

3-Materiais e Métodos:

3.1:Materiais:

Os materiais em estudo são as ligas de aços inoxidáveis dúplex SAF2205 e SAF2507. Foram adquiridos 25 kg de cada uma das ligas na forma de barras de 20mm de diâmetro para a confecção dos corpos-de-prova.

A tabela 3.1 representa a composição química de ambas as ligas (% em massa-dados do fornecedor).

Tabela 3.1: Composição química (% em massa) das ligas em estudo.

Material	Cr	Ni	Mo	N	C	Mn	Si	P	S	bal.
SAF2205	22,21	5,40	3,15	0,178	0,015	0,76	0,45	0,020	0,005	Fe
SAF 2507	24,95	6,91	3,79	0,263	0,015	0,43	0,26	0,017	0,001	Fe

3.2:Métodos:

Caracterização microestrutural:

O material inicial se encontrava no formato de barras. Primeiramente foram cortadas amostras de secções transversais e longitudinais de ambos

os materiais. Estas amostras tiveram todas as suas faces levemente lixadas com granulação #320, para limpeza e melhor adesão no embutimento posterior. Após isto, todas as amostras foram embutidas em resina termofixa de cura a quente (Baquelite) e devidamente identificadas com o correspondente material, secção e numeração, como mostra a figura 3.1.

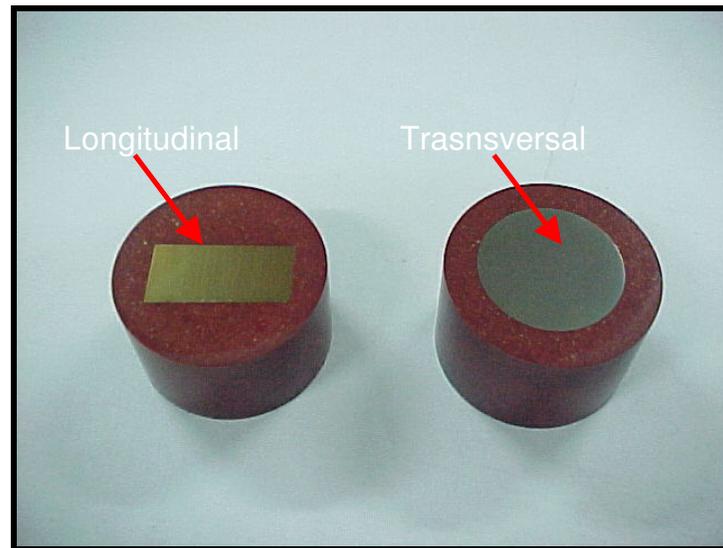


Figura 3.1: Exemplos de corpos-de-prova metalográficos transversais e longitudinais.

Os corpos-de-prova metalográficos, depois de embutidos e identificados foram lixados com granulações #220, #320 e #500, para em seguida serem polidos utilizando-se pasta de diamante de diâmetros 6 μm , 3 μm , e 1 μm . Nas etapas de lixamento foi utilizada água como fluido lubrificante, já nas etapas de polimento foi utilizado álcool etílico absoluto. Para ambas as etapas foi utilizada a politriz automática STRUERS ABRAMIN (figura 3.2), que possibilita uma ótima qualidade do polimento. A tabela 3.2

representa todas as etapas dos procedimentos de lixamento e polimento automáticos realizados.

Tabela 3.2: Procedimento de lixamento e polimento em máquina automática para aços inoxidáveis dúplex.

Materiais: Aços inoxidáveis dúplex SAF 2205 e SAF 2507.							
Etapa	Disp.	Abrasivo	Lubr.	Força(6 amostras)	Vazão	Tempo	RPM
01	Lixa	#220	água	200N	-----	2 min	150
02	Lixa	#320	água	300N	-----	3 min	150
03	Lixa	#500	água	300N	-----	4 min	150
04	Diamante	6 μ m	álcool	300N	3gotas/seg	4 min	150
05	Diamante	3 μ m	álcool	200N	3gotas/seg	4 min	150
06	Diamante	1 μ m	álcool	200N	3gotas/seg	4 min	150
07	Diamante	1 μ m	álcool	120N	3gotas/seg	2 min	300

Foram também obtidas micrografias de superfícies polidas utilizando-se contraste por interferência sobre amostras que, após o procedimento da tabela 3.2, sofreram polimento com sílica coloidal por 4 minutos com 120N e 150 rpm.

O ataque químico para a revelação da microestrutura das fases utiliza solução aquosa de Ácido Oxálico 10%, em procedimento eletrolítico de ataque, utilizando-se 6Vcc por período de 0,5 minutos. Para o ataque é utilizado o equipamento STRUERS LECTROPOL (figura 3.3). Também foi utilizado o ataque *Behara* modificado, cuja composição é 20 mL de ácido

clorídrico, 80 mL de água destilada e deionizada e 1 g de metabissulfito de potássio; a esta solução de estoque, foram adicionados 2 g de bifluoreto de amônio, e o ataque pode então ser conduzido variando-se o tempo entre 30 segundos e 40 segundos de imersão ininterrupta. O ataque foi interrompido com água, e a superfície de observação seca através da evaporação de álcool etílico absoluto, auxiliada por jato de ar quente. Todas as amostras preparadas metalograficamente são observadas num microscópio LEICA DMLM (figura 3.4), identificando as fases e correspondentes microestruturas.



Figura 3.2: máquina Struers Abramin utilizada para os procedimentos de lixamento e polimento dos corpos de prova. LabMat-FEI.



Figura 3.3: máquina Struers Lectropol utilizada para a realização do ataque eletrolítico com solução de Ácido oxálico. LabMat-FEI.



Figura 3.4: Microscópio LEICA DMLM e analisador de imagens. LabMat-FEI.

Análise da microdureza:

Uma vez analisadas as microestruturas, os corpos-de-prova sofreram novas etapas de lixamento e polimento, voltando à condição polida, iniciando-se a análise da microdureza Vickers em todas as amostras, para ser constatada a homogeneidade ao longo do material. Utilizou-se o microdurômetro Shimadzu (figura 3.5) e foram realizadas medições com cargas de 50 gramas e de 500 gramas. Foram feitas 40 impressões de microdureza em cada uma das amostras, ao longo de toda a sua extensão, para a caracterização tanto da superfície como do núcleo do material em estudo. Os dados geraram os perfis de microdureza transversais das barras estudadas.



Figura 3.5: Microdurômetro Shimadzu. LabMat-FEI.

Análise da fração volumétrica de ferrita:

Para a determinação da fração volumétrica de ferrita presente, todos os corpos-de-prova foram analisados através do ferritoscópio Fischer (figura 3.6). Foram coletados os valores de 10 campos por amostra, cobrindo toda a extensão transversal do material, para a caracterização do gradiente da fração volumétrica de ferrita tanto no núcleo como na superfície do material. Para a determinação da fração volumétrica média de ferrita foram analisados 40 campos aleatoriamente selecionados em cada amostra.



Figura 3.6: Ferritoscópio Fischer. LabMat-FEI.

Em paralelo à análise das frações volumétricas em ferritoscópio, todas as amostras sofreram ataque de Behara modificado e tiveram suas frações volumétricas de ferrita e austenita analisadas através de estereologia quantitativa em microscópio LEICA DMLM (fig. 3.4), visando maior segurança e confiança nos dados e a possibilidade de comparação entre os resultados obtidos via diferentes métodos de análise.

Preparação de corpos-de-prova para ensaios mecânicos:

Usinagem dos corpos de prova:

A usinagem dos corpos de prova de fadiga e de tração, tanto do aço SAF2205 como do SAF 2507 foi realizada em torno de controle numérico computadorizado (CNC) ROMI CENTUR 30 R (Figura 3.7). Após isso os corpos-de-prova foram identificados com o material e número seqüencial correspondente.



Figura 3.7: Torno CNC ROMI CENTUR 30R. CLM-FEI.

As cotas dos corpos-de-prova confeccionados para os ensaios mecânicos encontram-se na figura 3.8. A configuração dos corpos-de-prova, assim como seu acabamento superficial, condições e parâmetros de ensaio seguem norma ASTM E606-92 [19].

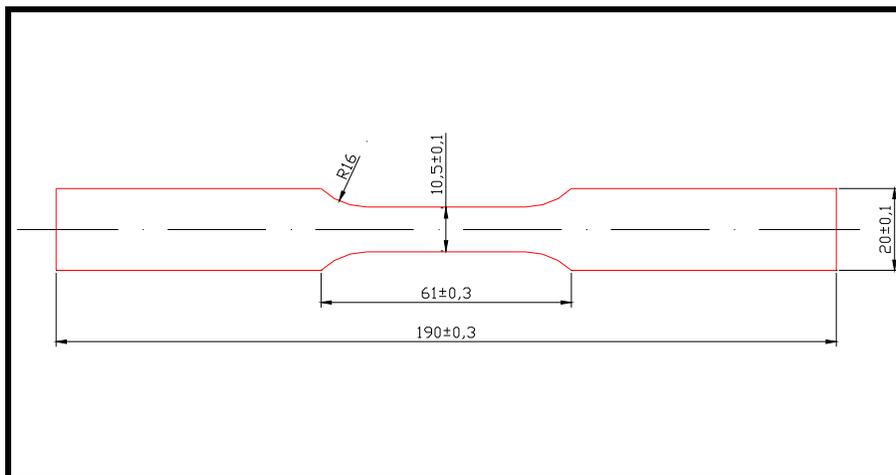


Figura 3.8: Dimensões principais do corpo de prova para ensaios destrutivos.

Na seqüência os corpos-de-prova foram lixados no mini-torno EMCO (figura 3.9) com granulações #220, #320, #500, #600, e #1500 e polidos com pasta de diamante de 6 μm e 1 μm .



Figura 3.9: mini-torno compacto EMCO. LabMat-FEI.

A projeção por computador 3.10 representa o aspecto final esperado de um corpo-de-prova de fadiga e tração segundo norma ASTM E606-92 [19].

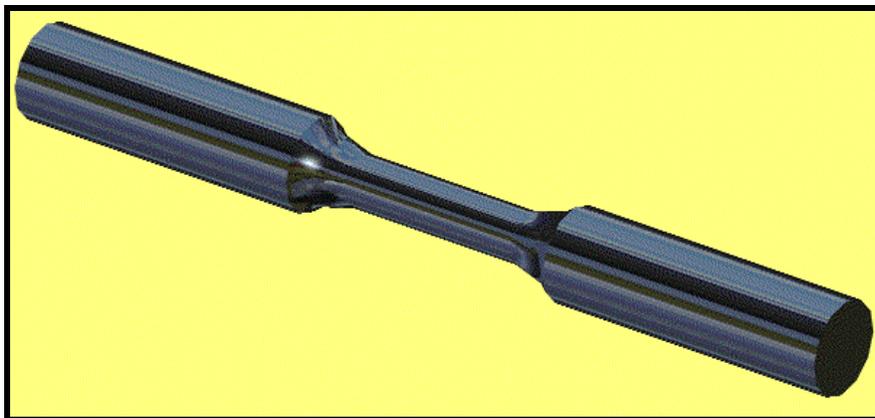


Figura 3.10: projeção por computador do aspecto final dos corpos-de-prova para ensaios mecânicos.

A figura 3.11 representa corpos-de-prova já lixados e polidos, na condição ideal de ensaio.



Figura 3.11: Corpos-de-prova em condições de ensaio.

Todas as medições de rugosidade superficial foram realizadas em rugosímetro Mitutoyo padrão, obtendo-se os valores de rugosidade transversal e longitudinal em cinco amostras de cada material realizando-se seis medições em cada uma delas. A tabela 3.3 abaixo apresenta os parâmetros de operação do rugosímetro utilizado. Todas as medições realizadas no sentido transversal tiveram a circularidade automaticamente corrigida pelo aparelho.

Tabela 3.3: Parâmetros de medição de rugosidade superficial.

Norma	JIS-1994
Parâmetro medido	Ra
Perfil de medição	R
Filtro utilizado	GAUSS
Comprimento de análise	0,25mm
Número de cut-offs	1
λ_c	0,25mm
λ_s	2,5μm
Velocidade de recuo	0,1mm/seg.
Velocidade de avanço	1mm/seg.
Escala	800(máximo)
Apalpador	Standard
Unidade	μm

A rugosidade superficial encontrada nos corpos-de-prova após as etapas de lixamento e polimento encontra-se na tabela 3.4:

Tabela 3.4: Rugosidade superficial alcançada com lixamento e polimento dos corpos-de-prova para ensaios mecânicos.

Material:	<u>Rugosidade superficial (μm)</u>	
	Transversal	Longitudinal
<u>2205</u>	0,035\pm0,012	0,032\pm0,007
<u>2507</u>	0,026\pm0,007	0,028\pm0,011

Ensaio mecânicos:

Ensaio de tração foram conduzidos com o intuito de se determinar a rigidez, a resistência mecânica (limite de escoamento, limite de resistência e limite real de ruptura) e ductilidade (alongamento, estricção, deformação real

na ruptura e deformação real uniforme) dos materiais em estudo, traçando os limites para os ensaios de fadiga, além dos coeficientes H e n da equação 2.9. Tanto os ensaios de tração como os ensaios de fadiga foram conduzidos na máquina universal de ensaios MTS (figura 3.12). Especificamente para os ensaios de fadiga, foi realizada a variação das cargas máxima e mínima para obtenção de ensaios com diferentes valores de amplitude de deformação e deformação média igual a zero, utilizando-se para todos os ensaios frequência de 0,2Hz. Destes valores poder-se-á obter os valores dos expoentes de Basquin e de Coffin e os coeficientes de resistência e ductilidade na fadiga (eq. 2.18), além dos valores de H' e n' para a equação de Ramberg-Osgood cíclica (eq. 2.19). Análise fractográfica em lupa estereoscópica (figura 3.13) foi realizada, tentando analisar os mecanismos de fratura.



Figura 3.12: Máquina universal de ensaios MTS, com capacidade máxima de 250 kN, servo-controlada, dotada de controlador *Teststar II*. LabMat-FEI.

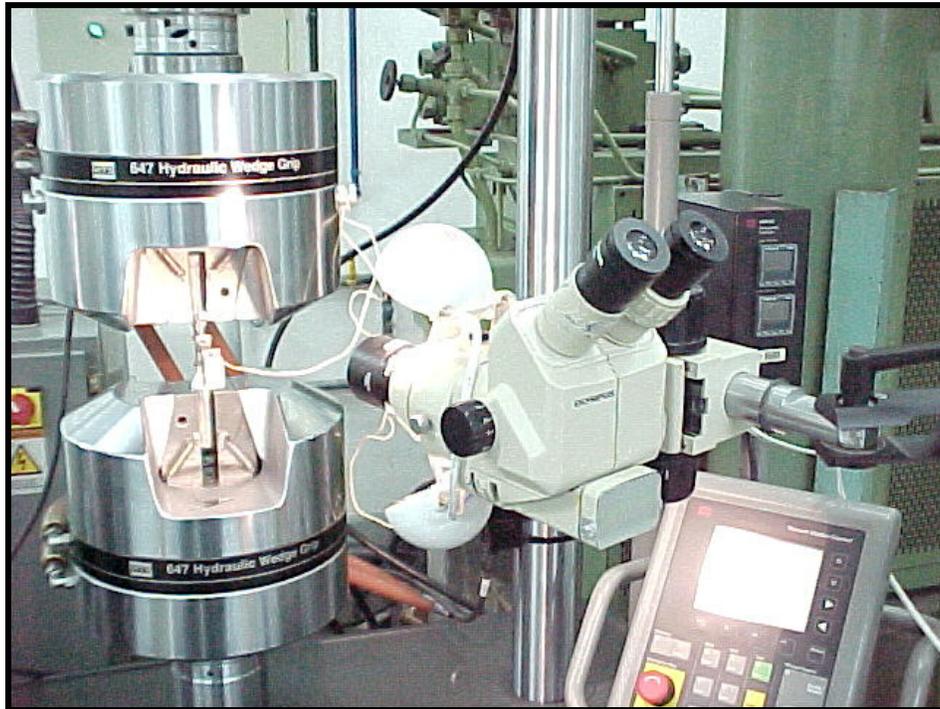


Figura 3.13: lupa estereoscópica acoplada à máquina universal MTS. LabMat-FEI.

A figura 3.14 apresenta os extensômetros MTS de 25mm de comprimento útil utilizados nos ensaios de tração e fadiga, para o preciso controle e análise das deformações. Já nas figuras 3.15 e 3.16 está representado o pirômetro óptico EUROTRON IRtec P500, utilizado no contínuo controle de temperatura do corpo-de-prova durante os ensaios de fadiga, evitando temperaturas demasiadamente elevadas, as quais poderiam comprometer as propriedades físico-metalúrgicas do material em ensaio.



Figura 3.14: extensômetros MTS 25mm de fadiga (esquerda) e de tração (direita).

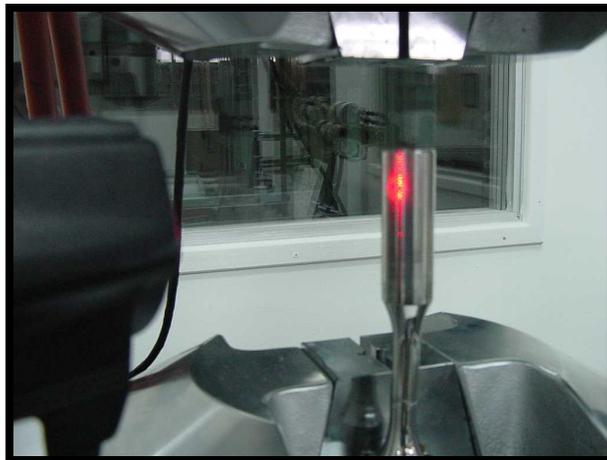
LabMat-FEI.



Figura 3.15: pirômetro acoplado à máquina MTS. LabMat-FEI.



(a)



(b)

Figura 3.16: (a)visor do pirômetro com medição instantânea e médias das temperaturas. (b)detalhe do alvo laser do pirômetro óptico para focalização da medição. LabMat-FEI.

Medição da estricção:

Uma vez realizados os ensaios de tração em cinco corpos-de-prova de cada uma das ligas, notou-se o modo de fratura dúctil com intensa deformação e formação de estricção. Este fato exige a correção dos valores de tensão real de fratura devido à existência de um estado triaxial de tensões, fato este que vem facilitar a ocorrência de maiores deformações plásticas. Para tal, é necessária a determinação dos raios gerados na estricção e dos diâmetros mínimos atingidos nas respectivas secções transversais. Para tal medição foi utilizado um projetor de perfil Mitutoyo tipo PJ-300H, como mostrado na figura 3.17, da empresa Domoral Indústria Metalúrgica Ltda.