

Terminologia das imperfeições da soldagem

Prof. Dr. Almir Quites

12/01/2011

1. Introdução

Sorria, nada é perfeito. Os filósofos sabem disso, pelo menos, desde Platão⁽¹⁾.

"*Nada é perfeito – suspirou a raposa*", em *O Pequeno Príncipe*⁽²⁾.

A engenharia sempre reconheceu a imperfeição e trabalha com tolerâncias. Tolerância é o termo que define o grau de aceitação diante da imperfeição. Por esse motivo, há Normas Técnicas que tratam das tolerâncias na engenharia, como, por exemplo, a NBR ISO 2768-1.

Entende-se por imperfeição toda e qualquer diferença em relação ao projeto da peça. Os valores prescritos em projeto são os **valores nominais** e aqueles medidos nas peças soldadas são os **valores reais**. A diferença entre estes valores é a medida da imperfeição. As imperfeições são inevitáveis em engenharia, mas podem ser aceitáveis. Elas só serão consideradas **defeitos**, portanto inaceitáveis, se superarem determinados limites, fixados pelo projeto da peça soldada como **critérios de aceitação**.

Este documento define os termos empregados na denominação de imperfeições em materiais soldados.

Devido principalmente às altíssimas temperaturas envolvidas, o processo de soldagem produz imperfeições que podem ser agrupadas em quatro categorias:

1. **Imperfeições dimensionais** (diferenças em relação aos valores nominais):
 - Na solda (também chamadas de deformidades).
 - Na peça (deformações globais, também chamadas de distorções).
2. **Descontinuidades;**
3. **Imperfeições nas propriedades do material.**
4. **Outras**, que não se enquadram nas categorias anteriores, mas que devem ser investigadas por terem potencial para produzir defeitos.

A seguir apresentam-se os termos e as respectivas definições relativas às imperfeições mais comuns decorrentes da soldagem. Portanto, é conveniente enfatizar, a listagem que se segue não é completa.

2. Imperfeições dimensionais.

Qualquer diferença dimensional em relação aos valores nominais é uma imperfeição. Portanto, deve ser avaliada em confronto com os critérios de aceitação estabelecidos em projeto. As imperfeições dimensionais podem se restringir à solda ou afetar a forma da peça.

2.1 Imperfeições dimensionais na solda

As medidas de uma solda, composta de um ou mais passes, podem apresentar diferenças em relação aos valores nominais. As principais grandezas da geometria da solda são a penetração, a largura, o reforço, a perna da solda, a convexidade, a concavidade e a garganta teórica.

2.1.1 Penetração

Profundidade alcançada pela fusão, medida perpendicularmente a superfície do material de base (Fig. 1), na seção reta da solda.

2.1.2 Largura

Distância, medida numa seção reta da solda, entre os pontos extremos alcançados pela fusão, sobre a superfície do material de base. É a distância entre as margens da solda. Estes pontos extremos, numa seção reta, são os pés da solda (Fig. 1).

Quando se tratar de soldas de penetração plena, deve-se considerar também a largura do verso da solda, cuja definição é análoga. Neste caso, a solda tem quatro pés, numa seção reta.

2.1.3 Perna

Projeção do segmento de reta que representa a largura da solda sobre uma das superfícies do metal de base. As soldas de filete têm duas pernas. Nas soldas em juntas de topo, a perna é igual à largura da solda (Fig. 1).

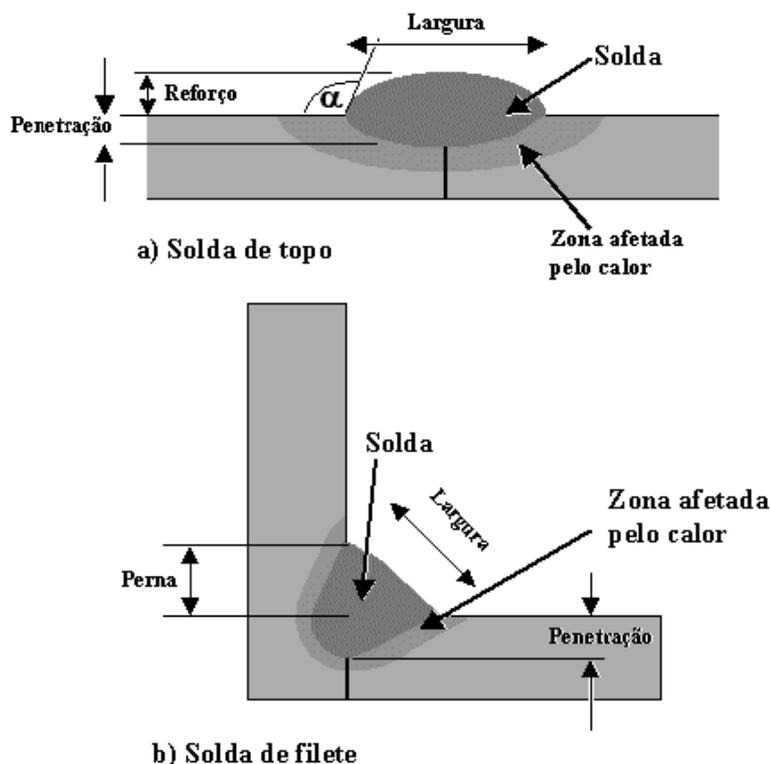


Fig. 1: Geometria das soldas (A) de topo e (B) de filete.

2.1.4 Convexidade da solda.

Convexidade é o lado externo de uma superfície curva. A medida da convexidade é a sua altura em relação a uma corda.

Corda é o segmento de reta que une dois pontos de uma curva. Numa solda a corda de referência é o segmento de reta que une os pés da solda, numa seção reta. Portanto, quando a seção reta da solda ultrapassa o segmento de reta que une os pés da solda, a solda é convexa. Neste caso, o lado interno da face da solda é maciço (ver figura 2).

A medida da convexidade da solda é a sua altura em relação ao segmento de reta que une os seus pés, numa mesma seção reta.

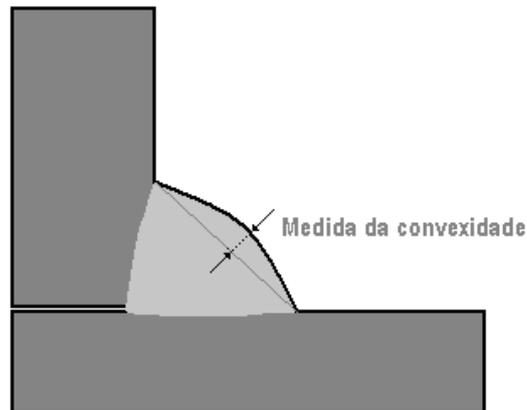


Figura 2 – Convexidade de solda de um ou mais passes.

2.1.5 Concavidade da solda.

Concavidade é o lado interno de uma superfície curva. A medida da concavidade é a sua altura em relação a uma corda. Numa solda a corda de referência é o segmento de reta que une os pés da solda, numa seção reta. Portanto, quando a seção reta da solda não ultrapassa o segmento de reta que une os pés da solda, a solda é côncava. A medida da concavidade da solda é a sua altura em relação ao segmento de reta que une os seus pés (a corda), numa mesma seção reta (ver figura 3).

Numa solda de topo, em junta chanfrada, quando houver concavidade, tem-se um defeito chamado de **deposição insuficiente**. Neste tipo de junta, uma concavidade é geralmente um defeito.

2.1.6 Altura do reforço da solda

Numa solda de topo, chama-se de altura do reforço da solda à medida da sua convexidade. (ver figura 1).

2.1.7 Ângulo de reforço

Ângulo, na seção reta da solda, entre a superfície do metal de base e a tangente à face da solda, medido no pé da solda (ver figura 1).

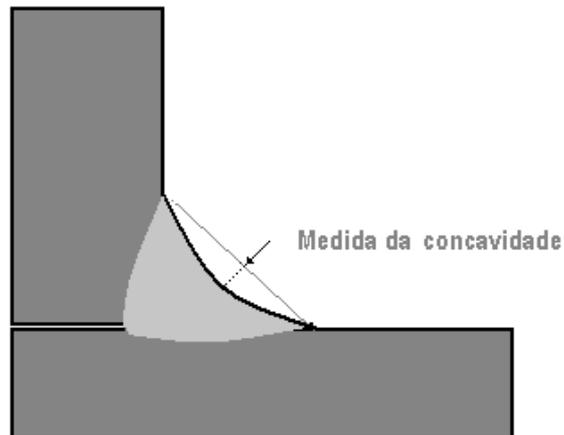


Fig. 3 - Concavidade de solda de um ou mais passes

2.1.8 Garganta teórica

É a altura do filete em relação ao seu lado maior, o lado externo da solda. Na seção reta, é a altura do triângulo formado pelos pés da solda e o ponto de encontro das duas superfícies do metal de base (também chamado de origem da junta).

2.2 Imperfeições dimensionais na peça soldada.

Este tópico se refere às imperfeições causadas pelo processo de soldagem.

2.2.1 Deformação angular.

Alteração do ângulo entre os elementos a unir em relação ao ângulo nominal (de projeto), conforme mostra a fig. 4. No caso de junta de topo, a deformação angular é conhecida como embicamento (fig. 5).

2.2.2 Desalinamento

Translação entre os elementos a unir, em relação à posição estabelecida em projeto. Esta translação é devida à má preparação da junta (posicionamento e fixação) para a soldagem subsequente. A figura 6 mostra um exemplo para o caso de junta soldada de topo.

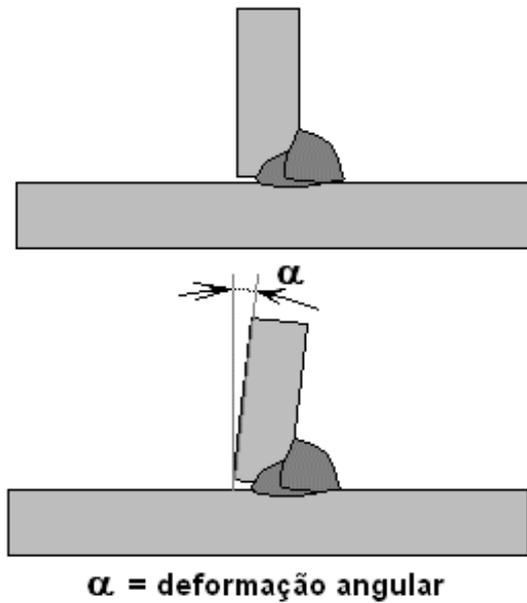


Figura 4 – Deformação angular



Fig. 5 - Embicamento



Fig. 6 - Desalinamento

3. Descontinuidades

Descontinuidade é uma **interrupção** na estrutura típica de um material, que altera bruscamente suas propriedades. Enfatiza-se a palavra interrupção para deixar evidente que a simples variação de uma propriedade não caracteriza uma descontinuidade.

No caso de juntas soldadas, esta interrupção se manifesta nas propriedades físicas ao longo de uma reta, em qualquer direção, que atravesse a junta em toda a sua extensão, partindo de um ponto do material de base. Convém observar que este conceito se restringe, obviamente, ao nível macroscópico do material e não é aplicável ao nível microscópico, sub-microscópico ou atômico.

Por definição, a soldagem é o processo que objetiva a união de duas ou mais peças sem descontinuidades. No entanto, elas podem ocorrer e serem aceitáveis. Elas só serão consideradas defeitos se superarem determinados limites, fixados pelo projeto da peça soldada como critérios de aceitação. Os defeitos refugam a peça, a menos que possam ser reparados.

A seguir apresenta-se uma lista das principais descontinuidades, sem a pretensão de apresentar uma listagem completa (*o que seria impossível*).

3.1 Cavidades

Existem vários tipos de cavidades: **poros esféricos**, **cavidades alongadas** (*vermiforme*), **retrações** (*rechupes*) externas e internas.

A porosidade é formada pela segregação de gases durante a solidificação da solda. Por isso, a superfície da cavidade é lisa, o que a difere das retrações. Os poros podem ser dispersos, alinhados ou agrupados; podem ser esféricos ou alongados (vermiformes); podem ser internos ou aflorarem na superfície. Poros alinhados são mais comuns no passe de raiz. A figura 7 apresenta poros esféricos tal como se veria em uma radiografia da face da solda (vista superior). A figura 8 apresenta poros alongados, em vista frontal. Estes se desenvolvem exatamente na direção do movimento da frente de solidificação. A figura 9 mostra poros alongados numa seção transversal.

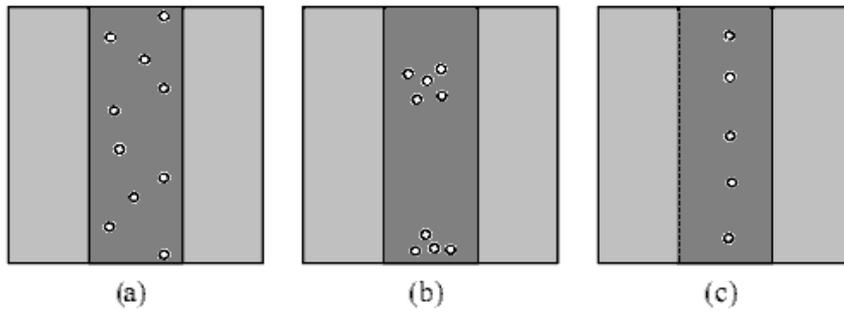


Fig. 7 - Poros internos: (a) dispersos; (b) agrupados; (c) alinhados

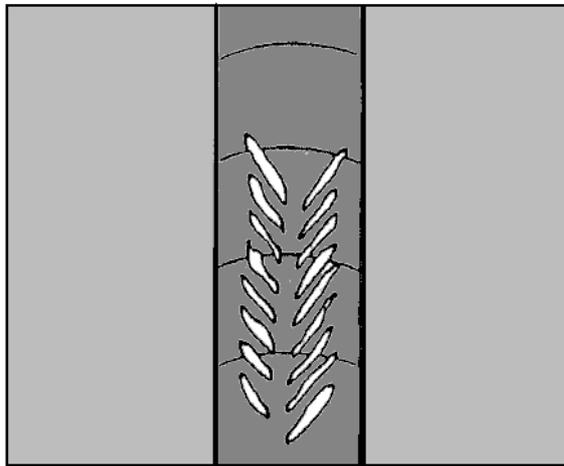


Fig. 8 - Cavidades alongadas internas

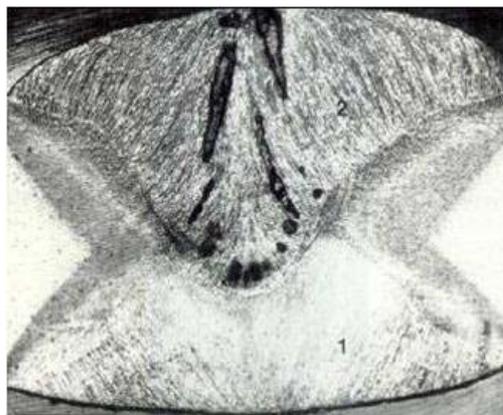


Fig. 9 - Macrografia de cavidades alongadas

Retração é uma reentrância causada pela contração líquida e de solidificação do metal de adição. Elas pode se situar na raiz da solda, podendo ser central ou lateral, situada nas laterais da raiz

da solda. (ver figura 10). Outro local em que a retração é comum é no final de um passe, no local onde se apaga o arco voltaico. Esta retração é normalmente chamada de **cratera**, podendo ser constituída de uma parte externa (visível) e outra interna (invisível). Embora seja mais raro pode-se também encontrar microretrações internas, no centro de um passe.

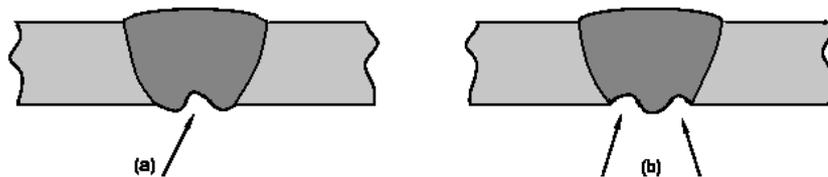


Fig. 10 - Retrações na raiz da solda: (a) central; (b) lateral

3.2 Falta de solubilização (ou falta de diluição)

Esta descontinuidade é erroneamente conhecida como **falta de fusão**. Trata-se da falta de solubilização entre partes de passes adjacentes ou entre um passe e o metal de base, seja numa face chanfrada, ou na face da raiz da junta ou ainda em faces de juntas de filete. Não há necessidade de haver fusão, para que haja soldagem, mas a solubilização é fundamental.

Não havendo **solubilização (ou diluição)** o que se tem é uma aderência entre os metais, mas não uma soldagem. Esta descontinuidade, além de reduzir a seção resistente da junção, é concentradora de tensões, podendo ser origem de trincas.

A fig. 11 mostra a falta de fusão entre a solda e as faces de uma junta de filete.

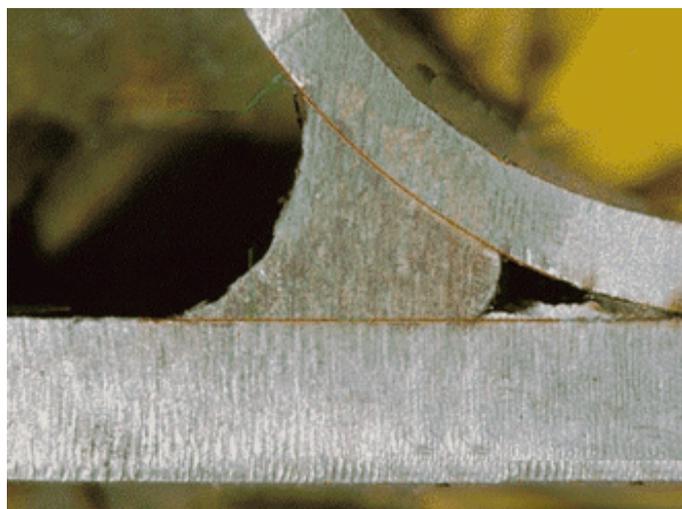


Figura 11 – Falta de fusão em junta de filete

3.3 Inclusões

Trata-se de material estranho retido na solda.

Usa-se esta expressão **inclusão de escória** para referência ao aprisionamento de óxidos ou outros materiais não metálicos entre passes de solda ou entre passes e o material de base.

A inclusão pode não ser de escória. Por exemplo, no processo TIG pode ocorrer inclusão de tungstênio, que é um metal.

As inclusões podem estar isoladas, alinhadas ou agrupadas.

As inclusões são concentradores de tensões.

3.4 Mordedura

Este termo é usado para referência ao sulco que pode se formar entre passes adjacentes ou entre um passe e o metal de base, pela ação da fonte de calor.

Quando esta depressão, no formato de canaleta, forma-se na última camada da solda, reduz a seção resistente da junção.

3.5 Trinca

As trincas ou fissuras são as mais graves discontinuidades de juntas soldadas por serem fortes concentradores de tensões. São fendas, rupturas localizadas no material. Elas podem se formar durante a solidificação da solda, durante o resfriamento ou mesmo após a solda, nas operações subseqüentes ou ainda quando em serviço e sujeita às ações de forças externas. A literatura de metalurgia costuma reservar o termo *trinca* para as rupturas que afloram na superfície e o termo *fissura* para aquelas que são internas. Na soldagem esta distinção não tem sido feita.

Microtrincas ou *microfissuras* são as rupturas de dimensões microscópicas.

Podem-se distinguir vários tipos de trincas com diversos formatos, como longitudinal, transversal, radial (em estrela). A fig. 12 mostra um trinca longitudinal.

As trincas podem estar na solda ou no material de base.

- Trincas na solda: podem se formar na cratera de extinção de arco, dentro de passes ou na raiz da solda.
- Trincas no metal de base.

Na zona termicamente afetada (ZTA), também conhecida como zona afetada pelo calor (ZAC). Um exemplo deste tipo de trinca é a chamada “**trinca sob o cordão**”. Trata-se de uma trinca induzida pela presença de hidrogênio, que se desenvolve paralelamente à linha de fusão. Nota: já que a nomenclatura oficial (ABNT) assume que cordão é sinônimo de passe (*antes não era assim*), então deve mudar o nome deste tipo de trinca para “**trinca sob a solda**”, porque ela nunca ocorre sob o passe e sim sob a solda, na ZAC.

No metal de base não afetado pelo calor como a **trinca interlamelar**, tipicamente em forma de degraus, situados em planos paralelos à direção de laminação, localizada no metal de base, próxima à solda.

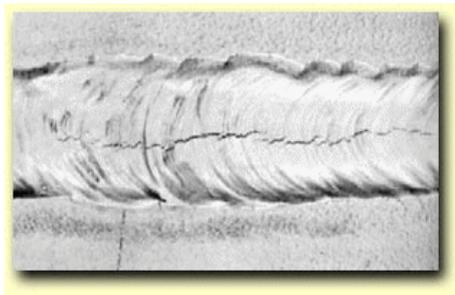


Fig. 12 - Exemplo de trinca longitudinal

A fig. 13 ilustra vários tipos de trincas numa solda feita em junta de filete.

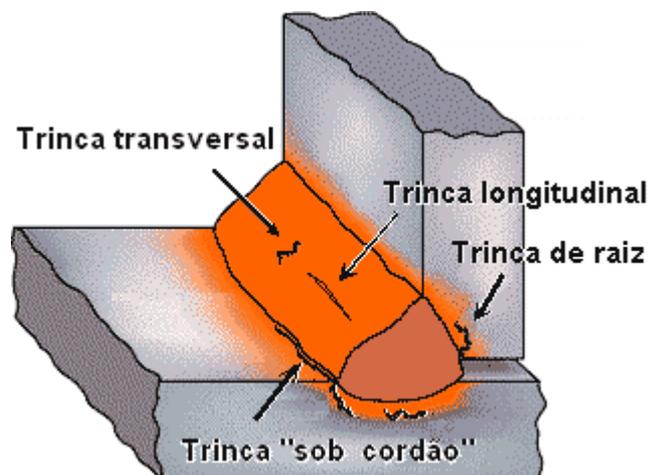


Fig. 13 - Exemplos de trincas

4. Imperfeição nas propriedades dos materiais.

Ainda que não existam descontinuidades, as junções soldadas podem apresentar propriedades reais diferentes das nominais. As propriedades nominais são as fixadas em projeto, com base em normas ou em cálculos de engenharia, e são verificadas por meio de testes de qualificação ou de testes de amostras retiradas de lotes de produção. As propriedades mecânicas geralmente verificadas são a resistência a tração, a tensão de escoamento, a resistência ao dobramento, a dureza, a ductilidade e a tenacidade, tanto do material de base como da solda. Quanto às propriedades químicas, geralmente são avaliadas a composição química e a resistência a diversos tipos de corrosão.

Neste documento, as propriedades químicas e mecânicas, citadas no parágrafo anterior, não serão tratadas, porque elas pertencem a outras áreas técnicas e já estão bem definidas em suas áreas.

As propriedades dos materiais são afetadas pela soldagem, de modo que é inevitável que haja diferenças entre os valores reais e os valores nominais. Estas diferenças só serão consideradas defeitos se superarem determinados limites, fixados pelo projeto da peça soldada como critérios de aceitação.

5. Outras

Há imperfeições que não se enquadram nas categorias anteriores, mas que devem ser investigados por terem potencial para produzir defeitos. A seguir apresentam-se algumas delas.

5.1 Marca de Abertura de arco

Imperfeição local na superfície do metal de base ou do cordão, resultante da abertura do arco voltaico. Em materiais

suscetíveis estas marcas podem conter microfissuras que são fortes concentradoras de tensões. Estas fissuras será descontinuidades.

5.2 Sobreposição (*lapela*)

Sobreposição ou *lapela* é o derramamento de metal sobre o metal de base, na margem da solda, para além do pé da solda. Nesta porção não há solubilização com o metal de base. Há somente aderência. A lapela não é uma descontinuidade da solda, porque nenhum segmento de reta que atravesse a junta, tendo seus pontos extremos no material de base, passa pela lapela, mas ela pode ser entendida como imperfeição dimensional.

5.3 Deposição insuficiente

Esta expressão é precária. O que se intenta dizer é que o enchimento da junta é incompleto. A expressão correta deveria ser **enchimento incompleto**. O enchimento incompleto causa uma descontinuidade e, como tal, poderia ser incluída no item 3. Atravessando a junta por uma reta que passe pela parte não preenchida da junta, depara-se com a interrupção das propriedades do material. A descontinuidade seria o espaço vazio da junta.

5.4 Vazamento

Se a folga da junta for muito grande ou se o arco voltaico fundir demais o nariz da junta, o material fundido escoará pela folga da junta formando uma raiz protuberante. Quando isso acontece, o material se solidifica enquanto tenta escoar pela abertura da raiz da junta. Esta protuberância corresponde à perda de material e de trabalho. Além disso, se constitui num desvio dimensional no verso da solda. Portanto, poderia constar do item 2.2.

Se o vazamento for muito grande, o metal líquido pode se desprender da chapa pela folga da junta. Este vazamento fatalmente implicará em **enchimento incompleto** (*embora a deposição fosse suficiente*).

Em casos muito graves, poderá haver **perfuração localizada**. Neste caso, trata-se de uma descontinuidade e, como tal, poderia ser incluída no item 3.

5.5 Tensões residuais

Como tanto o aquecimento quanto o resfriamento, numa soldagem, são localizados, a dilatação e a contração não são livres. Portanto, sempre restarão tensões residuais na peça soldada. Se estas tensões superarem determinados limites, elas comprometerão as propriedades da peça. A **resistência dos componentes** é influenciada, sem mostrar quaisquer sinais visíveis, pelas **tensões residuais** que existem nestes componentes. Elas podem ainda ser a causa de deformações e de trincas.

5.6 Respingos

Respingos ou salpicos são gotículas de metal fundido que são ejetados pelo arco voltaico. Quando a salpicagem é excessiva denota instabilidade do arco voltaico o que pode estar causando outros tipos de imperfeições na solda. Parte destes salpicos aderem ao metal de base e se solidificam. A limpeza dos mesmos dá trabalho e aumenta os custos de produção. A salpicagem pode ser um sério inconveniente, embora não se constitua numa imperfeição da junção soldada.

5.7 Outros inconvenientes

Assim como os respingos (*item anterior*) há outros inconvenientes que não se constituem em imperfeições da junção, mas que merecem atenção, tal como: a presença de graxas na superfície a soldar; restos de escória e poeiras; a radiação ultravioleta, que obriga o soldador a se proteger; a formação de gases, como o ozônio e os óxidos nitrosos produzidos pelo arco voltaico, que prejudicam a saúde do soldador; o choque elétrico; o ruído etc.

6. Importância da detecção de imperfeições

É óbvio que descobrir defeitos é importante para não transferir problemas para as etapas seguintes da fabricação ou para o cliente. Para isso, o pré-requisito é a detecção de

imperfeições e sua comparação com os critérios de aceitação. No entanto, descobrir defeitos não é o bastante.

Há outro aspecto a considerar, ainda mais valioso. Cada imperfeição (ou defeito) detectada deve ser estudada para que se compreendam melhor as suas causas. Cada imperfeição (ou defeito) detectada é uma oportunidade de aprendizado. Quem pensa que sabe tudo priva-se de um dos maiores prazeres da vida: **aprender!**

Citando o poeta irlandês Oscar Wilde⁽³⁾, pode-se dizer que “*a experiência é o nome que damos à soma de todos os nossos erros*”. Cada fracasso ensina ao homem algo que ele precisava aprender. Em outras palavras, começamos a fazer tecnologia e ciência quando aprendemos a **aprender com os erros** passados.

É fundamental manter um registro detalhado e completo de todos os procedimentos de soldagem e do seu controle da qualidade. Daí a importância crescente da administração da soldagem e de todo o sistema de documentação. A internacionalização dos mercados e da fabricação gerou o conceito de rastreabilidade. A **rastreabilidade** é um conceito moderno que surgiu devido à necessidade de saber em que ponto da **cadeia logística** um produto se encontra. Cadeia logística é a **malha de fornecimento ou de suprimento** das necessidades de uma empresa e de seus clientes no desenvolvimento, fabricação e controle de qualidade de seus produtos. A **rastreabilidade** expressa a capacidade de traçar a história da fabricação e a possibilidade de retroagir, a qualquer tempo, na busca da origem das falhas, não apenas para imputar responsabilidades, mas principalmente para aprender com os erros.

A palavra rastreabilidade não é encontrada no dicionário da língua portuguesa, por ser uma palavra composta pelo verbo rastrear, que significa “*seguir o rastro ou a pista*” e pelo substantivo feminino “*habilidade*”.

Para finalizar, duas citações:

- Nunca cometa um erro duas vezes, descubra sempre novos erros para cometer (*Mark Twain*).
- Jamais haverá ano novo, se continuar a copiar os erros dos anos velhos (*Luís de Camões*).

Referências

- (1) Filósofo, **Platão** viveu em Atenas, na Grécia, nos séculos V-IV a.C.
- (2) **O Pequeno Príncipe**, de Antoine Saint-Exupéry, escritor francês (1900–1944)
- (3) Oscar Fingal O'Flahertie Wills Wilde (1854 – 1900) foi um escritor irlandês.