

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E PROPRIEDADES DE JUNTAS DISSIMILARES UTILIZADAS NO ACOPLAMENTO DO MAB DOS REATORES PWR.

Júlio César Baully e Arnaldo H.P.Andrade

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.IPEN/CNEN
Travessa R 400 – Cidade Universitária
05508-970 – São Paulo

Resumo

A caracterização química, mecânica e microestrutural de uma junta dissimilar entre um aço inoxidável austenítico SA336F347, e um martensítico SA479Tipo414 soldada com o processo TIG foi realizada, definindo como resultado desta caracterização que o consumível de níquel ERNiCr-3 aparenta ser o melhor consumível aplicável, comparado ao consumível ER309L; também foram avaliadas as principais variáveis de controle no processo, sua soldabilidade e suas propriedades, para uma futura qualificação de um procedimento de soldagem, além de simular situações possíveis de serem encontradas neste tipo de junta, tais como, sua soldabilidade com o processo LASER, a junta soldada sem adição de material e sem proteção da raiz com gás inerte (purga), obtendo-se desta forma dados suficientes para a fabricação de produtos que as contém.

Palavras -chave: aço martensítico, aço austenítico, junta dissimilar, solda, TIG.

1. INTRODUÇÃO

Juntas dissimilares tem sido largamente utilizadas em muitos produtos da engenharia química, petroquímica e nuclear. As aplicações das juntas dissimilares, não somente satisfazem aos diferentes requisitos de variadas condições de serviços, tais como, resistência mecânica, resistência à corrosão e propriedades magnéticas, como também resultam em grande economia, na redução de custos de produtos, em substituição à utilização de metais mais nobres e de altos custos[1].

Dentre as várias aplicações das juntas dissimilares, uma está no “selo Omega do MAB” nomenclatura dada pelo projeto, à união do tubo do estator do *Mecanismo de Acionamento de Barras de Controle e Segurança do Reator* (MAB), fabricado em aço inoxidável martensítico forjado, SA 479 Tipo 414[2], com a conexão que sai do tempo do vaso do reator fabricada em aço inoxidável austenítico forjado SA 336 F 347[2]; O MAB trabalha na temperatura de ~160°C, com uma pressão de ~14 MPa, garantindo de forma segura, o controle de potência do reator durante os períodos de operação da planta.

A união por solda desenvolve transformações metalúrgicas que devem ser estudadas particularmente para cada material, sendo a soldagem realizada com a aplicação localizada de calor e/ou deformação plástica. Como

resultado, alterações das propriedades do material, nem sempre desejáveis ou aceitáveis, podem ocorrer na região da junta. A maioria destas alterações depende das reações ocorridas durante a solidificação e resfriamento do cordão de solda e de sua microestrutura final. Assim, a compreensão destes fenômenos metalúrgicos é importante em muitas aplicações da soldagem, tendo como apoio fundamental o diagrama de Schaeffler[3].

O presente trabalho teve um embasamento também nos resultados apresentados na literatura, tal como o de Irving[4], que faz uma pesquisa sobre a opinião de vários especialistas em soldagem dissimilar, mostrando os problemas que ocorrem em dissimilaridades mais comuns, entre aços austeníticos e ferríticos, como aqueles relacionados aos altos teores de ferrita delta que levava ao controle do parâmetro FN (ferrite number), para que se evitasse as trincas à quente na junta, mostrando também a importância do estudo dos coeficientes de expansão térmica dos metais bases e dos metais depositados; o surgimento dos aços fabricados pelo processo AOD (Descarbonetação por Oxigênio e Argônio), com baixos FNs, onde ocorre a melhoria de suas soldabilidades, além do desenvolvimento de metais de adição, na forma de arames, levando à utilização de outros processos, tais como, o GMAW, SAW e GTAW [5]; Irving também mostra neste estudo o quão

importante foi o avanço no desenvolvimento dos metais base e de adição mostrando em seguida a importância dos efeitos da diluição, que é definida como a participação do metal base no metal de solda levando-se, em conta o processo de soldagem a ser utilizado.

Com isso, Irving apresenta os problemas que ocorriam em juntas dissimilares austeníticas-ferríticas de revestimentos resistentes à corrosão, terminando com a apresentação de juntas dissimilares soldadas, por processos de soldagem não convencionais como explosão, resistência e fricção. Segundo Irving a indústria automobilística começou a questionar seus produtos, já que os projetistas viram a importância desta tecnologia de juntas dissimilares na busca de redução dos custos de seus produtos mantendo suas qualidades; Outros pesquisadores entre eles Lundin [6] e Klueh e King [7] investigaram também juntas dissimilares austeníticas-ferríticas dando ênfase ao problema de migração de carbono; todas as investigações citadas levaram à conclusão de que os consumíveis de níquel são superiores aos de níquel-cromo; isto também foi corroborado pelos trabalhos de Doody [8], Feldstein [9], Rowe et al [10] e Omar [11], sendo que somente um artigo, o de Sun e Han [1], chegou às mesmas conclusões, investigando uma junta dissimilar austeno-martensítica, portanto o único que mais se aproxima com o presente trabalho.

II. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Um tarugo de aço inoxidável martensítico SA 479 tipo 414 modificado (não sofreu tratamento térmico após forjamento) e um tarugo de aço inoxidável austenítico SA 336 F 347, foram fatiados e utilizados para a preparação das chapas testes de uma junta dissimilar soldada pelo processo TIG com dois tipos de consumíveis especificados pelo ASME II parte C [12] e classificados como ERNiCr-3 e ER309L os quais foram caracterizados quimicamente, pela análise da composição dos metais base, dos metais de adição e do metal de solda da junta obedecendo aos métodos de ensaio da norma ASTM E-39[13] e ASTM E-

353[14]. A Tab.1 apresenta a composição química dos aços e consumíveis utilizados.

A caracterização mecânica foi efetuada com a realização de ensaio de tração, analisando os valores do limite de resistência à tração σ_r dos metais bases, dos metais depositados e da chapa teste da junta, sendo que as amostras dos metais depositados e das chapas testes, foram radiografadas integralmente objetivando retirar os corpos de prova de regiões sem defeitos, para que os valores não tivessem interferência em seus resultados, por descontinuidades oriundas da habilidade do operador, garantindo desta forma uma análise mais segura do ensaio.

Os corpos de provas foram confeccionados obedecendo aos métodos de ensaio das normas A370 [15], ASME II-C[12] e ASME IX[16]; ensaio de dureza Vickers obedecendo aos métodos de ensaio da ASTM E 92[17], com carga de 10Kgf, transversal à junta a 2 mm abaixo da superfície, com medição nos metais base, a 0,2mm da linha de fusão do metal de solda com o material austenítico SA336F347, no metal de solda e na zona termicamente afetada do lado do metal base martensítico SA479tipo414; Um ensaio de dobramento longitudinal, também foi realizado na chapa teste soldada com o consumível ERNiCr-3 com os corpos de provas confeccionados obedecendo aos métodos de ensaio da ASTM E 190[18], atendendo aos requisitos do ASME IX-QW-462.3 (b) [16].

A caracterização microestrutural foi efetuada por micrografia óptica obedecendo aos métodos de ensaio da ASTM E-407[19] e ASTM E-3[20], de regiões da face e raiz da junta, e análise micrografica com o microscópio eletrônico de varredura das regiões fraturadas dos corpos de prova de tração das juntas soldada com ERNiCr-3 e ER309-L.

Um ensaio de susceptibilidade ao ataque intergranular foi realizado também na chapa teste soldada com a ERNiCr-3 obedecendo aos métodos de ensaio da ASTM-A 262 prática E[21]; A chapa teste de número CP-11 foi realizada a soldagem com o processo LASER, sem adição de material e sem purga, fornecendo dados para comparar com o processo TIG; com isto estas investigações do presente trabalho nos levaram a realização de 12 peças, entre amostras e chapas testes.

Tabela 1 –Composição química dos aços e consumíveis utilizados (%Max. em peso).

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	Fe	Ta	N	Co	Ti
SA- 414	0,096	0,44	0,024	0,006	0,88	12,3	2,01	-	-	-	84,24	-	-	-	-
SA- 347	0,043	1,6	0,020	0,002	0,4	17,45	9,15	0,3	0,18	0,7	70	<0,03	0,021	0,08	<0,01
ERNiCr3	0,06	4,25	0,024	0,013	0,55	15,5	69	0,13	0,02	2,6	7,0	-	-	-	0,22
ER309L	0,011	1,97	0,018	0,011	0,42	22,40	14,93	0,10	0,13	-	60,01	-	-	-	-

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados na caracterização da amostra da chapa teste da junta dissimilar soldada pelo processo TIG, com o consumível ERNiCr-3 e com gás de proteção na raiz, foram comparados aos valores da amostra da chapa teste da junta dissimilar soldada pelo processo TIG, com o consumível ER309L e com gás de proteção na raiz, objetivando a definição de escolha do melhor consumível para a junta em questão.

O valor encontrado para o limite de resistência à tração σ_r à temperatura ambiente, com o corpo de prova de dimensões $d_0=12,41\text{mm}$ e $S_0=120,95\text{mm}$, com uma carga aplicada de 7700 Kgf, foi de 624 MPa na junta dissimilar soldada com ERNiCr-3, superior a 514 MPa, valor do aço inoxidável SA 336 F 347 integrante da junta, rompendo na linha de fusão do SA 336 F 347.

O perfil de dureza Vickers, mostrada na Fig.1, se correlacionam bem com os valores de resistência à tração encontrados.

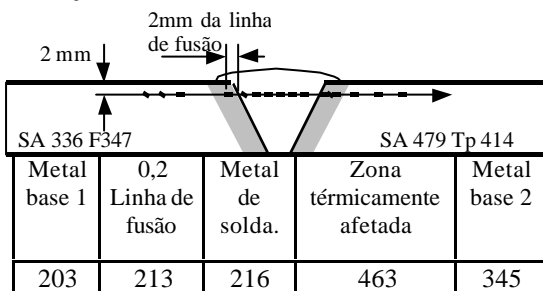


Figura 1-Perfil da dureza vickers HV10, junta dissimilar soldada com ERNiCr-3,.

A caracterização realizada por microscopia ótica das regiões mostradas na Fig.2, da junta dissimilar soldada com ERNiCr-3, fornecem as microestruturas das Figuras 3,4, 5 e 6.

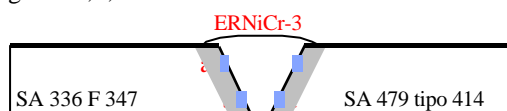


Figura 2-Regiões da retirada das micrografias

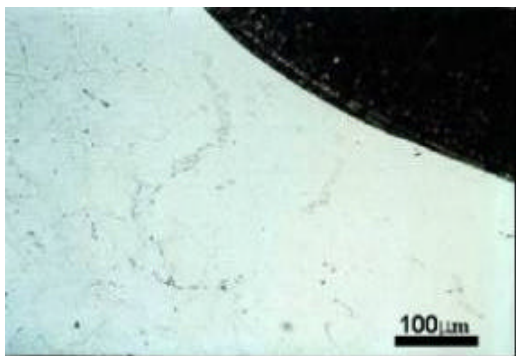


Figura 3-Micrografia da região a, mostrando carbonetos.

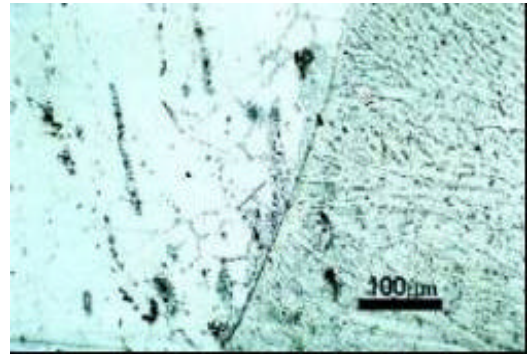


Figura 4-Micrografia da região b, mostrando carbonetos.

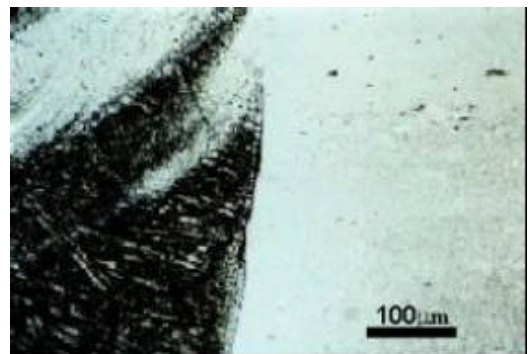


Figura 5-Micrografia da região c, mostrando estrutura martensítica.

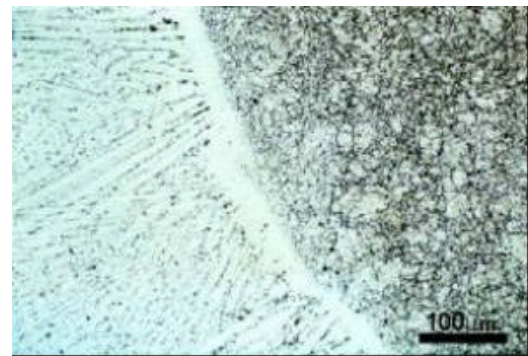


Figura 6-Micrografia da região d, mostrando estrutura martensítica revenida.

A caracterização realizada por microscopia ótica das regiões mostradas na Fig. 7 junta dissimilar soldada com ER309L, fornecem microestruturas das Figuras 8,9, 10 e 11.



Figura 7-Regiões da retirada das micrografias

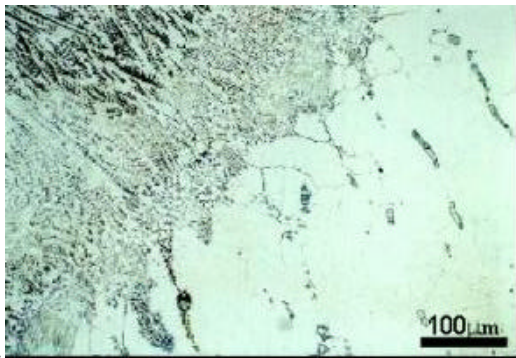


Figura 8-Micrografia da região **a** amostra, mostrando a estrutura austenítica com ilhas de ferrita.

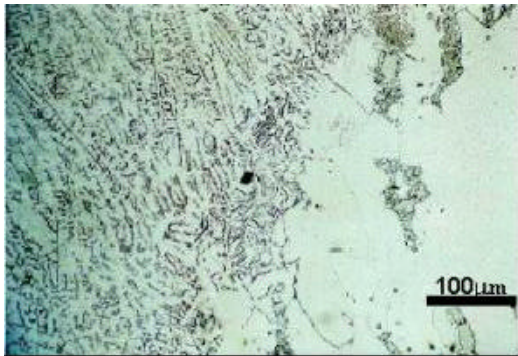


Figura 9-Micrografia da região **b**, mostrando a estrutura austenítica com ilhas de ferrita.

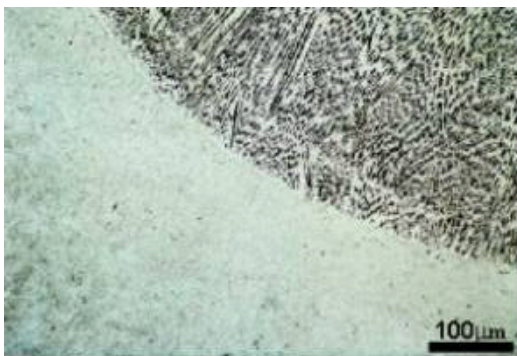


Figura 10-Micrografia da região **c** mostrando estrutura martensítica.

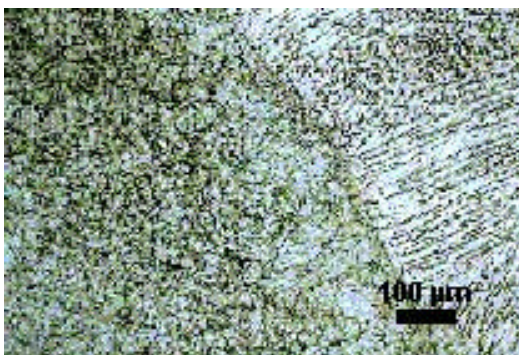


Figura 11-Micrografia da região **d** mostrando estrutura martensítica revenida.

A caracterização fractográfica realizada por microscopia eletrônica de varredura da junta soldada com o consumível ERNiCr-3 apresentada na Fig. 12, mostra microcavidades (dimples) equiaxiais de dimensões da ordem de 5μm, e algumas inclusões presentes.

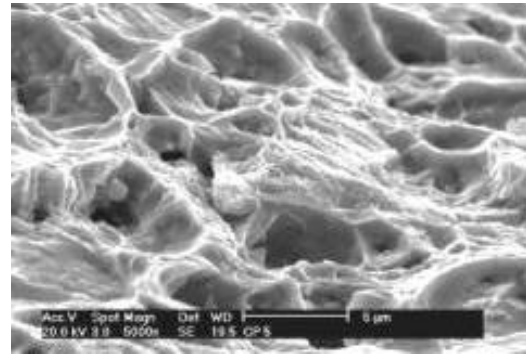


Figura 12-Fractografia por MEV da junta soldada com o consumível ERNiCr-3.

O valor encontrado para o limite de resistência à tração σ_r à temperatura ambiente, com o corpo de prova de dimensões $d_0=12,58\text{mm}$ e $S_0=124,29\text{mm}$, com uma carga aplicada de 7300 Kgf foi de 576 MPa, na junta soldada com o consumível ER309L superior a 514 MPa, valor do aço inoxidável SA 336 F 347 integrante da junta, rompendo no metal de solda.

O perfil de dureza Vickers, mostrada na Fig.13, se correlacionam bem com os valores de resistência à tração encontrados.

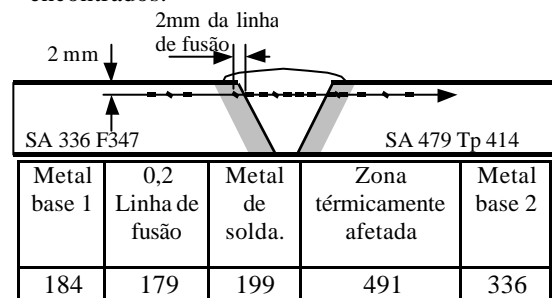


Figura 13-Perfil da dureza Vickers HV10, da junta soldada com o consumível ER309L.

Na caracterização fractográfica, realizada por microscopia eletrônica de varredura apresentada na Fig. 14 da junta soldada com o consumível ER309L, mostra microcavidades (dimples) equiaxiais de dimensões da ordem de 10μm, e algumas inclusões presentes.

Das observações por microscopia eletrônica de varredura, obtém-se na junta dissimilar soldada com níquel, a confirmação de uma microestrutura de resistência superior, visto que, na superfície de fratura observada, os dimples apresentam dimensões menores ($\approx 5\mu\text{m}$) além de um menor número de inclusões comparadas àquelas apresentadas na junta soldada com níquel-cromo;

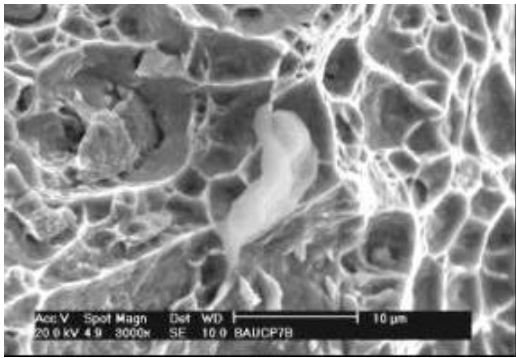


Figura 14-Fractografia por MEV da junta soldada com o consumível ER309L.

IV. CONCLUSÃO

Os resultados do presente trabalho, embasados na literatura, mostram que o limite de resistência da junta dissimilar entre os aços inoxidáveis austeníticos e martensíticos soldada com o consumível de níquel, ERNiCr-3, tem um valor maior do que a junta dissimilar soldada com consumível de níquel-cromo ER309L; na junta dissimilar soldada com níquel, a fratura ocorre na linha de fusão do material menos resistente, ao passo que, na junta soldada com níquel-cromo a fratura ocorre no metal de solda; tomando como referência o perfil de dureza, vê-se também que a junta dissimilar soldada com níquel apresenta, na Z.T.A do metal SA479Tp414 martensítico, um valor menor do que o encontrado na mesma região, da junta soldada com níquel-cromo, portanto, a junta dissimilar soldada com níquel, tem uma menor propensão de desenvolvimento de trincas nesta região. Dos resultados de microscopia óptica, tanto como eletrônica verifica-se que a junta dissimilar soldada com níquel, continua apresentando microestruturas de maiores resistências;

Portanto dos resultados apresentados a escolha do consumível ERNiCr-3, aparenta ser a melhor opção para a soldagem desta junta dissimilar austenítica/martensítica.

V. REFERÊNCIAS

- 1- Sun, Z.; Han, H.Y.; "Weldability and properties of martensitic/austenitic stainless steel joints", *Mat. Science and Technology*, 10(9):823-829,1994.
- 2- ASME (American Society of Mechanical Engineers) BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, Section II- Part A- Ferrous Material Specifications +- July,1998.
- 3- Quites A. M., Apostila I.B.Q.N (Instituto Brasileiro da Qualidade Nuclear), Soldagem e Soldabilidade, 1990.
- 4- Irving, B.; "Dissimilar metal welding paves the way to new ventures", *Weld. J.*,71(5):27-33,1992.
- 5- ANSI/AWS A3.0-94, Standard Welding Terms and Definitions, May 23 1994.
- 6- Lundin, C.D.; "Dissimilar metal welds – Transition joints review". *Weld. J.*, 61(2):58s-63s,1982.
- 7- Klueh, R.L.; King, J.F.; "Austenitic stainless steel –feritic steel weld joint failures". *Weld. J.*, 61(9):302s-311s,1982.
- 8- Doody, T.; "Intermediate mixed zones in dissimilar metal welds for sour service". *Weld. J.*, 71(3):55-60,1992.
- 9- Feldstein, J.G.-"Dissimilar welds with stainless steel ": *Metals Handbook*, vol.6,ASM, pg 500-504.1993.
- 10- Rowe MD, Nelson TW, Lippold JC; "Hydrogen-induced cracking along the fusion boundary of dissimilar metal welds", *WELD J* 78: (2)31S-37S, FEB 1999.
- 11- Omar A.A. "Effects of Welding parameters on hard zone formation at dissimilar metal welds", *WELD J* 77: (2) 86S-93S, FEB 1998.
- 12- ASME (American Society of Mechanical Engineers) BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, Section II- Part C- Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals- July,1998.
- 13- ASTM, E-39-75 Standard Test Method For Chemical Analysis of Nickel, American Society For Testing And Materials, USA 1984, Section 3,Volume 03.05.
- 14- ASTM, E-353-84. Standard Test Method For Chemical Analysis of Stainless, Heat-Resisting, Maraging, and other similar Chromium-Nickel-iron alloys, American Society For Testing And Materials, USA 1984.Section 3.Volume 03.05.
- 15- ASTM A 370-Standard Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products- July,1988.
- 16- ASME (American Society of Mechanical Engineers) BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, Section IX-Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures , welders, brazers and welding and brazing operators- July,1998.
- 17- ASTM, E 92-86. Standard Test Method For Vickers Hardness of Metallic Materials,. American Society For Testing And Materials. USA.1987.Section 3.Volume 03.01.
- 18- ASTM, E 190-80 Standard Test Method For Guide Bend Test For Ductility Of Welds, Standard For American Society For Testing And Materials .USA.1987,Section 3, Volume 03.01.
- 19- ASTM, E-407-70. Standard Test Method For Microetching Metals and alloys, Standard Test

Method For American Society For Testing And Materials, USA 1986.Section 3.Volume 03.05.

- 20- 36-ASTM, E-3-80. Standard Test Method For Metallographic Specimens, American Society For Testing And Materials, USA 1986.Section 3.Volume 03.0.
- 21- ASTM A 262, Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels.

GLOSSÁRIO

Amostra (AM) - Fragmento ou exemplar representativo de alguma coisa.

Chapa ou tubo de teste (test coupon) - peça soldada e identificada para qualificação de procedimento de soldagem ou de soldadores ou de operadores de soldagem.

Consumível - Material empregado na deposição ou proteção da solda tais como: eletrodo, vareta, arame, anel consumível, gás e fluxo.

Corpo de prova (test specimen) - amostra retirada e identificada da chapa ou tubo de teste para executar ensaios mecânicos, químicos ou metalográficos.

Diluição (diluted)- Participação do metal base na zona fundida.

Gás Inerte (Inert Gas) - Gás que normalmente não combina quimicamente com o metal base ou metal de adição.

Gás de Proteção (Shielding Gas) - Gás utilizado para prevenir contaminação indesejada pela atmosfera.

Junta (Joint) - Região onde duas ou mais peças serão unidas por soldagem.

Junta Dissimilar (Dissimilar Joint) - Junta soldada cujo a composição química do metal base das peças difere entre si significativamente.

Junta Soldada (Welded joint) - união, obtida por soldagem, de dois ou mais componentes incluindo zona fundida, zona de ligação, zona afetada termicamente e metal de base nas proximidades da solda.

Metal de Adição (Filler Metal) - Metal a ser adicionado na soldagem de uma junta.

Metal de Base (Base Metal , Parent Metal) - Metal a ser soldado, brazado ou cortado.

Metal Depositado (Deposited Metal) - Metal de adição que foi depositado durante a operação de soldagem.

Metal de Solda (Weld Metal) - Porção de solda que foi fundida durante a soldagem.

Soldagem (Welding) -Processo utilizado para unir materiais por meio de solda.

Solda (Weld) - União localizada de metais ou não metais, produzida pelo aquecimento dos materiais a temperatura adequada, com ou sem aplicação de pressão, ou pela aplicação de pressão apenas, e com ou sem participação de metal de adição.

MAB - Mecanismo de Acionamento de Barras de controle e segurança do reator.

Zona Afetada Termicamente (ZTA- heat-affected zone) - Região do metal de base que não foi fundida durante a

soldagem, mas cuja as propriedades mecânicas e microestruturais foram alteradas devido a geração do calor.

ABSTRACT

The chemical, mechanical and microstructural characterizations of a dissimilar joint between SA336F347 austenitic and SA479Tp414 martensitic stainless steels were done, welded by TIG process, defining as a result of this characterization that the ERNiCR-3 Ni consumable seems to be the best applicable consumable compared to the ER309L consumable; The main variables of the process control were also evaluated, its weldability and properties for a future qualification of a welding procedure, besides to simulate possible situations to be found in this type of joint, such as, its weldability by the LASER process, welded joint without filler metal and without shielding gas, obtaining in this way enough data for the production of products that contains this type of joint.