

# INICIAÇÃO DE TRINCAS POR CORROSÃO SOB TENSÃO EM SOLDAS DISSIMILARES EM AMBIENTE DE REATOR NUCLEAR DO TIPO PWR<sup>1</sup>

*Guilherme Marconi Silva<sup>2</sup>*

*Alexandre Queiróz Bracense<sup>3</sup>*

*Mônica Maria Abreu Mendonça Schwartzman<sup>4</sup>*

## Resumo

A corrosão sob tensão (CST) de liga NiCrFe (Inconel<sup>®</sup> 600) é uma das mais importantes questões em matéria de degradação dos circuitos primários de reatores de água pressurizada (PWR). Embora os modelos mecanísticos, como dissolução por movimento de deslocações, fragilização por hidrogênio e oxidação interna terem sido propostos, nenhum deles tenha sido plenamente estabelecido para explicar o fenômeno. No entanto, a susceptibilidade da liga 600 é fortemente dependente da temperatura, da história termo-mecânica da liga, das condições de início e da taxa de crescimento da trinca. A influência de diversos parâmetros sobre a etapa de iniciação já foi determinada, no entanto, o exato momento do início da trinca não é bem determinado. Este trabalho tem objetivo de avaliar a etapa de iniciação da trinca, antes de sua propagação pelo fenômeno da corrosão sob tensão utilizando-se o ensaio de flexão quadriapoado.

**Palavras-chave:** Corrosão sob tensão; Iniciação de trinca; Inconel<sup>®</sup> 600.

## STRESS CORROSION CRACK INITIATION OF DISSIMILAR WELD IN PRIMARY WATER CIRCUIT OF PRESSURIZED WATER REACTORS ENVIROMENT

## Abstract

Stress corrosion cracking (SCC) of alloy NiCrFe (INCONEL<sup>®</sup> 600) is one of the most important material degradation issues in primary water of pressurized water reactors (PWR). Although the mechanistic models such as the slip dissolution, hydrogen embrittlement and internal oxidation have been proposed, none of them has been fully established to explain primary water SCC (PWSCC). However, Alloy 600 susceptibility is strongly dependent on the heat, thermo mechanical history and both the crack initiation time and the crack growth rate. The influence of several parameters on crack initiation time has been determined. However the exact moment of the crack initiation is not well determined. This work evaluates the exact initiation time of the stress corrosion cracking during the four point bending test

**Key words:** Stress corrosion cracking; Crack initiation; Inconel<sup>®</sup> 600.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Industrial Mecânico, Doutor, Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica, CEFET, Belo Horizonte, MG, Brasil; gmarcsil@gmail.com.*

<sup>3</sup> *Físico, PhD, Professor Associado do Departamento, Engenharia Mecânica, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil; queiroz@demec.ufmg.br.*

<sup>4</sup> *Engenheira Química, Doutora, Tecnologista do CDTN, Belo Horizonte, MG, Brasil; monicas@cdtn.br.*

## 1 INTRODUÇÃO

A Liga de níquel 600 assim como seus metais de adição (ligas 82 e 182) de composições similares utilizados em processos de soldagem é encontrada nos principais componentes de reatores nucleares: no vaso de pressão, geradores de vapor, pressurizadores e suas conexões. Sua utilização foi devido ao fato destes materiais possuírem elevada resistência mecânica, grande ductilidade e alta resistência à corrosão nas condições de operação das centrais nucleares tipo PWR. Porém, após longo período de operação (da ordem de 2 décadas) observou-se que estas ligas eram susceptíveis à corrosão sob tensão nas condições de operação dos circuitos primário e secundário destes reatores. Este trabalho tem como objetivo mostrar a metodologia adotada para avaliação do processo de iniciação de trincas por corrosão sob tensão, utilizando-se o método de ensaio ASTM G39, em soldas dissimilares semelhantes às existentes no bocal do pressurizador de uma usina nuclear. A junta estudada é constituída de uma chapa de aço ASTM A 508 G3, de uma chapa de aço inoxidável AISI 316, soldadas utilizando-se os processos TIG e Eletrodo Revestido. Os metais de adição foram a vareta na liga 82 e o eletrodo revestido na liga 182.

### 1.1 Revisão Bibliográfica

#### 1.1.1 Soldas dissimilares em reatores nucleares

A união ou soldagem entre dois diferentes materiais, denominada de soldagem dissimilar é um processo que pode ser aplicado na união de tubulações em aços inoxidáveis com as estruturas em aços de Baixa Liga e Baixo Carbono dos diversos vasos de pressão (reator, gerador de vapor e pressurizador). As características das juntas dissimilares dependem de uma série de fatores, incluindo o tipo de usina nuclear, os materiais usados e o procedimento de soldagem.

É usual em usinas nucleares, tipo PWR (*Pressurized Water Reactor*), adotarem-se um ou mais dos métodos a seguir:

- soldagem direta dos dois materiais;
- soldagem dos dois materiais após o amanteigamento de um deles; e
- uso de uma peça intermediária entre os dois materiais.

A quantidade de Centrais Nucleares oriundas de diversos fabricantes resulta em um elevado número de soldagens dissimilares apresentando diferentes configurações. Uma avaliação em dezesseis reatores dos tipos PWR e BWR (*Boiling Water Reactor*), nos Estados Unidos, identificou quinze configurações típicas de soldagens dissimilares e também dez tipos de juntas.<sup>(1)</sup>

Um método considerado bastante adequado, em termos de aplicação prática é a utilização de uma camada de amanteigamento sobre o aço de baixa liga (ASTM A 508 G3) seguido de alívio de tensões e usinagem do chanfro. Isto permite que o componente seja tratado termicamente para eliminar o afetamento térmico do aço de baixa liga, decorrente da operação de amanteigamento, e preparado para a montagem final fora do local de utilização. Em seguida faz-se o enchimento da junta aço inoxidável/camada amanteigada. Esta configuração elimina a necessidade de aliviar novamente as tensões no aço de baixa liga após o processo de soldagem com as tubulações, evitando-se assim expor o material do aço inoxidável a temperaturas onde o mesmo poderia tornar-se sensibilizado, criando-se áreas com maior potencial de corrosão.

Os eventos de vazamento nos circuitos primários dos reatores decorrentes de trincas por corrosão sob tensão ocorreram exatamente nas juntas dissimilares, geralmente nos bocais de acesso.

### **1.1.2 A corrosão sob tensão em reatores nucleares**

O trincamento intergranular causado pelo ambiente aquoso em alta temperatura tem sido um importante fator na administração e predição da vida útil das usinas nucleares em todo o mundo. Este fenômeno é resultado do efeito sinérgico do ambiente do reator, um material com uma microestrutura susceptível e a aplicação de uma tensão.<sup>(2)</sup>

Dentre as condições para que ocorra o fenômeno de trincamento por corrosão sob tensão pode-se dizer que:<sup>(3)</sup>

- só ocorre em meios específicos nos quais exista um balanço típico entre as taxas de corrosão e repassivação;
- só ocorre em materiais que apresentem um comportamento ativo-passivo;
- ocorre de modo frágil em materiais dúcteis; e
- pode ocorrer em níveis de tensões muito abaixo do limite de escoamento do material.

O fenômeno de CST ocorre, geralmente, em materiais que apresentam boa resistência à corrosão em geral, como por exemplo: ligas de níquel, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de alumínio, ligas de titânio, etc. Este fenômeno é associado à presença de tensões mecânicas no material, aplicadas ou residuais, em contato com um meio corrosivo, no caso de um reator, este meio é mantido com baixo potencial corrosivo.

### **1.1.3 Iniciação de trincas por corrosão sob tensão em reatores nucleares**

Fatores que causam a iniciação do trincamento por corrosão sob tensão tais como: Pites, Defeitos de Fabricação, Corrosão Intergranular são facilmente observados e identificados, entretanto, são poucos os modelos desenvolvidos para explicar o processo de iniciação. Esta falta de modelos para os mecanismos de iniciação é resultante de diversos fatores complicadores, por exemplo, a dificuldade de identificação do exato momento do início, apesar de não ser difícil de detectar a localização de onde a trinca surgiu. Outra dificuldade é de se determinar em que região, no caso de Pites, onde iniciou uma trinca e, no caso de corrosão intergranular, quando esta se torna trinca por corrosão sob tensão.<sup>(4)</sup>

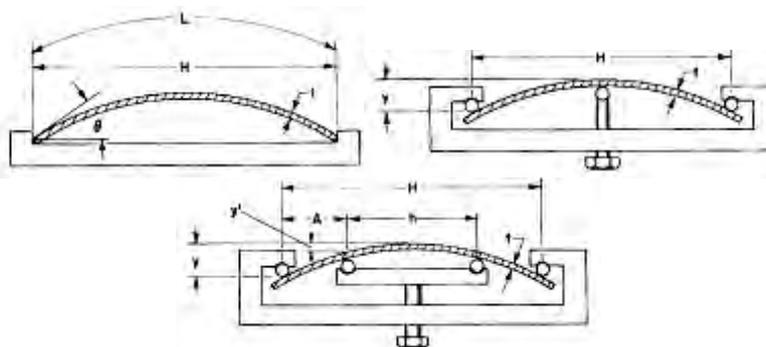
### **1.1.4 Ensaio de iniciação de trincas em ambiente de reator PWR**

Existem diversos métodos padronizados por entidades normativas para avaliação da corrosão sob tensão. Geralmente se avalia se o material sofre ou não o processo de corrosão, podem ser determinadas as taxas de crescimento e propagação de trincas. Variações do meio corrosivo também podem ser testadas. Na maioria das vezes utilizam-se ensaios que envolvem o carregamento do material até a sua ruptura, em outros casos os materiais a serem testados são previamente deformados dentro de seu campo plástico. Nestes casos as superfícies das amostras ficam muito danificadas e se perde a precisão para avaliar o início da trinca. O ensaio de Iniciação de trincas por CST denominado teste de dobramento apoiado ou em inglês *Bent-Beam Stress-Corrosion Test* padronizado pela “ASTM Standard G 39-99<sup>(5)</sup> abrange o projeto, preparação e utilização de corpos-de-prova para ensaio de corrosão sob tensão. Existem diferentes configurações de corpos-de-prova para utilização com produtos de diferentes formas. Este método é aplicável a

corpos-de-prova, de qualquer tipo de material metálico, carregados com níveis de tensões inferiores ao seu limite de escoamento. A tensão de carregamento pode ser calculada ou medida. Os cálculos da tensão por este método não se aplicam para corpos-de-prova tensionados dentro do campo plástico. Este procedimento é para teste de corrosão sob tensão em ambientes gasosos ou líquidos. Este método envolve a deformação do corpo-de-prova pela aplicação de um esforço de dobramento.

A tensão aplicada é determinada em função do tamanho do corpo-de-prova e da deflexão de dobramento. O corpo-de-prova deformado é levado ao ambiente de teste e o tempo requerido para o aparecimento das trincas é então determinado. Este tempo até o trincamento é usado como medida da resistência à corrosão sob tensão naquele ambiente e naquele nível de tensão.<sup>(5)</sup>

De acordo com a norma podem ser utilizadas diversas montagens de corpos-de-prova, com dois apoios, três apoios e quatro apoios, cujos esquemas de montagem estão apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Desenho esquemático das montagens para corpos-de-prova biapoiado, triapoiado e quadriapoiado.<sup>(2)</sup>

Na maioria das vezes os pesquisadores dão preferência ao quadriapoiado ou “four point bending” porque neste tipo de montagem consegue-se uma uniformidade na distribuição da tensão de tração longitudinal na superfície convexa da amostra ensaiada do corpo-de-prova, que se situa entre os pontos de apoios internos. A tensão decresce linearmente a zero dos pontos de apoios internos até os pontos de apoios externos. Apesar da maior dificuldade na elaboração dos dispositivos de ensaio a grande área tensionada e uniforme desta montagem faz com que este tipo de arranjo seja mais interessante que os de dois ou três pontos de apoio, também padronizados pela norma, e é particularmente adequado para o ensaio de materiais soldados.

O corpo-de-prova deve ser uma tira plana de seção retangular e espessura uniforme. É desejável que suas condições superficiais não influenciem nos resultados dos testes. Todos os corpos-de-prova devem ser preparados da mesma forma e apresentar as mesmas condições superficiais. Para o cálculo da tensão é utilizada a expressão apresentada na Equação 1.<sup>(2)</sup>

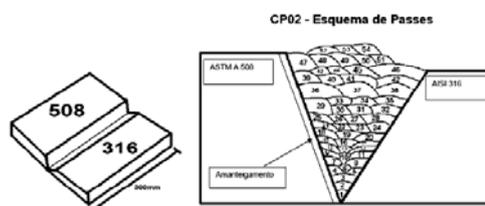
$$\sigma = \frac{12Ety}{3H^2 - 4A^2} \quad (1)$$

Onde  $\sigma$  é a tensão atuante,  $E$  é o módulo de elasticidade do material testado,  $t$  é a espessura do corpo-de-prova,  $y$  é a deflexão,  $H$  é a distância entre os apoios externos e  $A$  é a distância entre os apoios externos e internos consecutivos, mostrados anteriormente na Figura 1.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

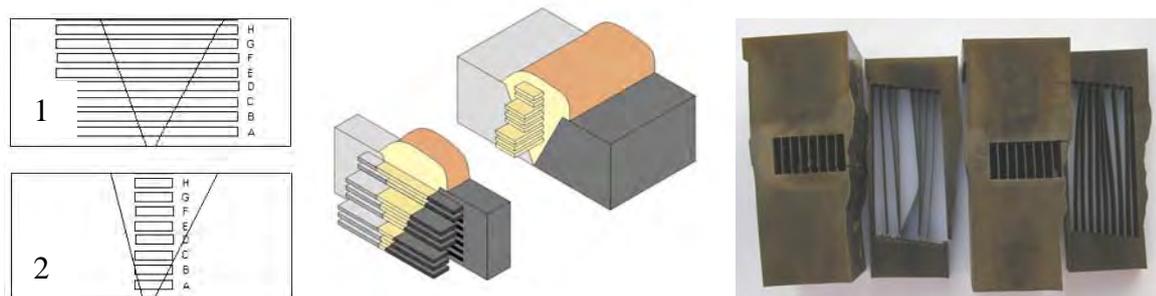
Neste trabalho foi estudado o fenômeno da iniciação de trincas, em ambiente de reator PWR, de juntas soldadas do aço ASTM A 508 G 3 com o aço inoxidável AISI 316L utilizando-se como metais de adição as ligas de níquel (Ligas 82 e 182). Os corpos-de-prova foram retirados de uma chapa de teste, cujo croqui está mostrado na Figura 2, onde se procurou reproduzir uma junta soldada dissimilar de um bocal de pressurizador de um reator do tipo PWR, semelhante ao aplicado na usina de Angra 1

A chapa de teste é constituída de duas chapas metálicas com dimensões: 140mm X 300mm X 36mm, no caso do aço ASTM A 508 G 3 e para o aço AISI 316L 140mm X 300mm X 31mm. Sobre o aço ASTM A 508 foi realizada uma operação de amanteigamento utilizando-se o processo GTAW com Vareta na liga 82. Após a preparação da junta o enchimento da mesma foi realizado através do processo com Eletrodo Revestido na liga 182.



**Figura 2.** Esquema ilustrativo da chapa de teste e da seção transversal da junta dissimilar.

A retirada dos corpos-de-prova foi realizada empregando-se o corte por eletroerosão, de modo a não gerar qualquer encruamento decorrente da força de corte e nenhum afetamento térmico, evitando-se assim o aparecimento de tensões residuais na superfície da amostra a ser ensaiada. As dimensões dos corpos-de-prova são: comprimento de 60mm, largura de 12mm e espessura de 2mm. Os corpos-de-prova retirados foram identificados em função da região de retirada e de sua posição na junta. A Figura 3 ilustra a forma de identificação dos corpos-de-prova.



**Figura 3.** Detalhe da identificação e posição dos corpos-de-prova para as seções transversais (1) e longitudinais (2) e fotografia após retirada por eletroerosão.

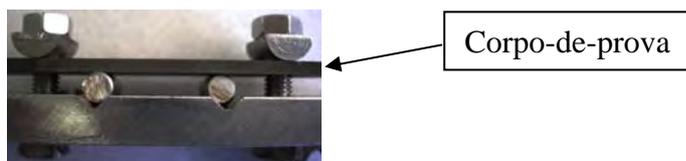
Da chapa de teste foram retirados todos os corpos de prova para o trabalho de avaliação do processo de iniciação de trincas no teste de dobramento quadriapoado. Foram retirados nos sentidos transversais e longitudinais em relação ao eixo da solda. A Tabela 1 apresenta o total de experimentos.

**Tabela 1.** Quantidade de Cps para o ensaio de dobramento quadriapoado

Posição	Direção de Retirada	Quantidade de Cps
1T	Transversal (T)	8 (A/B/C/D/E/F/G/H)
1L	Longitudinal (L)	8 (A/B/C/D/E/F/G/H)
2T	Transversal (T)	8 (A/B/C/D/E/F/G/H)
2L	Longitudinal (L)	8 (A/B/C/D/E/F/G/H)

As amostras foram lixadas até a lixa de grana 2000 em seguida foram polidas em pasta de diamante com granulometria de 3  $\mu\text{m}$  e 1  $\mu\text{m}$ . Após esta preparação foram montadas e deformadas elasticamente com cargas inferiores, em torno de 10%, ao limite de escoamento.

Como comentado acima, neste trabalho deu-se preferência à configuração de quadriapoado ou *four point bending*. Depois de polidos os corpos-de-prova das letras A, D e G das duas seções transversais e das duas seções longitudinais (12 cps) foram montados em dispositivos conforme Figura 4, projetados para suportar tanto o esforço aplicado aos corpos-de-prova quanto à ação corrosiva do meio. No dispositivo de teste os corpos-de-prova serão fletidos até se atingir a deformação calculada, cuja tensão correspondente ficará abaixo do limite elástico do material, e em seguida serão introduzidos no equipamento de teste.



**Figura 4.** Fotografia da montagem do cp no dispositivo.

Para o cálculo da deflexão necessária foi utilizada a fórmula definida pela norma ASTM G 39 para o sistema quadriapoado.

O equipamento de ensaio, onde foram colocados os corpos-de-prova é composto de um vaso de pressão (autoclave), um sistema de bombeamento de alta pressão, um meio aquoso cuja composição é a mesma da água de um reator nuclear do tipo PWR, sistemas de pré-aquecimento e aquecimento do meio circulante, sistemas de resfriamento do meio circulante, sistemas de medição e controle das variáveis do processo, válvulas, conexões e tubulações que visam simular as condições de operação do reator nuclear sem o fator radioatividade. A temperatura e a pressão adotadas foram as de operação de um reator e a água circulante detém as mesmas características da água do reator

Para caracterização metalúrgica e mecânica das amostras foram seccionados corpos-de-prova da junta soldada e submetidos aos ensaios: metalográfico, dureza e tração, especificamente para a determinação da tensão Limite de Escoamento, foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos retirados no sentido longitudinal da solda, ensaiados na temperatura de 325°C.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise Química

Todos os materiais componentes da junta foram analisados por espectrometria da absorção atômica, os resultados encontrados estão mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Composição Química das amostras

Elemento	Chapa ASTM A 508 C3	Aço Inoxidável AISI 316	Vareta Liga 82	Eletrodo Liga 182 (metal depositado)
Carbono	0,2135	0,0234	0,0400	0,0470
Manganês	1,3369	1,4581	2,8100	5,8100
Silício	0,2274	0,4757	0,0900	0,5720
Fósforo	0,0059	0,0216	0,0030	0,0150
Enxofre	0,0034	0,0030	0,0010	0,0060
Cromo	0,0892	16,7322	19,6000	14,9300
Níquel	0,6823	9,8349	73,1000	71,8200
Molibdênio	0,5054	2,0975	--	--
Titânio	0,0014	0,0291	0,3500	0,1830
Vanádio	0,0056	0,1088	--	--
Nióbio	0,0022	0,0199	2,4400	1,8900

### 3.2 Ensaio de Tração

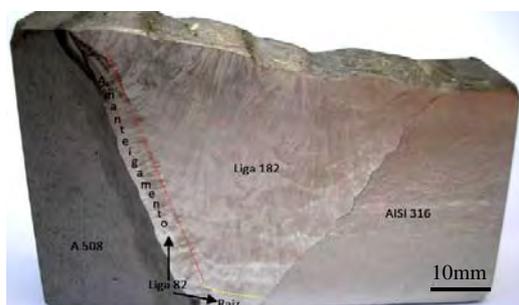
Os resultados do ensaio de tração, realizado à temperatura de 325°C, em 4 corpos-de-prova retirados da região central da junta soldada estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Resultados do ensaio de tração a quente

Identificação	Temperatura	L <sub>E</sub> (MPa)	L <sub>R</sub> (MPa)	A (%)
04	325°C	327,5	569,3	51
13		374,3	608,3	44
26		389,9	592,7	51
31		343,1	592,7	47
<b>Média</b>		<b>358,7</b>	<b>590,8</b>	<b>48,3</b>
Desvio Padrão		24,7	13,9	2,9

### 3.3 Macrografia

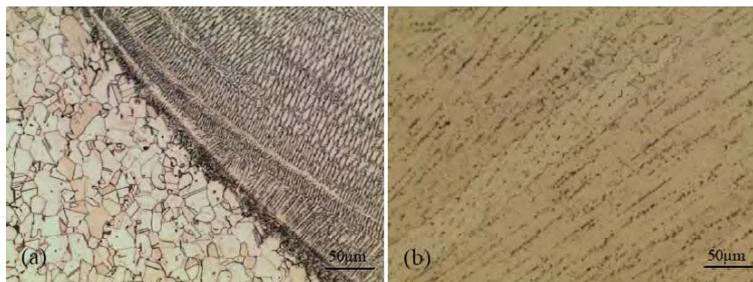
A análise macrográfica revelou uma textura característica de uma união soldada, evidenciando a orientação da textura de solidificação direcionada pelo fluxo térmico normal à direção de soldagem, composto de grãos de austenita conforme pode ser visualizado na Figura 5.



**Figura 5.** Aspecto macroográfico da amostra evidenciando as regiões da solda.

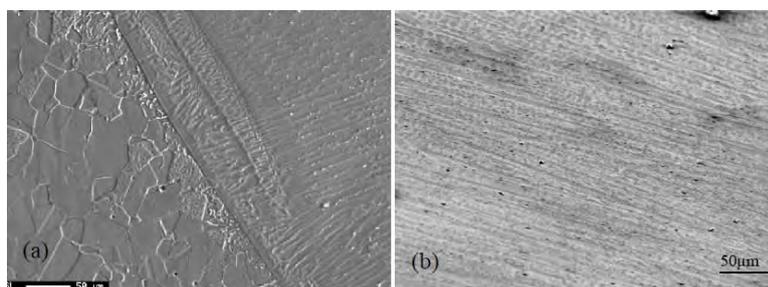
### 3.4 Micrografia

A análise micrográfica foi realizada nos microscópios ótico e eletrônico. A análise foi realizada em seções recortadas transversalmente ao eixo da solda. As amostras submetidas à microscopia ótica tem seu aspecto apresentado na Figura 6.



**Figura 6.** Microestruturas ao MO da região de ligação aço inox/ liga 182 (a) e centro da junta na liga 182 (b). A estrutura da solda consiste de grãos de austenita com precipitados intra e intergranulares.

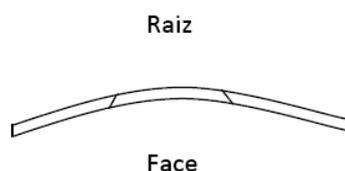
Os resultados da análise através da microscopia eletrônica estão apresentados na Figura 7.



**Figura 7.** Microestruturas ao MEV da região de ligação aço inox/ liga 182 (a) e centro da junta na liga 182 (b). A estrutura da solda consiste de grãos de austenita com precipitados intra e intergranulares.

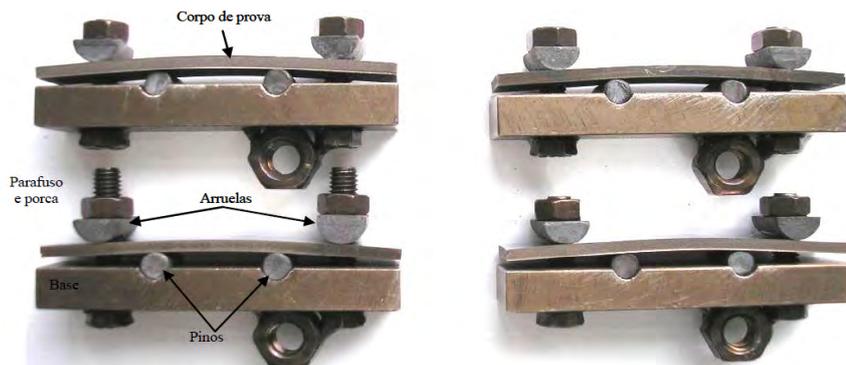
### 3.5 Iniciação de Trincas por CST por Dobramento Apoiado

Para o ensaio de iniciação de trincas por corrosão sob tensão no dobramento quadriapoado os corpos de prova foram produzidos com as seguintes dimensões: 2mm de espessura, 12mm de largura e 60mm de comprimento. Todos os corpos de prova foram lixados e polidos somente nas respectivas faces inferiores, isto é, na face voltada para a raiz da solda. Todas as superfícies flexionadas são aquelas orientadas para a direção da raiz da solda, criando-se assim uma tensão trativa na raiz da solda, condição semelhante das partes sob pressão nos circuitos dos reatores (Figura 8).



**Figura 8.** Esquema de flexão dos corpos de prova.

Depois de polidos foram montados em dispositivos conforme Figura 9, projetados para suportar tanto o esforço aplicado ao corpo de prova quanto à ação corrosiva do meio. No dispositivo de teste os corpos de prova foram fletidos até se atingir a deformação calculada, cuja tensão correspondente ficou abaixo do limite elástico do material, e em seguida foram introduzidos no equipamento de teste.



**Figura 9.** Fotografia da montagem dos cps nos dispositivos que são alocados dentro da autoclave. As bases foram fabricadas na liga 600, os parafusos, as porcas, os pinos e as arruelas foram fabricados em aço inoxidável AISI 316

Para o cálculo da deflexão necessária utilizou-se a fórmula (EQ.5) definida pela norma ASTM G 39 para o sistema quadriapoado. A seguir estão apresentadas as características consideradas para o cálculo da deflexão necessária para se aplicar uma tensão inferior ao limite de escoamento do material.

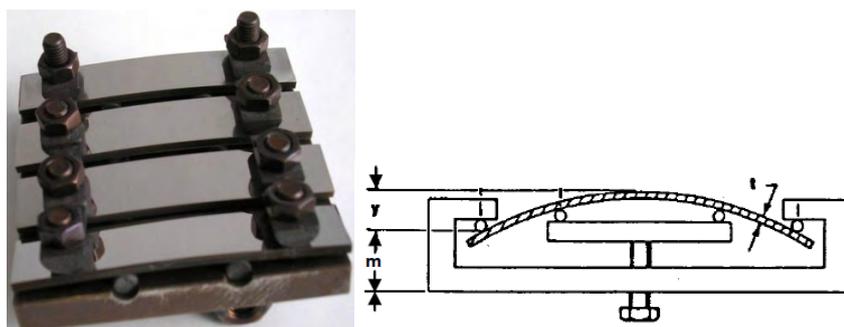
- limite de escoamento:  $\sigma = 250$  MPa;
- módulo de elasticidade:  $E = 20$  GPa;
- espessura (medido):  $t = 2,12$ mm;
- distância entre apoios externos:  $H = 40$ mm; e
- distância entre apoios internos:  $A = 10$ mm.

A retirada dos corpos de prova do equipamento de teste para avaliação do processo de iniciação se deu a cada 1500 horas a partir do início dos testes, os corpos de prova foram inspecionados em microscópios ótico e eletrônico de varredura. Em seguidas as amostras eram montadas de volta no equipamento de teste.

Os valores utilizados para se obter as tensões aplicadas estão mostrados na Tabela 4. As amostras preparadas (Figura 10), foram acondicionadas em um suporte mostrado na Figura 11, em seguida foram acondicionadas na autoclave. O ensaio iniciou-se em 20 de junho de 2009 e foi encerrado em 07 de maio de 2010. O tempo total em que as amostras permaneceram nas condições de teste foi de 5952 horas equivalentes a 248 dias em teste contínuo.

**Tabela 4.** Valores calculados para Y (dimensões em mm)

CP	Espessura	y-calc	m-Montagem	m + y
1LH	2,12	0,2162	12,01	12,2262
2LH	2,12	0,2162	11,94	12,1562
1TH	2,15	0,2132	11,98	12,1932
2TH	2,12	0,2162	12,16	12,3762

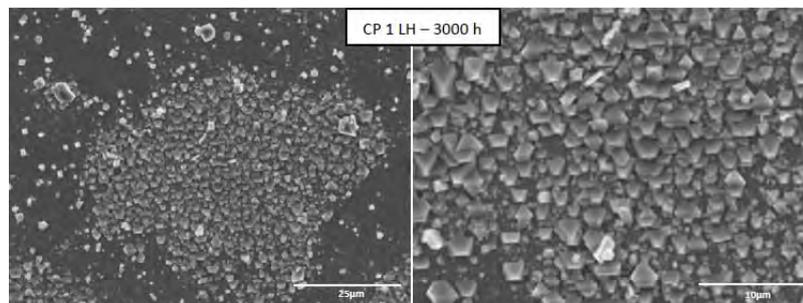


**Figura 10.** Amostras polidas deformadas após montagem e esquema ilustrativo da deformação aplicada.

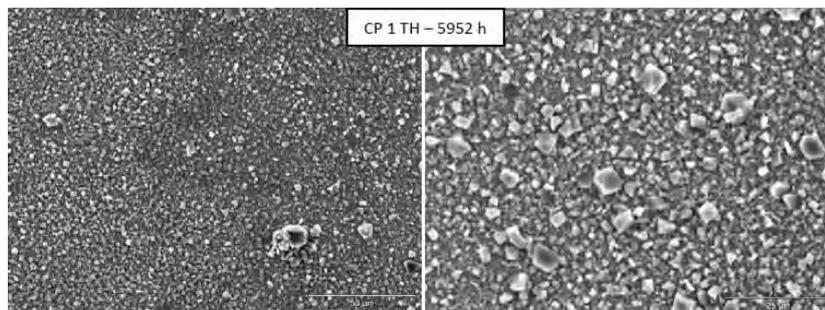


**Figura 11.** Dispositivo de montagem das amostras e sua posição na autoclave

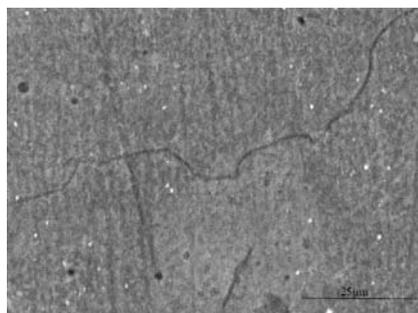
As superfícies das amostras ensaiadas, retiradas a cada 1.500 horas, foram avaliadas ao MO e MEV. O aspecto das mesmas, visualizados na análise pelo MEV, após 3.000 horas e 5.952 horas está apresentado nas Figura 12 e 13, respectivamente. O aspecto da região do contorno de grão amostras ao final do ensaio está apresentado na Figura 14.



**Figura 12.** Fotografias ao MEV do CP 1LH após 3.000 horas, nota-se formação de óxidos de Ni e Fe.



**Figura 13.** Fotografias ao MEV do CP 1TH após 5.952 horas, nota-se a superfície completamente oxidada.



**Figura 14.** Aspecto do contorno de grão da amostra 1LH, visto após 5.952 h, nota-se que não houve formação de trincas nesta região.

Kamaya et al.<sup>(6)</sup> em seu trabalho de iniciação de trincas em liga de aço AISI 304, sensibilizadas, em água a elevada temperatura afirma ser muito difícil evidenciar o comportamento inicial da trinca de corrosão sob tensão.

Na análise detalhada das superfícies ao MO e MEV, inclusive através da análise micrográfica da seção transversal das amostras, não foi evidenciada a presença de trincas ou pites em nenhuma das amostras ensaiadas após as 5952 horas de teste contínuo.

## 5 CONCLUSÕES E RESULTADOS ESPERADOS

Os ensaios e análises realizados evidenciaram que a região de solda apresenta uma variação de propriedades mecânicas e microestruturais, que são características da condição de obtenção da junta. Considera-se que esta condição seja muito semelhante à situação de uma junta dissimilar em operação.

Não foi possível identificar um modelo para a ocorrência da iniciação de trincas, visto que, após terem sido ensaiados por mais de 5.900 horas, na bibliografia consultada não há muita referência ao fenômeno de iniciação e também não há um consenso quanto aos fatores que influenciam no seu aparecimento.

Os aspectos microestruturais presentes tais como, inclusões, precipitações, regiões de contorno não puderam ser correlacionados a iniciação da trinca.

## REFERÊNCIAS

- 1 Miteva, R. and Taylor, N. G.-**“General Review of Dissimilar Metal Welds in Piping Systems of Pressurized Water Reactors”** NESC EUR 22469, 2006.
- 2 Peng, Q. et al, **Intergranular environmentally assisted cracking of Alloy 182 weld metal in simulated normal water chemistry of boiling water reactor**, Fracture and Reliability Research Institute, Tohoku University, Aramaki Aoba 6-6-01, Aoba-ku, Sendai City 980-8579, Japan, Corrosion Science 49 2767–2780, (2007), Elsevier Ltd
- 3 -Anita, T. et all - **Assessment of stress corrosion crack initiation and propagation in AISI type 316 stainless steel by electrochemical noise technique** - Corrosion Science and Technology Division, Indira Gandhi Centre for Atomic Research, Kalpakkam 603 102, Tamil Nadu, India - November 2005 –Elsevier.
- 4 Szklarska-Smialowska, Z. Rebak, R.B. **Stress Corrosion Cracking of Alloy 600 in High Temperature Aqueous Solutions: Influencing factors, Mechanisms and Models**. The Ohio State University- 1995
- 5 ASTM Standard G 39-99, Standard Practice for Preparation and Use of Bent-Beam Stress-Corrosion Test Specimens, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 3.02, 2000.
- 6 Kamaya, Masayuki et al - **Influence of local stress on initiation behavior of stress corrosion cracking for sensitized 304 stainless steel**. - Corrosion Science 49 p 3303–3324 - (2007).