas de avaliação microestrutural: microscopia ótica, metalografia quantitativa, microscopia eletrônica de varredura e de transmissão, análise química de microregiões com microsonda eletrônica, ensaios magnéticos via ferritoscópio e ensaios dilatométricos. Os ensaios mecânicos realizados foram: dureza, ensaio de tração e ensaio Charpy. A análise dos resultados demonstrou que o Nb causou uma sensível alteração na microestrutura e nas propriedades mecânicas da liga, dificultando o processo de produção de uma peça fundida.

Palavras-chave: aço inoxidável superduplex; microestrutura e propriedades mecânicas; efeito do Nb.

ABSTRACT

ROSSITTI, S. M. (2000). *Effect of niobium on the microstructure and mechanical properties of cast super duplex stainless steel SEW 410 W. Nr.1.4517*. São Carlos, 2000. 150p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos/Instituto de Física de São Carlos/Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo.

To produce duplex stainless steel in an economic way it is necessary to use scrap and process returns containing high Cr, Ni and Mo contents. This procedure can result in an unexpected alloy chemical composition with some elements not included in the material standard. This work studied the Nb influence on the microstructure and mechanical properties of cast super duplex stainless steel SEW 410 W. Nr. 1.4517, as well as the influence over the fabrication process of a casting. The Nb contents studied were 0%, 0,2%, 0,5% and 1,5% (weight %). Emphasis was given to the microstructures and mechanical properties in as cast condition, after solution heat treatment and finally after aging of previous solution heat treated samples. Several microstructural analysis techniques were used: optical microscopy, quantitative metallography, scanning electron microscopy, transmission electron microscopy, chemical microanalysis using energy dispersive spectrometry, magnetic phase detection using feritscope and dilatometry. The mechanical testing realized were hardness testing, tension testing and Charpy impact testing. Results analysis demonstrated that Nb caused an appreciable change on microstructure and mechanical properties of the material, making difficult the fabrication process of a casting.

Keywords: super duplex stainless steel; microstructure and mechanical properties; effect of Nb.