

ESTUDO DOS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA SENSIBILIDADE AO TRINCAMENTO À FRIO EM JUNTAS SOLDADAS

Hebert Roberto da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus Santa Mônica, Bloco 1M
CEP.: 38400-902, Uberlândia – MG.
hrsilva@mecanica.ufu.br

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia
valtairf@mecanica.ufu.br

Resumo: *A evolução dos processos de soldagem, registrada nos últimos anos em todo mundo, tem ocorrido devido a este processo de fabricação estar relacionado com a maioria das aplicações industriais, seja na construção como na recuperação de componentes. A tecnologia da soldagem tende a acompanhar a crescente modernização industrial e as novas exigências de mercado que impõem requisitos de qualidade e produtividade a custos cada vez menores. Para isso procedimentos utilizados para avaliar a susceptibilidade a trincas em estruturas metálicas vêm sendo constantemente aperfeiçoados. Com isso, o aprimoramento científico e tecnológico nestes seguimentos tornou-se não só uma necessidade, mas uma questão de sobrevivência. As trincas induzidas pelo hidrogênio são um dos mais graves e persistentes defeitos encontrados na soldagem dos aços, conforme demonstrado pela avaliação de custos e da perda de tempo e reparos de peças e estruturas soldadas, quando comparadas com outros defeitos originados pela utilização deste processo. A principal origem de hidrogênio é a umidade contida no revestimento dos eletrodos, a qual, juntamente com tensões e microestrutura suscetível, pode provocar trincas. Durante a soldagem, a Zona Termicamente Afetada do metal base é submetida a ciclos térmicos, com mudança em sua microestrutura e propriedades mecânicas. Além da composição química, a taxa de resfriamento nas faixas de temperatura de transformação da austenita em martensita, bainita, ferrita e perlita, ou em misturas destes microconstituintes estruturais tem grande influência na dureza alcançada para uma estrutura particular. Neste sentido o objetivo principal deste trabalho é avaliar com auxílio de métodos experimentais a possibilidade de detecção de Trincas de Hidrogênio.*

Palavras-chave: Soldagem, Trinca à Frio, Trinca de Hidrogênio, Ensaio Tekken, Ensaio G-BOP.

1. INTRODUÇÃO

Em determinados setores industriais, a exemplo da extração de petróleo e automobilístico, a utilização de processos de soldagem torna-se inevitável e vários estudos tem sido realizados para avaliar a influência da adição de elementos de liga na composição microestrutural dos metais de solda com Alta Resistência e Baixa Liga. Sabe-se que pela adição destes elementos de liga a temperabilidade do metal de solda aumenta sensivelmente e diversas composições microestruturais podem ser obtidas (Monteiro, 2004).

A soldabilidade desses aços pode se tornar bastante difícil ou comprometida se não forem evitadas as trincas a frio induzidas pelo hidrogênio. Esse é sem dúvida, o grande problema na soldagem desses aços e tem sido um tema muito estudado nos últimos anos. Sempre que se determinam as condições para se evitar essas trincas, a indústria siderúrgica produz novos aços com ainda maiores limites de resistência e novamente todo um novo estudo se faz necessário. O surgimento desse defeito está condicionado, entre outros fatores, à microestrutura resultante na junta soldada após o resfriamento (Monteiro, 2004).

Os novos desenvolvimentos de aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), com altos requisitos de resistência, nem sempre têm sido acompanhados totalmente pelo desenvolvimento dos metais de adição, como expressado por Widgery (2002, p. 7). Essa situação faz com que, na soldagem desses aços, o uso de metais de adição com propriedades mecânicas diferentes do metal de base seja considerado, sempre procurando cumprir as normas ou códigos de construção específicos para cada projeto (Miller, Hiepas & Depue, 2002).

No que se refere ao processo de soldagem, a temperatura de pré-aquecimento e a energia de soldagem são os fatores que determinam as propriedades da junta através dos ciclos térmicos e das taxas de resfriamento resultantes. A necessidade ou não da temperatura de pré-aquecimento para soldagem dos novos aços de baixo carbono é bastante controversa (Ordões, 2004). Segundo Zhao & Yurioka (2002), a temperatura de pré-aquecimento necessária para soldagem dos aços ARBL pode ser determinada por vários métodos. Porém, esses métodos estão baseados em diferentes modelos de cálculo do carbono equivalente (CE), gerando divergências sobre a forma mais adequada e a necessidade de pré-aquecer o material.

Normalmente os Arcos de Soldagem são responsáveis pela presença de gás hidrogênio na atmosfera do arco dentro do metal de solda solidificado, do qual o hidrogênio difusível pode propagar em várias regiões da solda em resfriamento. Dependendo da microestrutura do metal, da concentração de hidrogênio difusível da solda e do nível de tensão residual, o risco de trinca a frio induzida pelo hidrogênio em aços ferríticos origina-se quando o resfriamento da solda atinge a região de temperatura entre 150 e 100 °C. Geralmente, a Trinca de Hidrogênio ocorre tardiamente, podendo aparecer fissuras vários dias após o término da soldagem. Usualmente, trincas de hidrogênio são situadas nas proximidades da zona afetada pelo calor do aço ou no cordão de solda. Uma das mais efetivas prevenções contra Trinca de Hidrogênio na solda é usar pré-aquecimento, para aquecer suficientemente um vasto volume da região do componente a ser soldada antes da execução ou, em caso de soldagem multipasse, aplicar elevadas temperaturas de interpasse durante a operação (Nevasmaa, 2003).

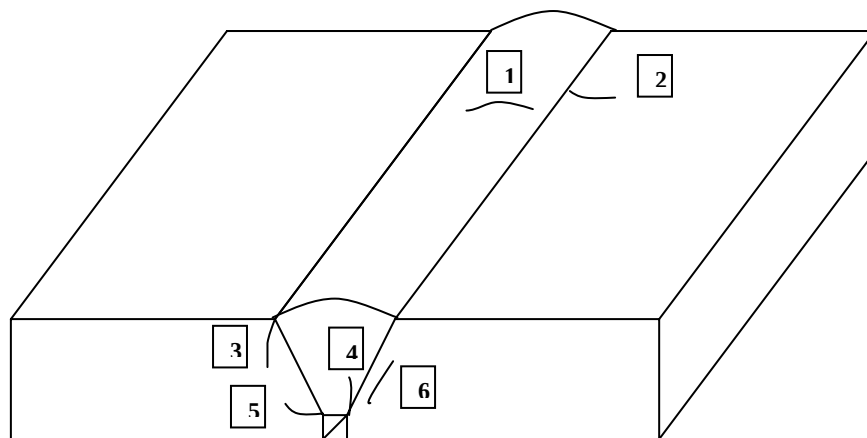
Desenvolvimentos recentes no sentido de processamento avançado dos aços proporcionaram melhorias consideráveis na qualidade do metal de base reduzindo carbono e impurezas, consequentemente aumento da resistência da Zona Termicamente Afetada (ZTA) para Trinca de Hidrogênio. Pelo ponto de vista de usuário final, estas melhorias expandiram a aplicação para limites suficientes de materiais soldados, desafiando as manufaturas de consumíveis a acompanhar o ritmo do desenvolvimento dos produtos de aço. Atualmente, os benefícios industriais trazidos pelo avanço dos aços são equivalentes ao aumento de problemas de Trinca de Hidrogênio no metal de solda. Consequentemente, com aumento da resistência de parte de peças e metal de solda, pode ser requerido pré-aquecimento determinado pela sensibilidade ao trincamento do metal soldado nas proximidades da Zona Termicamente Afetada (ZTA) dos aços (Nevasmaa, 2003).

O principal objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão geral sobre algumas técnicas usuais para determinar a susceptibilidade à Trinca de Hidrogênio voltado para aplicações envolvendo Aços de Alta Resistência e Baixa Liga.

2. TRINCAS DE HIDROGÊNIO

Trincas de Hidrogênio são atribuídos a três fatores principais: microestrutura, presença de hidrogênio e tensões. Os fatores principais responsáveis pela ocorrência da trinca a frio induzida pelo hidrogênio em juntas soldadas de aços estruturais ferríticos são: (i) sensibilidade à trinca, contendo microestrutura martensítica endurecida e ou produtos da transformação bainítica, (ii) concentração no local da solda suficientemente elevada em termos de conteúdo de hidrogênio difundido e (iii) elevada tensão causada pela restrição estrutural que é determinada pela rigidez, espessura da peça e tamanho da gota de solda (ou aumento de espessura da solda). A sensibilidade à trinca de hidrogênio nas soldagens é uma combinação destes três fatores (Nevasmaa, 2003).

As Trincas de Hidrogênio podem ocorrer tanto no metal de solda como na zona afetada pelo calor apresentando-se no microscópio sem ramificações, considerando-se verdadeiras fraturas. As trincas ocorrem no metal de solda sem qualquer orientação conforme Figura 1. As trincas transversais no metal de solda podem estender-se à zona afetada pelo calor e metal base, sendo que as trincas na zona afetada pelo calor são normalmente longitudinais e freqüentemente, ocorrem junto à raiz ou ao lado da solda. Muitas vezes, completamente subsuperficiais e, em determinadas condições, as trincas longitudinais são muito longas.



- 1) Trinca Situada Transversalmente no Metal de Solda
- 2) Trinca Transversalmente situada na ZAC
- 3) Trinca ao lado do cordão
- 4) Trinca no metal de solda
- 5) Trinca da raiz
- 6) Trinca sob o cordão

Figura 1: Locais de propagação das Trincas de Hidrogênio.

Uma característica típica de trinca de hidrogênio é sua natureza tardia, ou seja, a iniciação da trinca e especialmente sua propagação acontece várias horas, ou às vezes até mesmo dias ou semanas, depois da solda realizada. O risco de trincamento torna-se aparente e elevado para estes grupos de aços quando soldando seções de peças espessas que freqüentemente empregam técnicas de soldas multipasses (Nevasmaa, 2003).

Com relação aos materiais susceptíveis destaca-se os Aços de Alta Resistência de Baixa Liga sendo resultantes da adição de pequenas porcentagens de microligantes e processamentos termomecânicos. Os mais comuns são os aços tipo carbono-manganês de baixa liga com pequenas porcentagens de nióbio ou vanádio para aumentar a resistência através do refinamento de grão e endurecimento por precipitação. Também têm sido desenvolvidos aços com adições de titânio e boro que, juntamente com tratamentos termomecânicos, provocam grãos equiaxiais finos com alta tensão de escoamento e baixo teor de carbono. Tenta-se melhorar a soldabilidade destes aços substituindo esta diminuição do carbono por pequenas porcentagens de elementos de liga formadores de precipitados.

Apesar do fenômeno de trincamento assistido pelo hidrogênio ter sido grandemente estudado por vários pesquisadores, não existe um único modelo teórico para explicar o fenômeno que seja consensual. As principais teorias que tentam explicar o fenômeno são (Fals, 1999):

Teoria da Pressão Planar: baseada no decréscimo da solubilidade do hidrogênio quando a temperatura diminui, convertendo-se em diatômico, em poros e microvazios. A pressão alcança valores tão elevados que aplicando a lei de Sievert's, um aço com 5 ppm de hidrogênio pode alcançar até 16.000 atmosferas de pressão em um vazio, a 20 °C. Porém este modelo entra em conflito com o resultado de diferentes experiências nas quais o hidrogênio é difundido para o exterior do aço, como produto de pouco aquecimento, em condições tais que seria impossível dissociar hidrogênio diatômico em monoatômico.

Teoria da Absorção: propõe que o hidrogênio diminua a energia livre de superfície, de forma que as trincas podem crescer através de pequenas tensões aplicadas. Os limites desta teoria começam a aparecer quando se observam as superfícies de trincas assistidas por hidrogênio, nas quais aparecem deformações plásticas aparentes, impossíveis de terem sido provocadas, pois seria necessária maior energia de deformação.

Teoria de Troiano: o hidrogênio interage com o acúmulo de discordâncias em áreas de tensões triaxiais, diminuindo a força coesiva. É sugerido que esta interação se deve aos elétrons de valência do átomo de hidrogênio que entram na camada “d” dos átomos de ferro, modificando as forças repulsivas as quais determinam o espaçamento interatômico nos metais de transição, causando conseqüentemente as trincas.

Teoria de Trincas Assistidas por Hidrogênio: baseia-se no mecanismo de microplasticidade. Sugere que o hidrogênio na frente da ponta da trinca assiste o processo de deformação microscópica da microestrutura. Foi constatado experimentalmente que dependendo da microestrutura, intensidade de tensão e concentração de hidrogênio na ponta da trinca, podem operar os modos de fratura intergranular, quase-clivagem ou coalescência de microvazios. O modelo proposto unifica várias teorias verificando que as teorias de pressão planar e absorção são desnecessárias.

No desenvolvimento dos modelos analisados anteriormente, os corpos de provas foram carregados com hidrogênio para estudar seu efeito na fratura. No entanto, está comprovado que o hidrogênio introduzido desta forma não tem o mesmo comportamento que em processos reais de soldagem.

3. TESTES PARA AVALIAÇÃO DE TRINCAS DE HIDROGÊNIO

Geralmente, há muito pouca informação sobre o risco de trinca de hidrogênio no metal de solda em soldagem multipasses e para quais condições seguras o cordão pode ser realizado. Assim, procedimentos soldados nos padrões atuais estão bastante limitados em relação à evitar trinca de hidrogênio no metal de solda. A norma AWS D1.1 1988 aconselha aplicar testes onde pode haver risco. BS 5135:1984, por sua vez, propõe duas alternativas: (i) o uso de consumíveis com menos de 2,5 ml/100g de Hidrogênio, ou (ii) aplicação de 200°C de calor na peça durante 2 ou 3 horas. Ainda na abordagem anterior está fora a maioria das capacidades de muitos consumíveis de SAW e FCAW, a aplicação anterior tem implicações indesejáveis também pela elevação dos custos de soldagem. Até mesmo as normas européias mais recentes EN 1011-1:1998[1a] e EN 1011-2:2001 não dá uma orientação certa de como avaliar quantitativamente a necessidade de pré-aquecimento no metal de solda. Estas normas consideram a possibilidade de trinca do metal de solda sob certas condições, porém, não prevêm que o usuário não é único, validando cientificamente a metodologia para cálculo do nível de segurança em pré-aquecimento (Nevasmaa, 2003).

Simplesmente, em pequena escala Ensaio Tekken em junta Y-oblíqua, Teste CTS e Testes de Implante são atualmente usados para determinação de taxas de Hidrogênio em trincas na ZTA de aços estruturais. Os principais experimentos usados para passe simples em metais de solda são Teste Tekken de Junta-Y (simétrico), o Teste TRC (Tensile Restraint Cracking), o Teste G-BOP (Gapped Bead on Plate) e o Teste WIC (Welding Institute of Canadá). Aplicando somente em pequena escala teste em passe único para o metal de solda, não se pode convencer se os resultados são realmente similares para a soldagem estrutural em multipasses. Testando produtos em grande escala existe somente a susceptibilidade à trinca de estruturas particulares abaixo de certas condições de soldagem, mas o resultado não necessariamente tem alguma relevância geral para outros casos. Conseqüentemente existem lacunas significativas a serem preenchidas entre os vários ensaios de trincamento e a criação de um modelo de predição unificado para taxa de hidrogênio e susceptibilidade ao trincamento no metal de solda (Nevasmaa, 2003).

Comumente, fabricantes estão testando casos de trinca de hidrogênio na soldagem de aços com alta restrição, principalmente, no metal de solda. Claramente a fase de conhecimento em trinca de hidrogênio no metal de solda não é tanto como o de trinca na ZTA. Até as poucas fórmulas de cálculo que existem para a taxa de risco em trinca de hidrogênio no metal de solda em multipasses pode variar muito nas previsões, e com diferença na estimativa de temperatura de pré-aquecimento causando algumas confusões. Atualmente, não há consenso sobre os parâmetros principais aos quais deveriam ser incluídos em tais procedimentos de estimativa. Como exemplo, diferentes visões existem sobre a necessidade de considerar a espessura da peça, ou não, e se o calor crescente introduzido de fato resulta em efeitos benéficos ou adversos com relação ao risco de trinca no metal de solda. Se a trinca na peça ocorreu no Metal de Solda ou na Zona Termicamente Afetada depende das substâncias químicas contidas na composição do metal de solda em relação ao aço, como também do nível de tensões em questão. Geralmente, força mais elevada e maior conteúdo de elementos de liga no metal de solda tende a prevenir trincas no metal de solda, em comprometimento de trinca da Zona Termicamente afetada (ZTA) (Nevasmaa, 2003).

3.1 Técnicas de Ensaios de Trinca de Hidrogênio

Os testes desenvolvidos para avaliar a sensibilidade a trincamento a frio de juntas soldadas são classificados geralmente, como direto e indiretos. Dentre os diretos destacam-se pela grande aplicação os testes: CTS (Controlled Thermal Severity), Tekken (Y-Groove Restraint Test), o teste de restrição LEHIGH e o teste G-BOP. Estes permitem uma rápida avaliação da junta total (Metal de Solda e Zona Afetada pelo Calor) pela contagem da quantidade de trincas para cada corpo de prova, mas dependem do nível de restrição imposto e da forma do chanfro e do cordão de solda. Entre os indiretos se destacam os testes de restrição externa: CLR (Constant Load Rupture), TRC (Tensile Restraint Cracking), RRC (Rigid Restraint Cracking) e ASC (Augmented Strain Cracking). Os testes indiretos, de forma geral se caracterizam por serem realizados em corpos de provas entalhados sob carga ou deformação constante. O teste de Implante é um ensaio de restrição externa que combina certas características de ambos métodos. A maioria dos testes de restrição externa foram desenvolvidos para que o trincamento assistido pelo hidrogênio aconteça na zona afetada pelo calor. Em todos os testes indiretos é determinado o nível máximo de tensão que pode ser aplicada sem acontecer o trincamento do corpo de prova, chamada como tensão crítica, a qual caracteriza sua susceptibilidade na região avaliada.

3.2 Ensaio Tekken

O Ensaio Tekken é o ensaio de auto-restrição mais utilizado internacionalmente para a avaliação da susceptibilidade à formação de trincas a frio, tanto no Metal de Solda, como na Zona Afetada Termicamente, sendo definido pela Norma Industrial Japonesa JIS – Z – 3158. As características que proporcionam ampla utilização desse ensaio são a facilidade de elaboração, baixo custo, versatilidade e boa reprodutibilidade. É aplicado no estudo de trincas a frio em aços estruturais e de alta resistência, bem como na relação dos procedimentos de soldagem. Seu sucesso de aplicação é estendido para aplicações específicas, tais como em aços para tubulação de gás ou petróleo ou, ainda para avaliação de estruturas submarinas. Pode-se considerar que a maior limitação deste ensaio é o fato de não avaliar os níveis de tensão imposta à solda. Este ensaio apresenta uma variação na geometria dos corpos de prova que está relacionada com a localização do início e propagação das trincas a frio induzidas pelo hidrogênio, isto é, o ensaio com Y oblíquo apresentado na Figura 2, é aplicado para estudos das trincas a frio na Zona Afetada pelo Calor, avaliando assim o metal de base, enquanto que no Y simétrico é aplicado para avaliar essas trincas no metal de solda (Boellinghaus & Viyanit).

Estudos realizados variando o formato do chanfro, posição de abertura da raiz e temperatura de pré-aquecimento demonstraram a dependência da ocorrência de trincas a frio com esses fatores. Entretanto, constatou-se que, nos ensaios, a trinca iniciava-se na raiz da solda, devido a uma severa deformação plástica imposta pelo efeito de entalhe na raiz e por uma possível concentração de hidrogênio que ocorre na direção de zonas altamente deformadas. A intensidade da restrição tem um efeito indireto no trincamento de raiz. Ao contrário, as tensões devido ao efeito de entalhes na raiz são fatores diretos do trincamento de raiz.

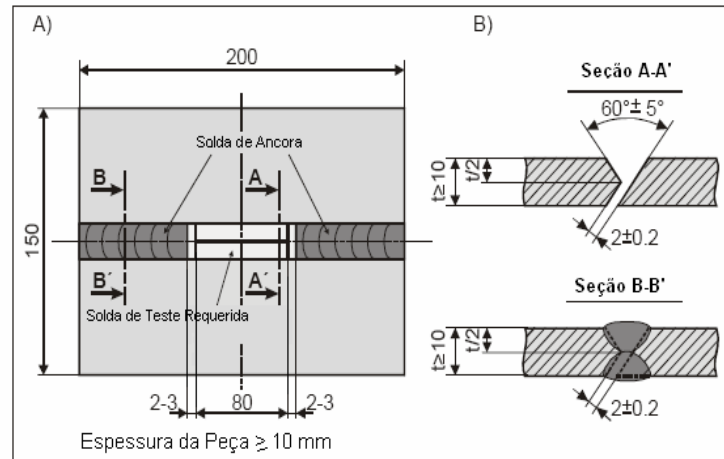


Figura 2: Ilustração Esquemática do Princípio do Ensaio Tekken.
A) Vista da Peça; B) Preparação da Solda de Teste e Solda de Ancora.

O Ensaio Tekken é usado para examinar soldas circulares em passe único (solda de raiz) com o objetivo de determinar a temperatura de pré-aquecimento requerida para estas condições de teste. O teste é aplicado pelos fabricantes de aço para avaliar a sensibilidade à Trinca à Frio de seus aços e pode também ser aplicado por companhias construtoras para avaliar as condições de soldagem requeridas. Para produção de soldas reais, por exemplo, soldas multi passes, ou para manter a temperatura de interpasse, neste caso, os valores obtidos são demasiadamente conservadores. Na solda de teste, em passe único a peça é soldada em uma junta circular em V-simples especialmente preparada (Figura 2), na qual a abertura de raiz é mantida constante pela solda de ancora previamente produzida. A superfície da trinca formada sob estas circunstâncias de soldagem é então determinada.

3.3 Teste CTS

O Teste CTS (Controlled Thermal Severity Test) é usado para examinar soldas de filetes simples. Pela comparação com o Teste Tekken, o Ensaio CTS proporciona temperaturas de pré-aquecimento mais baixas. Duas soldas de teste (Soldas de Filete) são aplicadas em duas placas unidas por soldas de escora (Figura 3). As circunstâncias (índice de hidrogênio no Metal de Solda, Temperatura de pré-aquecimento, calor imposto), sobre a trinca não propagada são estabelecidas (Boellinghaus & Viyanit).

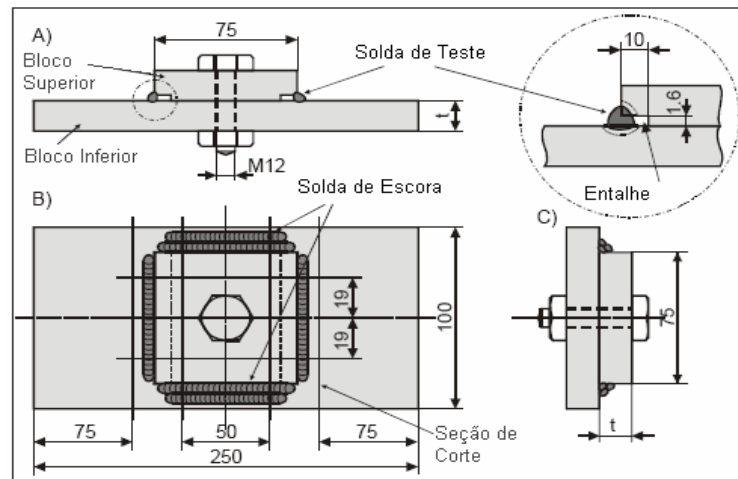


Figura 3: Ilustração esquemática do Teste CTS: A) Vista Frontal, Vista Superior, Vista Lateral.

Neste conjunto, o parafuso não é considerado como restrição sobre as soldas do teste. A amostra está resfriando à temperatura depois da deposição da solda de escora. O ciclo térmico são duplo e triplo nas soldas de teste depositadas na amostra nos dois lados remanescentes um após o outro. A extensão da trinca na Zona Termicamente Afetada é determinada metalograficamente dependendo da taxa de resfriamento do metal base adjacente à solda, e abaixo de uma temperatura de aproximadamente 575 K. O alto e a espessura do metal base é variada para mudar a severidade térmica (taxa de resfriamento). Diversas amostras são preparadas com incrementos progressivos na espessura de ambas as placas. É importante manter um calor imposto fixo no teste proporcional a espessura do metal base indicando corretamente mudanças na taxa resfriamento (Boellinghaus & Viyanit).

3.4 Teste de Implante

O Teste de Implante mostra a evolução da susceptibilidade à Trinca de Hidrogênio do metal de base (Zona Afetada pelo Calor) e investiga a influência de variáveis individuais. O resultado é um valor característico, por exemplo, a Tensão Crítica do Implante para um índice de hidrogênio difusível e uma microestrutura de elevada dureza respectivamente. Uma amostra entalhada cilíndrica do material de teste é introduzida em um furo de uma peça de aço C-Mn a ser soldada (Figura 4). Após resfriar até a temperatura de teste (por exemplo 150°C) uma carga constante é aplicada na amostra. A fratura ou a rachadura inicial da amostra são determinadas (Boellinghaus & Viyanit).

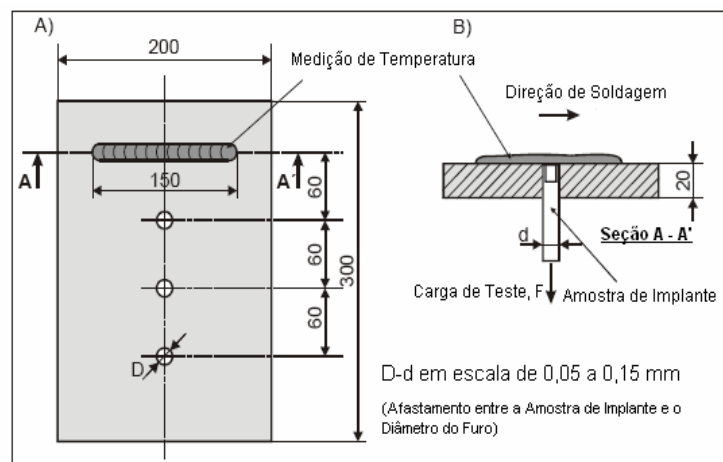


Figura 4: Ilustração Esquemática do princípio do Teste de Implante: A) Vista, B) Seção.

3.5 Ensaio G-BOP

Dentre os vários testes de soldabilidade utilizados para avaliar a susceptibilidade de juntas soldadas quanto ao trincamento induzido pelo hidrogênio, o teste G-BOP (Gapped Bead-on-Plate) apresenta-se com um grande potencial para avaliar trincas a frio no metal de solda. O teste G-BOP consiste de dois blocos, um dos quais tem um entalhe usinado. Em adição ao entalhe, as faces a serem unidas dos dois blocos são, também, usinadas para dar maior sustentação. Os blocos são fixados um ao outro para prevenir que não ocorra a rotação de um deles e um cordão de solda é depositado sobre os blocos na região do entalhe, conforme é mostrado na Figura 5. Após a soldagem, os blocos são mantidos fixos por no mínimo 48 horas. Para avaliar as trincas, a área da solda sobre o entalhe usinado é aquecida por uma fonte de calor até o rubro, sendo em seguida deixada resfriando até a temperatura ambiente, e então o corpo de prova é quebrado e aberto. Quando a secção transversal (região da quebra) do metal de solda apresentar duas superfícies, uma oxidada que corresponde à trinca de hidrogênio e outra resultante da fratura, significa que a trinca estava presente no cordão de solda antes do aquecimento. O aquecimento tem a função de revelar a região previamente trincada (Cooper, 2004).

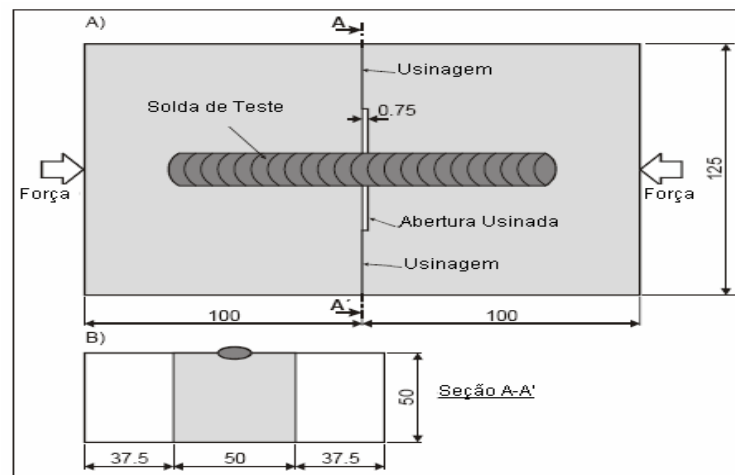


Figura 5: Ilustração Esquemática do Ensaio G-BOP.
A) Vista Superior, B) Vista Lateral.

O teste G-BOP (Gapped Bead-On-Plate) é um teste simples com o objetivo de avaliar a sensibilidade à trinca de hidrogênio no metal da solda. Embora o pré-aquecimento crítico seja determinado no teste, ele não é direcionado a prever diretamente as exigências para estes procedimentos em soldagem. O teste é projetado para promover trincas transversais através do metal da solda. Neste teste um pequeno passe simples de cordão de solda é depositado sobre uma abertura formada quando dois blocos são apertados sendo que um possui uma pequena abertura (Boellinghaus & Viyanit).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A consciência dos problemas potenciais envolvendo a presença de hidrogênio é muito importante mesmo em casos de pouca probabilidade de ocorrência de trincas como, por exemplo, usando um fluxo higroscópico ou o revestimento não utilizado. Entretanto, outras fontes de hidrogênio devem ser consideradas. O gás deve ser suficientemente protegido dentro de baixos índices de umidade. Isto é normalmente bem controlado pelo fornecedor de gás, mas pode ser verificado durante a utilização. Óleos, compostos lubrificantes, compostos combinados no eletrodo ou no metal base pode também tornar-se potencial fonte de hidrogênio no metal de solda. Os fabricantes de eletrodo estão cientes da necessidade de remoção do hidrogênio e adoção de medidas especiais para fornecer um produto limpo. Os contaminantes provavelmente serão facilmente introduzidos durante a manipulação pelo usuário. Aqueles usuários cientes de tais possibilidades podem evitar sérios problemas, particularmente em aços endurecidos.

Para avaliar a susceptibilidade à Trinca de Hidrogênio um grande número de procedimentos de teste estão disponíveis. As amostras usadas podem ser carregadas externamente ou conter hidrogênio em seu interior. Todos os procedimentos de teste de Trinca à Frio mencionados são ideais para finalidades de pesquisa e auxiliam em melhores desenvolvimentos para os aços de diferentes composições. Para fazer isto, soldas de simples passe são avaliadas em relação a sua susceptibilidade mais elevada ao trincamento. Transferir os resultados das investigações de Trinca à Frio às soldas de componentes é frequentemente uma tarefa onerosa por causa de muitas condições limites relevantes a serem consideradas. A avaliação da influência de condições de soldagem em componentes reais e na temperatura de pré-aquecimento requerida somente será realizada com a ajuda de experiências adicionais. A certeza dos resultados de tais experiências, entretanto é limitada.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LAPROSOLDA / UFU pela utilização dos equipamentos e suporte técnico prestado pelos Professores, Técnicos e Colaboradores.

6. REFERÊNCIAS

Boellinghaus, Th., Viyanit, E., Zimmer, P. Cold Cracking Tests – Revision, IIW – Doc. N° II-A-111.03-Revision6.

Cooper, R. E., Silva, J. H. F., Trevisan, R. E., Influencia del Precalentamiento en las Propiedades de Uniones Soldadas de Acero API 5L-X80 Soldadas con Alambre Tubular Autoprottegido. Revista de Metalurgia, Espanha, v. 40, n. 4, p. 76-81, 2004.

Fals, C. H. D., Trevisan, R. E., Proposta de um Ensaio para Avaliação das Trincas Induzidas por Hidrogênio em Juntas Soldadas Assistida por Emissão Acústica, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1999. 203 p. Tese.

“GMAW – Best Practices”, Welding Journal 85, Number 2, pp. 46 - 50, February 2006.

Miller, D. K.; Hietpas, J.; Depue, R. Welding FAQs. Welding Journal, v. 81, n. 12, p. 41, December 2002.

Monteiro L. S., Leal V. S., ‘Estudo de Ciclos Térmicos em Juntas Soldadas de um Aço de Alta Resistência e Baixa Liga Através do Método “In Situ”’, Dissertação de Mestrado, Unicamp, Campinas SP, Fevereiro de 2004.

Nevasmaa, Pekka, Predictive model for the prevention of weld metal hydrogen cracking in high-strength multipass welds Department of Mechanical Engineering, University of Oulu, P.O.Box 4200, FIN-90014 University of Oulu, Finland Oulu, Finland 2003.

Ordóñez, R. E. C., Trevisan, R. E., Soldagem e caracterização das propriedades mecânicas de dutos de aço API 5L-X80 com diferentes arames tubulares, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas SP, Fevereiro de 2004.

Ramirez J. E., Mishael S., Shockley R., "Properties and Sulfide Stress Cracking Resistance of Coarse-Grained Heat-Affected Zones in V-Microalloyed X60 Steel Pipe" Welding Journal 84, Number 7, pp. 113 - 123, July 2005.

Widgery D. J. et al. Approaches to the development of high strength weld metals. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HIGH STRENGTH STEEL. 2002, 10 p. Disponível em: <<http://www.sintef.no/units/matek/press/index.html>>.

ZHAO, M. C.; YANG, K.; SHAN, Y. The effect of thermomechanical control process on microstructure and mechanical properties of a commercial pipeline steel. Materials Science & Engineering, A335, p. 14-20, 2002.

STUDY OF THE METHODS OF DETERMINATION OF SENSITIVITY TO THE COLD CRACKING IN WELDED MEETINGS.

Hebert Roberto da Silva

University of Uberlândia, Avenue João Naves de Ávila, 2160, Campus Santa Mônica, Block 1 M,
CEP.: 38400-902, Uberlândia – MG.
hrsilva@mecanica.ufu.br

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia
valtairf@mecanica.ufu.br

Abstract: *The evolution of the processes of welding, registered in recent years in everybody, has occurred had to this process of manufacture to be related with the majority of the industrial applications, either in the construction as in the recovery of components. The technology of the welding tends to follow the increasing industrial modernization and the new requirements of market that impose requirements of quality and productivity the lesser costs each time. To this used procedures to evaluate the cracking sensibility in metallic structures comes being constantly perfected. With this, the scientific and technological improvement in these pursuings not only became a necessity, but a question of survival. Hydrogen induced cracking is one of the most serious and persistent defects found in the steels welding, as demonstrated by evalytion of costs and loss of time with repairs in welded parts. The main source of hydrogen is moisture in the electrodes coating wich, jointly with stress and a sensitive microstructure, might induce cracking. During welding, the HAZ of base metals is subjected to thermal cycles, which produces a change in both its microstructure and mechanical properties. In addition to chemical composition, rate of cooling through the temperature range within which transformation of austenite occurs to martensite, bainite, ferrite plus pearlite, or mixtures of these microstructural constituents has a marked influence on the hardness achieved for a particular composition. In this direction the main objective of this work is to evaluate with aid of experimental methods the possibility of detention of Hydrogen Induced Cracking.*

Keywords: *Welding, Cold Cracking, Hydrogen Induced Cracking, Tekken Test, G-BOP Test.*