

4 Soldabilidade

A soldabilidade pode ser definida como “a capacidade que um material apresenta de ser soldado sob as condições impostas pelos códigos e normas de fabricação para uma estrutura específica e de forma aceitável e com desempenho satisfatório nos serviços pretendidos”⁽¹⁰⁾.

4.1 Testes de Soldabilidade

Existem vários tipos de testes de soldabilidade para avaliação de trincas a frio. Eles são usados em diversas aplicações, incluindo a seleção do processo de soldagem adequado, a temperatura de pré-aquecimento, o aporte de calor e o desenho da junta soldada. Os testes de soldabilidade são ainda usados para avaliar os efeitos da soldagem nas seguintes propriedades:⁽¹¹⁾

- Trincas no metal de base e no metal de solda;
- Ductilidade do metal de base e do metal de solda;
- Penetração da solda;
- Forma da poça de fusão.

Alguns testes são usados para avaliar a forma de fissuração em uma dada aplicação bem específica e são usados somente em pesquisas laboratoriais. Estes testes tentam reproduzir em pequena escala, as condições existentes na estrutura soldada de interesse. Porém, nenhum consegue repetir exatamente as condições reais de serviço de uma solda, apenas possibilitam uma base para comparações.^(10, 12) Este fato ocorre devido à grande dificuldade em prever e reproduzir as condições reais de restrição, fixação, tensão e temperatura da maioria das estruturas.⁽⁹⁾

No geral os testes de soldabilidade fornecem resultados qualitativos (do tipo “trinca/não trinca”), porém alguns testes fornecem resultados quantitativos, que não

devem ser utilizados para prever trincas em estruturas reais. Os vários testes de soldabilidade podem envolver soldas reais ou simulações. ^(11, 12)

Os inúmeros testes de soldabilidade podem ser classificados de acordo com a tensão envolvida. Eles podem ser auto-restringidos ou com restrição externa.

- **Testes auto-restringidos:** são testes que utilizam uma junta especial capaz de gerar, na solda, tensões transientes e residuais que podem levar à formação de trincas. Nenhuma carga externa é aplicada na solda. Como as tensões se originam da própria montagem, este tipo de teste é chamado de teste auto-restringido. ^(10, 12)

- **Testes com restrição externa:** são testes nos quais as tensões são geradas por um dispositivo externo que aplica uma carga ou deformação controlada ao material de teste, durante ou após a soldagem. Esta carga externa pode ser variada para modificar o estado ou intensidade de tensão e a formação da trinca. ^(10, 12)

Os testes de soldabilidade mais utilizados para avaliar a formação e propagação das trincas induzidas por hidrogênio são: Teste Tekken, Teste Lehigh e o Teste CTS (Controlled Thermal Severity Test), que são testes auto-restringidos e o Teste de Implante, Teste RRC (Rigid Restraint Cracking Test) e o Teste TRC (Tension Restraint Cracking Test), que são testes com restrição externa. ^(9, 10, 13, 14)

Os tipos de testes mais utilizados e suas aplicações estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Tipo de testes de soldabilidade. ⁽¹⁰⁾

Teste	Área de utilização	Variáveis de controle	Tipo de dados	Equipamentos especializados	Custo relativo
Lehigh	Trincas a frio e a quente no metal de solda, trincas de raiz, HIC na ZTA, trincas relacionadas a tensões.	Geometria da junta, metal de solda, processo, nível de restrição, aporte de calor, pré-aquecimento, tratamento térmico pós-soldagem.	Restrição crítica ou % contração.	Nenhum.	Máquina cara.
Slot	HIC na ZTA.	Tempo entre os passos, pré-aquecimento, metal de solda.	Tempo até a fratura, pré-aquecimento crítico.	Nenhum.	Baixo custo.
RRC	Trincas a frio e a quente no metal de solda, trincas de raiz, HIC na ZTA.	Geometria da junta, nível de restrição do processo, metal de solda, aporte de calor, pré-aquecimento.	Restrição crítica.	Equipamento de restrição.	Máquina e set-up caros.
Tekken	Trincas no metal de solda e de raiz, HIC na ZTA.	Geometria da junta, processo, metal de solda, aporte de calor, pré-aquecimento.	Pré-aquecimento crítico.	Nenhum.	Baixo custo.
Circular Groove	Trincas a quente e a frio no metal de solda, HIC na ZTA.	Processo, metal de solda, pré-aquecimento.	Trinca / não trinca.	Nenhum.	Preparação cara.
Implante	HIC na ZTA, trincas de alívio de tensão.	Processo, metal de solda, pré-aquecimento, tratamento térmico pós-soldagem.	Tensão de fratura crítica, pré-aquecimento crítico.	Equipamento para aplicação de carga.	Custo médio.
TRC	HIC na ZTA.	Processo, metal de solda, aporte de calor, pré-aquecimento.	Tensão crítica de fratura, pré-aquecimento crítico.	Equipamento para aplicação de carga.	Máquina e set-up caros.
Varestraint	Trincas a quente na ZTA e no metal de solda.	Processo, metal de solda, aporte de calor.	Tamanho da trinca, % de tensão.	Equipamento para aplicação de carga.	Preparação e análise caras.
BOP Longitudinal	HIC na ZTA.	Corrente, aporte de calor.	% trincamento.	Nenhum.	Baixo custo.
CTS	HIC na ZTA em filetes de solda.	Corrente, taxa de resfriamento, pré-aquecimento.	Trinca / não trinca (com 2 taxas de resfriamento).	Nenhum.	Preparação cara.
Cruciforme	HIC na ZTA, trincas na raiz do metal de solda.	Processo, aporte de calor, pré-aquecimento, metal de solda.	Trinca / não trinca.	Nenhum.	Preparação cara.
Lehigh Cantilever	Decoção lamelar.	Processo, aporte de calor, pré-aquecimento.	Restrição crítica, tensão e deformação.	Equipamento para aplicação de carga.	Preparação da amostra cara.
Cranfield	Decoção lamelar.	Metal de solda.	Número de passes até o trincamento.	Nenhum.	Baixo custo.

Neste trabalho serão utilizados dois testes de soldabilidade para a avaliação de trincas induzidas por hidrogênio, um teste auto-restringido (Teste Tekken) e outro teste com restrição externa (Teste de Implante).

4.2 Testes de soldabilidade auto-restringidos

4.2.1 Teste Tekken

O Teste Tekken, ou Teste Y-Groove, foi desenvolvido no Japão, pelo Instituto Ferroviário de Pesquisas Tecnológicas do Japão (Tetsudo Kenkyusho), e é um dos testes de soldabilidade mais utilizados para avaliação de problemas de fissuração pelo hidrogênio em aços estruturais e de alta resistência tanto no metal de solda quanto na zona termicamente afetada. ^(9, 12, 14) Este teste é relativamente simples de ser realizado e é bastante sensível a trincas a frio, sendo assim muito utilizado. ⁽¹²⁾ Ele é coberto pela norma japonesa JSA JIS Z 3158, de 1993 ⁽¹⁶⁾.

4.2.1.1 Método de teste

O Teste Tekken inclui a deposição de um cordão de solda de um único passe na parte central de duas juntas em formato de Y do aço a ser testado, que é a solda de teste. As peças permanecem unidas pela soldagem das duas partes finais da placa, denominada solda de ancoragem. A forma do chanfro que oferece maior restrição é a em Y. ^(13, 14)

A preparação do chanfro deve ser feita com uma máquina de corte. As soldas de ancoragem devem ser depositadas de ambos os lados, com o cuidado de não causar deformação angular e falta de penetração, enquanto a soldagem de teste deve ser realizada na posição plana e deve ser iniciada quando a temperatura de toda a placa de teste já tiver alcançado a temperatura especificada. O cordão de solda deve ser depositado manualmente conforme a figura 2. ⁽¹⁶⁾

Vale ressaltar que, segundo Adonyi ⁽¹⁷⁾, uma maneira de diminuir o tempo de preparação da chapa de teste é eliminar as soldas de teste. Para isso ele utilizou em

seu procedimento experimental uma única chapa onde o chanfro foi feito na parte central com a ajuda de uma ferramenta angulada. Assim, não houve a separação das chapas, já que elas permaneceram unidas nas extremidades, e o tempo de soldagem foi reduzido em 10%.⁽¹⁷⁾

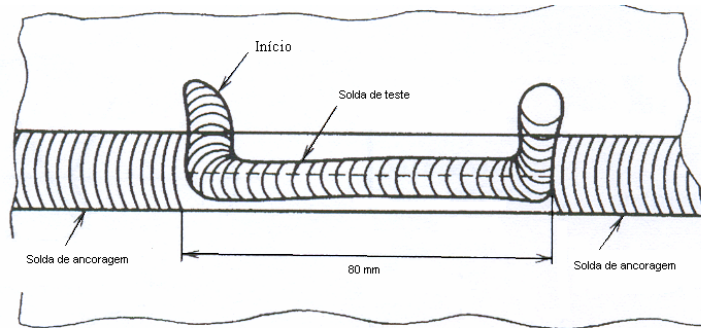


Figura 2: Cordão de solda do teste Tekken.

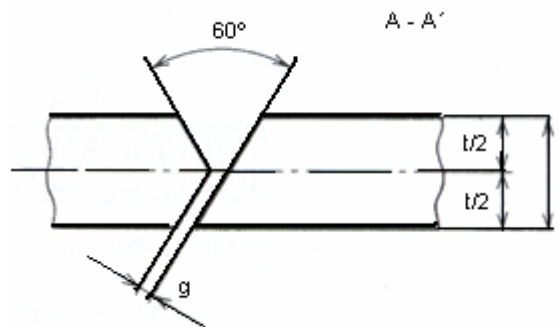


Figura 3: Chanfro em forma de Y.

Segundo Lancaster⁽¹⁴⁾, a intensidade da restrição, R_y , é uma função da espessura, t , da chapa e pode ser calculada aproximadamente pela equação 1:

$$R_y = \begin{cases} 70t \rightarrow t \leq 40 \text{ mm} \\ 2800 \text{ Kg/mm}^2 \rightarrow t > 40 \text{ mm} \end{cases} \quad (1)$$

Assim, segundo Lancaster⁽¹⁴⁾, para espessuras de chapa menores ou iguais a 40 mm, a intensidade de restrição é dada pela multiplicação da espessura da chapa utilizada pelo número 70. Já para chapas de espessuras maiores que 40 mm, a intensidade de restrição pode ser considerada constante e igual a 2800 Kg/mm², já que a espessura da chapa passa a não ter mais tanto efeito sobre a restrição.

Já Kasuya e Yurioka ⁽¹⁸⁾ afirmam que o efeito da intensidade de restrição na suscetibilidade de formação de trincas a frio se torna aproximadamente constante para chapas de espessuras maiores que 50 mm. ⁽¹⁸⁾

No teste Tekken a temperatura de pré-aquecimento e os parâmetros de soldagem podem ser variados para alterar o estado de tensão, sem modificar a geometria da amostra. ⁽¹⁰⁾

Kasuya e Yurioka ⁽¹⁸⁾ comprovaram que a espessura da chapa do Teste Tekken tem grande influência na suscetibilidade de formação de trincas a frio. Diminuindo a espessura da chapa de 25 mm para 10 mm, diminui-se a temperatura de pré-aquecimento necessária para que a chapa fique livre de trincas a frio, já que chapas de espessuras menores apresentam menores intensidades de restrição. Entretanto, para espessuras acima de 50 mm, a temperatura de pré-aquecimento é praticamente constante, já que a intensidade de restrição também se torna constante. ⁽¹⁸⁾

4.2.1.2 Formas e dimensões

Seguindo a norma JSA JIS Z 3158, de 1993 ⁽¹⁶⁾, a forma e as dimensões do chanfro, da chapa de teste e da solda devem ser conforme a seguir:

Tabela 3: Formas e dimensões.

Chanfro	Angulo	60°
	Largura da raiz (mm)	2 ± 0,2
Chapa	Comprimento (mm)	200
	Largura (mm)	150
Solda	Comprimento da solda de ancoragem (mm)	60
	Comprimento da solda de teste (mm)	80

- **Chanfro:**

Ângulo: 60°

Largura da raiz (g): pode variar de 1,0 mm à 2,0 mm ± 0,2mm

A raiz deve começar na metade da espessura da chapa, conforme a figura 3.

- **Chapa:**

Comprimento: 200mm

Largura: 150mm

- **Soldas:**

Comprimento das soldas de ancoragem: 60mm

Comprimento da solda de teste: 80mm

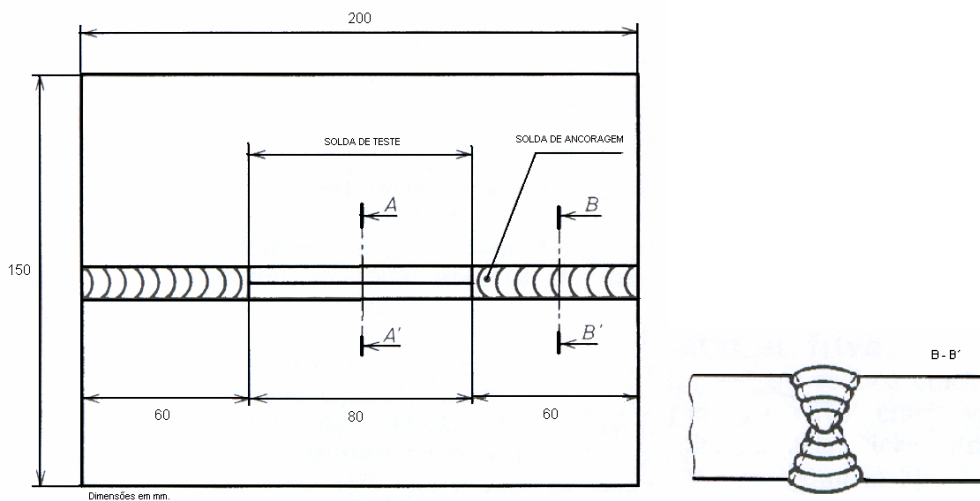


Figura 4: Teste Tekken – dimensões.

4.2.1.3

Medição das trincas

Quatro amostras metalográficas são retiradas da seção transversal da solda de teste e a presença ou não de trincas é observada. As quatro seções devem ser retiradas transversalmente ao chanfro em Y e devem ser $\frac{1}{4}$ do tamanho do cordão de solda, conforme a figura 5. Assim, é possível analisar as amostras por MO e por MEV. ^(12, 16)

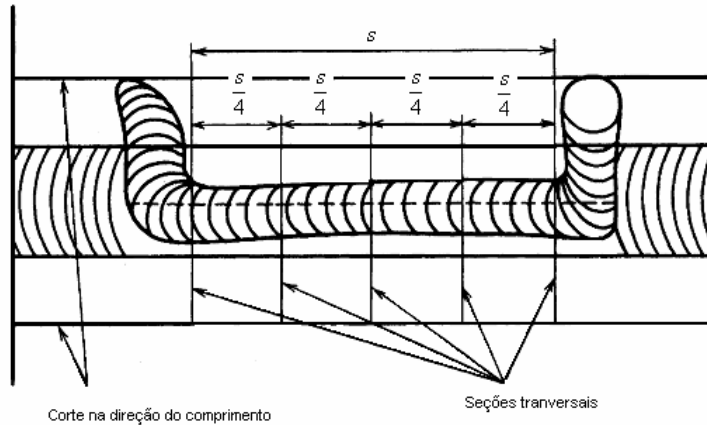


Figura 5: Seções transversais.

4.2.2 Teste Lehigh

O teste de soldabilidade Lehigh foi desenvolvido pela Universidade de Lehigh, nos Estados Unidos, em 1946 e avalia tanto trincas a quente quanto trincas a frio no metal de solda, trincas de raiz e trincas induzidas por hidrogênio na zona termicamente afetada. ^(10, 32) Este teste utiliza uma chapa com um entalhe central em forma de U duplo, que impõe uma restrição severa. Ranhuras laterais são feitas ao longo das bordas da amostra, sendo que a profundidade das ranhuras determinará a restrição do teste. Um cordão de solda de um único passe é depositado na raiz do entalhe central em U, e a profundidade da fenda necessária para evitar trincamento é determinada. ⁽¹⁴⁾

Testando uma série de chapas, nas quais as profundidades das ranhuras laterais são variadas, pode-se determinar uma restrição crítica para trincamento referente às condições de soldagem escolhidas, assim como a profundidade que é suficiente para causar trincas. As trincas podem ser avaliadas metalograficamente. Este teste também pode ser usado para avaliar trincas de reaquecimento em aços. ^(10, 19)

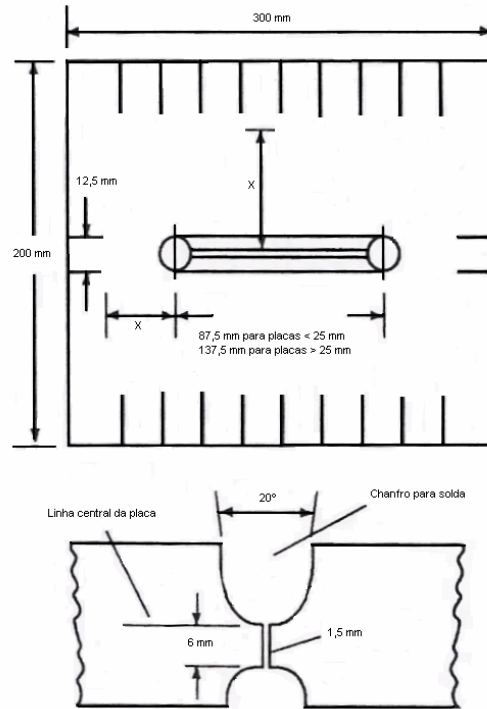


Figura 6: Teste Lehigh.

4.2.3 Teste CTS (Controlled Thermal Severity Test)

O Teste CTS foi desenvolvido na Inglaterra e é utilizado para analisar trincas induzidas por hidrogênio na zona termicamente afetada. São usadas duas chapas, uma quadrada e uma retangular, fortemente aparafusadas uma contra a outra e depois unidas por duas soldas de fixação. Após as soldas de fixação terem resfriado até a temperatura ambiente, duas soldas de teste são depositadas na amostra. Primeiro deposita-se a solda da direita conforme figura 7, que é chamada de solda bi-termal. Após o resfriamento desta solda, deposita-se a solda da esquerda, que é denominada tri-termal. A amostra é deixada por 72 horas à temperatura ambiente, e então a amostra é seccionada e o grau de trincamento é determinado pela medição do tamanho da trinca. A severidade da restrição pode ser variada pela modificação da espessura das placas, pelo nível de hidrogênio nas soldas de teste e pela composição do metal de solda. (10, 12, 13, 14, 19)

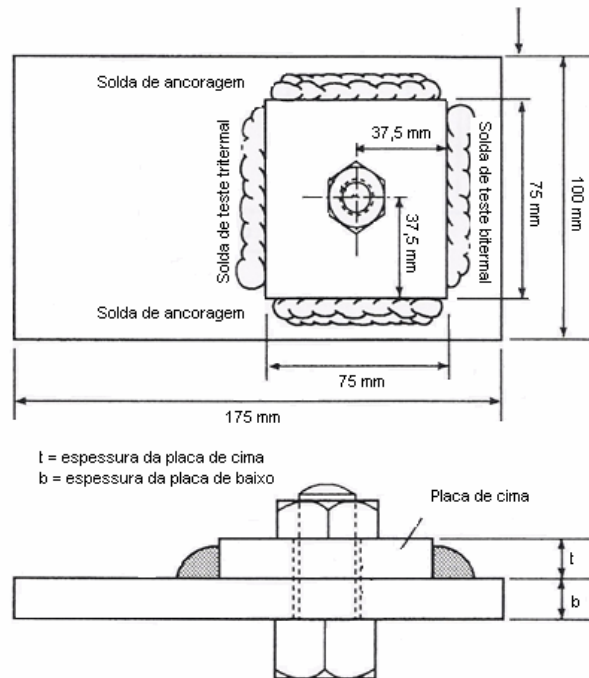


Figura 7: Teste CTS.

4.3 Testes de soldabilidade com restrição controlada

4.3.1 Teste de Implante

O Teste de Implante foi desenvolvido pelo Institut de Soudure, na França e é um teste muito utilizado para avaliação de trincas induzidas por hidrogênio e avaliação de processos de soldagem. ^(13, 20) Este teste é coberto por uma norma francesa, AFNOR NF A89-100, de 1991 ⁽²¹⁾, e uma recomendação do IIW (International Institute of Welding), IIS/IIW-447-73 ⁽²⁰⁾.

4.3.1.1 Método de teste

No Teste de Implante o corpo de prova utilizado deve ser de formato cilíndrico com 6 ou 8 mm de diâmetro, e é chamado de implante. No implante, que é feito do aço que se deseja analisar, é feito um entalhe que pode ser circular ou

helicoidal em forma de V, a uma distância determinada de sua extremidade e seu comprimento deve ser maior que a espessura da chapa suporte. Ele é inserido dentro de um orifício perfurado em uma chapa auxiliar de aço de mesmo grau ou de grau semelhante ao do implante, de forma que o entalhe fique nivelado com a superfície da chapa. É importante ressaltar que os implantes e a chapa auxiliar devem apresentar condutividade térmica bastante próximas. ⁽²⁰⁾

Após a montagem do implante dentro da chapa, um passe de solda de 100 a 150 mm de comprimento é depositado sobre a chapa e a amostra sob condições cuidadosamente controladas, usando o processo de soldagem e o consumível desejado. A penetração da solda deve ser tal que o entalhe fique situado dentro da região de grãos grosseiros da ZTA, conforme a figura 8. ^(20, 21)

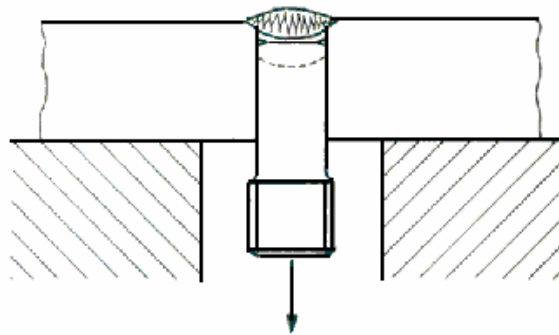


Figura 8: Implante.

Depois da soldagem e antes do resfriamento completo da solda, uma carga trativa constante é aplicada ao implante por no mínimo 16 horas, impondo ao mesmo uma deformação. No caso de ocorrência de fratura, o tempo até a fratura do implante é determinado. Depois de um tempo pré-determinado de aplicação de carga, no caso de não ter ocorrido a fratura do implante, a montagem chapa/implante é descarregada e qualquer trinca que estiver presente no nível do entalhe na ZTA é investigada. ^(13, 20, 21)

Entretanto, Bouverot ⁽²³⁾ considera que a carga deve ser mantida por no mínimo 70 horas, se o implante não fraturar antes desse tempo, enquanto Piza ⁽²²⁾ considera que se o implante não romper em até 2 horas de aplicação da carga ele não romperá mais. ^(22, 23)

4.3.1.2 Formas, dimensões e especificações

De acordo com a norma AFNOR NF A89-100, de 1991 ⁽²¹⁾, e com a recomendação do IIW, IIS/IIW-447-73 ⁽²⁰⁾, as formas, dimensões e especificações do implante e da chapa suporte devem ser conforme a seguir:

- **Implante:** ⁽²⁰⁾

Direção de remoção do implante: paralela a direção de laminação.

Posição de remoção na espessura da chapa: metade da espessura, se esta for $\leq 25\text{mm}$ ou $\frac{1}{4}$ da espessura se esta for, $> 25\text{mm}$.

Espessura mínima da chapa da qual o implante pode ser retirado: 10mm .

Diâmetro do implante: 6 ou 8mm .

Comprimento do implante: $> 20\text{mm}$.

Número mínimo de implantes a serem testados para uma dada condição experimental: 3.

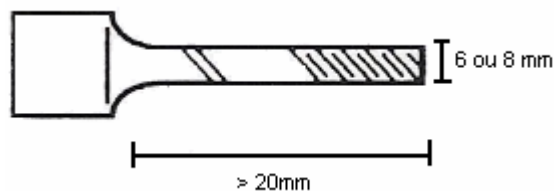


Figura 9: Dimensões do implante.

- **Entalhe:** ⁽²⁰⁾

Forma: V.

Profundidade: $0,5\text{mm} \pm 0,05\text{mm}$.

Ângulo do entalhe: 40° ou 45° .

Raio da ponta do entalhe: $0,1\text{mm} \pm 0,01\text{mm}$.

Segundo a norma AFNOR NF A89-100 ⁽²¹⁾ o entalhe pode ser de duas formas: circular ou helicoidal.

a) *Entalhe circular:*

A distância entre o entalhe e a extremidade do implante é escolhida de forma que a penetração venha a tangenciar o plano de fundo do entalhe ou, no máximo, penetre neste plano menos que 20% do fundo do entalhe, conforme figura 10. A relação de penetração está indicada abaixo (equação 2): ⁽²¹⁾

$$\frac{L_1 + L_2}{7\pi} \times 100 \leq 20 \quad (2)$$

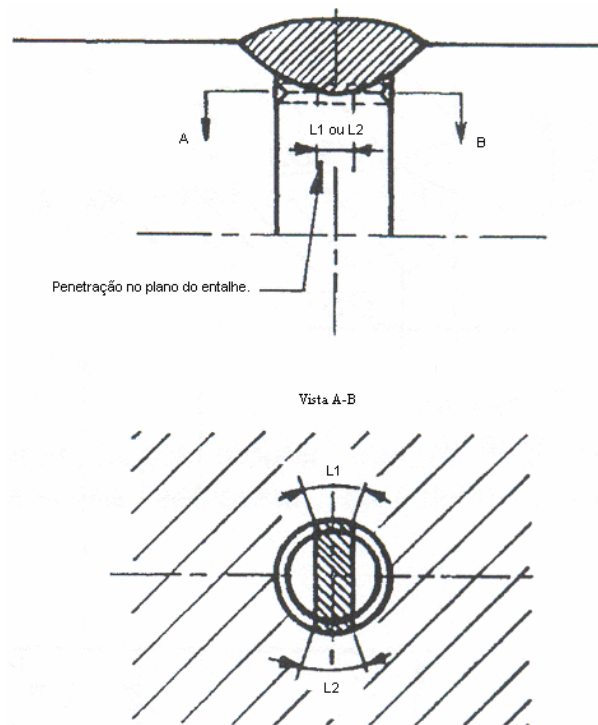


Figura 10: Entalhe circular.

b) *Entalhe helicoidal:*

A altura da parte entalhada deve ser tal que a zona de grãos grosseiros esteja incluída dentro desta parte. ⁽²¹⁾ Para o caso de entalhe helicoidal, a distância entre os entalhes, ou seja, o passe, deve ser de 1 mm.

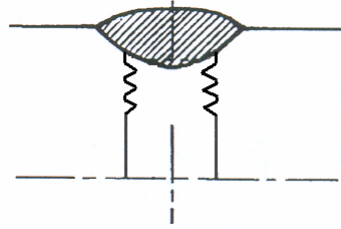


Figura 11: Entalhe helicoidal.

Devido as dificuldades encontradas em posicionar o entalhe circular na ZTA, o entalhe helicoidal proposto na norma NF A89-100 ⁽²¹⁾ se torna mais fácil de ser utilizado, pois este tipo de entalhe garante que haverá uma zona sensível na ZTA. Segundo Piza ⁽²²⁾, os resultados obtidos com os dois tipos de entalhes são bastante próximos, se o passe do entalhe helicoidal estiver entre 0,8 e 1,0 mm. Porém, para um passo de 2 mm a rigidez do ensaio se torna menor. ^(22, 23)

- **Chapa de suporte:** ⁽²⁰⁾

Composição: similar a do implante ou aço C-Mn comum.

Número de arranjos de implantes por chapa: 4.

Comprimento: 300mm ·

Largura: 200mm ·

Espessura: no mínimo 20mm.

Usinagem dos furos da chapa: entre 0,05 mm e 0,15 mm.

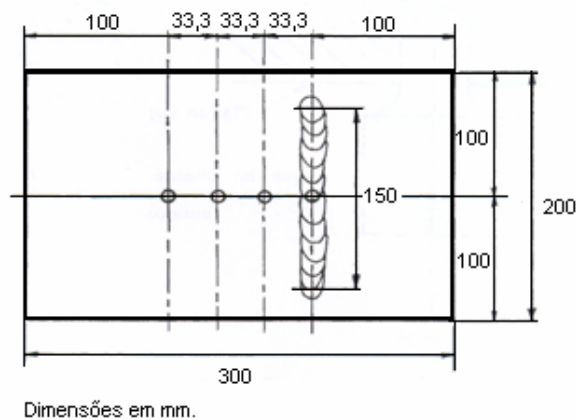


Figura 12: chapa suporte.

- **Aplicação da carga:** ⁽²⁰⁾

Temperatura de início da aplicação da carga: entre 100 e 150°C.

Tempo de aplicação da carga: no mínimo 16 horas.

Tensão recomendada: são recomendados 2 níveis de tensão: tensão de escoamento e ½ da tensão de escoamento do aço a ser testado.

4.3.1.3 Resultados

O critério de avaliação de trincas recomendado é o trinca/não trinca. Se duas amostras de três derem o mesmo resultado, o resultado aceitável será aquele dado pelas duas amostras. ⁽²⁰⁾

4.3.2 Teste RRC (Rigid Restraint Cracking Test)

O Teste RRC foi desenvolvido na Universidade de Osaka, no Japão, e é utilizado na análise de trincas a frio ou a quente no metal de solda, trincas de raiz e trincas induzidas por hidrogênio na zona termicamente afetada. ^(9, 10)

Este teste foi originado a partir do Teste Tekken, apresentando características semelhantes ao mesmo. No caso do Teste RRC, as chapas utilizadas são fortemente fixadas em uma armação, e neste caso a solda é depositada cruzando as chapas. Este teste permite que a restrição seja variada independentemente da espessura da chapa. Neste caso a intensidade da restrição para trincas é determinada como uma função do carbono equivalente para uma dada quantidade de hidrogênio e taxa de resfriamento. ⁽¹⁴⁾

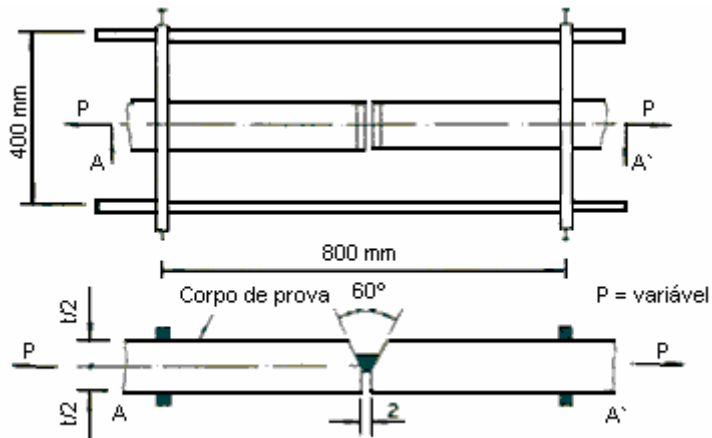


Figura 13: Teste RRC.

4.3.3 Teste TRC (Tension Restraint Cracking Test)

O Teste TRC foi desenvolvido no Japão pelo Instituto de Pesquisas em Metais, e é utilizado para análise de trincas induzidas por hidrogênio na ZTA. Este teste utiliza um equipamento para aplicação de carga externa de custo elevado. ^(9, 10)

Este teste utiliza duas chapas que são unidas por uma solda de teste e depois são tracionadas, por um período de tempo suficiente para que trincas induzidas por hidrogênio sejam formadas. As trincas se formam após um período de incubação que diminui com o aumento do nível de tensão aplicado nas chapas. Quanto maior for a temperatura de preaquecimento das chapas e menor o teor de hidrogênio difusível na solda, maior será o nível de tensão para que as trincas se formem. A figura 14 mostra um esquema deste teste.

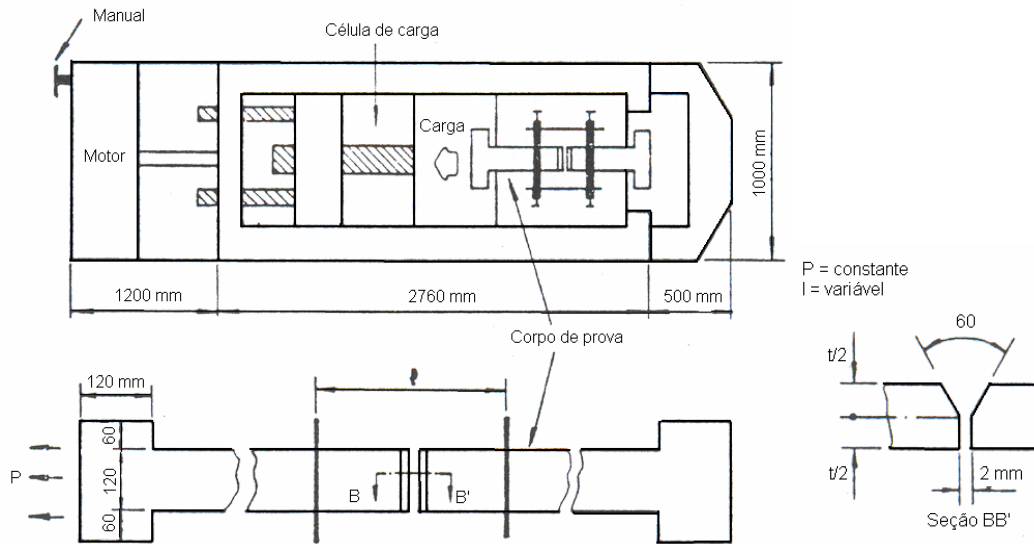


Figura 14: Teste TRC.

4.4 Comparação entre alguns testes de soldabilidade

Hillenbrand e Pozzoli ⁽²⁴⁾ afirmam que análises de soldabilidade em aços de alta resistência utilizando os testes Tekken e Implante levam a resultados mais conservativos para o teste de Implante do que o Tekken. Além disso, o implante não representa uma junta soldada real, já que o estado de tensões em uma solda circunferencial se deve principalmente a tensões residuais, enquanto em um corpo de prova de implante, as tensões são causadas por uma carga externa. ⁽²⁴⁾

Por outro lado, Bouverot ⁽²³⁾ considera o fato de o teste de Implante exigir a aplicação de uma carga externa como uma vantagem, já que permite a aplicação de uma tensão pré-determinada, o que garante uma melhor avaliação. ⁽²³⁾

Assim, o teste Tekken pode ser mais adequado para o caso de soldagem circunferencial em aços de alta resistência. ⁽²⁴⁾

Hudson ⁽¹⁵⁾ também concorda que o teste Tekken é bastante apropriado para análises de soldabilidade de soldas circunferenciais, devido a sua geometria similar as juntas típicas para soldagem por eletrodo revestido (ângulo de 60°). ⁽¹⁵⁾

Já comparando os testes Tekken e Lehigh, o teste Tekken apresenta uma restrição maior, já que possui junta em formato de Y, enquanto o Lehigh apresenta junta em U, que proporciona uma restrição menor. ⁽¹¹⁾

Segundo Hart e Watkinson ⁽²⁵⁾, o teste de Implante é mais sensível que o teste CTS. Isto ocorre principalmente porque no teste de Implante é possível ter um controle direto sobre o nível de tensão aplicado na ZTA. Assim, este teste é mais adequado para se determinar a importância de variáveis tais como espessura da chapa, nível de hidrogênio na solda, aporte de calor e quantidade de carbono na suscetibilidade de trincamento. O teste de Implante fornece um resultado mais quantitativo que o CTS. ⁽²⁵⁾

Bouverot ⁽²³⁾ considera que uma grande vantagem do teste de Implante é que este permite a análise de soldabilidade mesmo em condições onde a quantidade de material disponível para os ensaios é pequena. Isto é possível já que este não exige que a chapa suporte seja do mesmo aço a ser testado, contanto que as condutividades térmicas de ambos sejam bastante próximas. Assim, somente uma quantidade pequena de material é necessária para a fabricação dos corpos de prova de implante. ⁽²³⁾

De acordo com Piza ⁽²²⁾, o teste Tekken pode ser considerado mais severo que o CTS, mesmo quando condições mais severas são usadas no teste CTS, tal como maior espessura da chapa e maior CE. ⁽²²⁾

Por fim, de acordo com a literatura o teste Tekken é severo e apropriado para avaliar juntas soldadas circunferenciais, e o teste de Implante permite obter informações sobre o nível de tensão aplicado na ZTA associado às características do material.

Assim sendo, serão estudados neste trabalho estes dois testes Tekken e Implante.

Tabela 4: Comparação entre os testes de soldabilidade.

	<i>Teste Tekken</i>	<i>Teste de Implante</i>
Hillenbrand e Pozolli	Menos conservativo e representa uma junta soldada real (sem aplicação de carga). É mais adequado para soldagens circunferenciais.	Mais conservativo e não representa uma junta soldada real (aplicação de carga).
Hudson	Mais adequado para soldagens circunferenciais, devido a geometria similar a das juntas típicas para soldagens por eletrodo revestido.	Menos adequado para soldagens circunferenciais.
Bouverot	A tensão aplicada não pode ser determinada com exatidão. Exige maior quantidade de material.	Aplicação da carga externa permite aplicação de uma tensão pré-determinada. Permite análise com poucas quantidades de material.