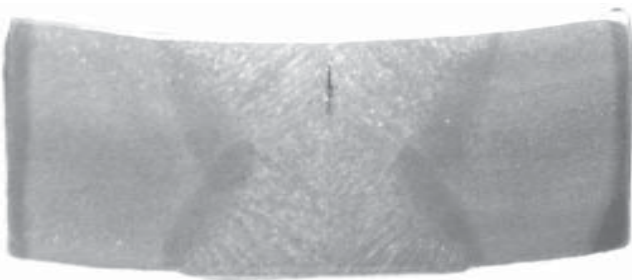


## Fissuração a Quente (Trincas a Quente)

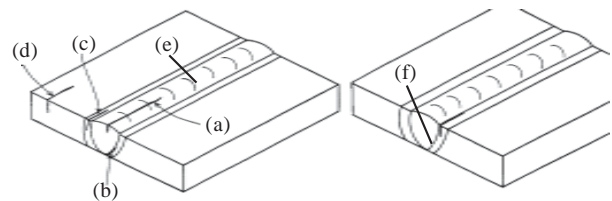
Cláudio L. Jacintho da Silva  
Prof. Ronaldo Paranhos

As trincas a quente podem ser de escala microscópica, e não são detectadas pelas técnicas convencionais de inspeção, ou na maioria dos casos, em escala macroscópica, que apesar de desenvolver o mesmo mecanismo da fissuração microscópica, atingem dimensões muito maiores, constituindo-se em defeitos de solda pois comprometem sua qualidade. Nos dois casos, este tipo de trinca apresenta as seguintes características:

- Ocorrem e se originam, invariavelmente nos contornos de grão, espaço interdendrítico ou intergranular durante a solidificação do metal de solda.
- Estão sempre associadas à concentração de impurezas nestas regiões (segregação) durante a solidificação.
- Formam-se em temperaturas próximas da temperatura final de solidificação
- São provocadas pelas tensões geradas pela contração da solda.
- Podem-se localizar no metal da solda (ZF), na zona termicamente afetada (ZTA) do metal base ou dos passes precedentes do metal de solda.

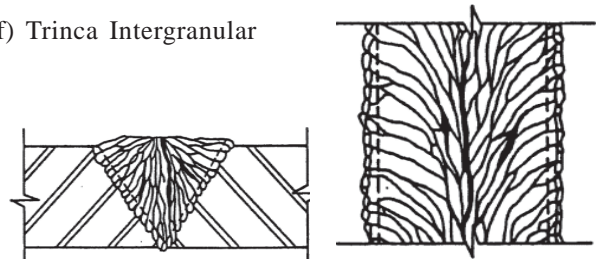


### Terminologia

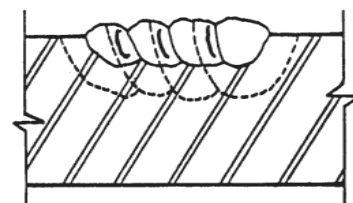


- a) Trinca longitudinal do metal base
- b) Trinca na raiz da solda
- c) Trinca na margem do cordão de solda na ZTA
- d) Trinca longitudinal na ZF
- e) Trinca de cratera

- f) Trinca Intergranular



- g) Trinca Intergranular na ZTA dos passes precedentes



## Mecanismos

A soldagem por fusão envolve grandes gradientes térmicos (102 a 103 °C/mm) em pequenas regiões, com variações bruscas de temperatura (de até 103 °C/s), o que provoca extensas variações de microestrutura e propriedades, em um pequeno volume de material. Este aquecimento localizado em determinadas regiões, tende a dilatar mais intensamente estas regiões do que as adjacentes, submetidas a temperaturas menores. As deformações elásticas e plásticas do material aquecido, ao final do processo de soldagem, criam tensões internas, também chamadas de tensões residuais.

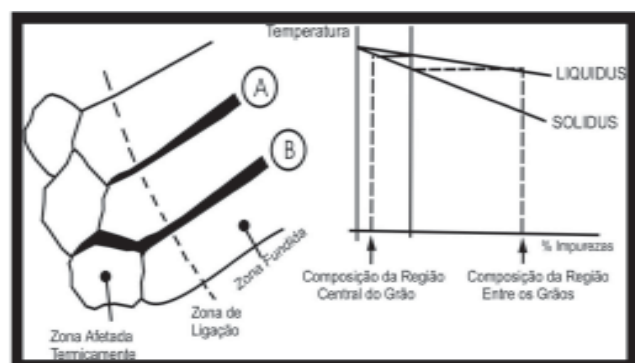
Três teorias têm sido formuladas para explicar o fenômeno da fissuração a quente. Uma delas se refere a fusão da região segregada do metal da solda, onde no final da solidificação da solda, um filme líquido de baixo ponto de fusão ocupa os contornos de grão, espaço interdendrítico ou intercelular. Desta forma, o metal fica incapaz de suportar os esforços mecânicos de contração da solda. Uma segunda teoria, retrata a fusão da região segregada da ZTA. Durante a soldagem a ZTA fica submetida a temperaturas desde o ponto de fusão da liga até a temperatura, de pré-aquecimento, formando um gradiente térmico contínuo a partir da interface. Nestas condições, é favorável a ocorrência de filmes líquidos nos contornos simultaneamente com tensões de contração de solda. A terceira teoria, é baseada na queda de ductilidade, que ocorre numa faixa de temperatura pouco inferior às temperaturas finais de solidificação. Nestas condições, o metal não teria tenacidade suficiente para suportar as tensões geradas pela soldagem.

## Fatores que Influenciam as Trincas a Quente

### Segregação

A segregação de fases, de ponto de fusão mais baixo que a solda, é geralmente, a causa mais comum da fissuração a quente. Normalmente as impurezas e os elementos de liga contidos nos materiais usados industrialmente são mais solúveis na fase líquida. O mesmo ocorre com as impu-

rezas introduzidas por deficiências de limpeza durante a soldagem. Tudo isso conduz a um grande aumento da concentração das impurezas nas últimas partes solidificadas, que podem ocupar posições desfavoráveis na ZF em relação às tensões de contração da solda, mantendo um filme líquido na ZF, devido ao seu baixo ponto de fusão, que não confere resistência mecânica suficiente para suportar as tensões de contração na solda, formando as trincas a quente. Eventualmente poderá haver também a formação de compostos ou a presença de impurezas que se mantém sólidas e que se concentram na última parcela do líquido a se solidificar. Este tipo de heterogeneidade, chamada de segregação, pode se manifestar de forma macroscópica, microscópica (no interior dos grãos, nos espaços interdendríticos, nos contornos de grão) e de forma intragranular.

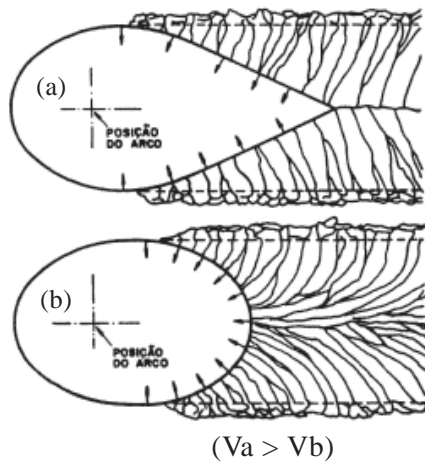


### Alta Velocidade de Soldagem

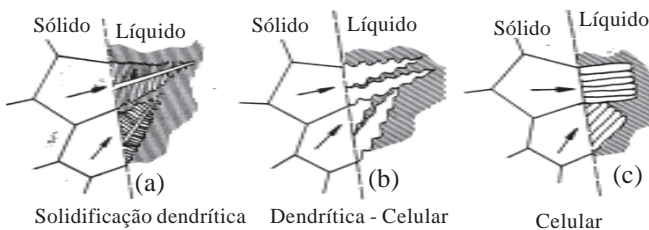
Acentua tanto a micro como a macro-segregação favorecendo muito a fissuração no centro do cordão. O centro do cordão de solda forma uma granulação grosseira e uma severa segregação intragranular bem como a formação de um plano de contornos de grão no centro da solda e, portanto condições extremamente favoráveis à fissuração

### Tensões de Soldagem

As soldas sujeitas as tensões mais elevadas são suscetíveis à fissuração. Assim sendo, aquelas executadas com elevado grau de restrição, devem mere-



- (a) Forma de Lágrima: propensa a trincas  
(b) Elíptica: pouco propensa a trincas



cer atenção especial. É aconselhável também, do ponto de vista das tensões, a soldagem com baixa energia, pois dificulta a solidificação dendrítica, reduz as tensões geradas pela soldagem.

### Juntas Caracterizadas por Alto Grau de Restrição

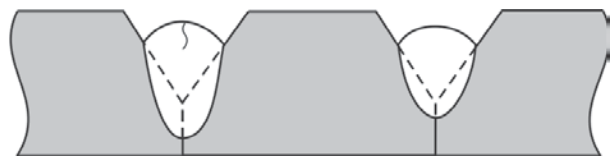
As juntas que possuem um alto grau de restrição são mais suscetíveis à formação de trincas a quente, pois devido a pouca liberdade de se moverem para aliviar o nível de tensões, são mais sensíveis. Como exemplo podemos citar as soldas em filetes, que conferem elevada restrição.

### Metal Base com UCS > 30

O índice de susceptibilidade a trincas (UCS) serve para avaliar a tendência do metal base a fissuração a quente. Este índice está relacionado à concentração de alguns componentes químicos e pode ser matematicamente calculado como  $UCS = 230C + 190S + 75P + 45Nb - 12,3Si - 5,4Mn - 1$ . Quando um metal base possui  $UCS > 30$  indica que o mesmo possui baixa resistência a trincas.

### Diluição no Passe da Raiz

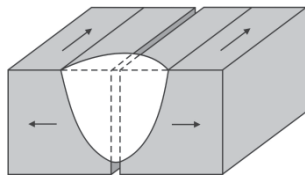
A elevada diluição no passe da raiz também favorece a fissuração a quente, portanto, minimizar a diluição no passe da raiz é fundamental para evitar trincas. A redução da diluição junto com a aplicação de pequenos cordões evitam trincas. (quanto maior a diluição no passe da raiz, pior).



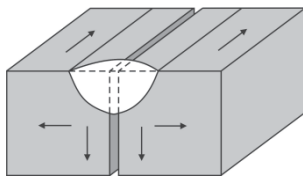
Elevada Diluição passe raiz: Sensível a trincas.

### Espessura da Chapa

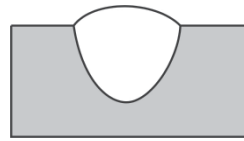
As morfologias das chapas também exercem papel importante na determinação do grau de susceptibilidade a trincas, enquanto as chapas grossas são mais propensas a trincas a quente, por outro lado, as chapas finas deformam-se mais facilmente durante a soldagem, causando uma maior distorção, que por sua vez, tornam mais susceptíveis a trincas a quente. Ainda em função da espessura da chapa, a extração de calor bidimensional, comum em chapas finas, são mais sensíveis a trincas do que as chapas grossas, que normalmente possuem a extração de calor tridimensional. As chapas grossas mais propensas a trinca.



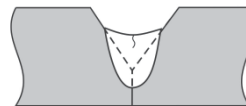
Extração calor bidimensional: Sensível a trincas.



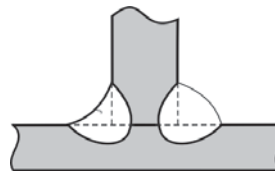
Extração calor tridimensional: Sensível a trincas.



Cordões levemente convexos e com  $1 < PL < 2$  menos sensíveis a trincas.



Cordões muito côncavos sujeitos a trincas.



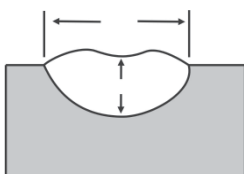
Cordões levemente convexos e com  $1 < P/L < 2$  menos sensíveis a trincas.

### Resistência Mecânica do Metal Base

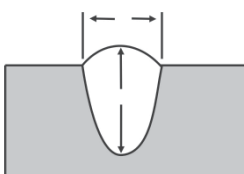
O risco a trincas aumenta com o aumento da resistência do metal base, pois o metal perde a capacidade de escoar com o aumento da resistência, tornando mais difícil acomodar as deformações plásticas.

### Relação Profundidade/Largura do Cordão de Solda

Os cordões de solda também podem influenciar na formação de trincas. Os cordões largos e pouco profundos, em forma de chapéu ou profundos e estreitos, são mais susceptíveis a trinca do que os cordões levemente convexos e com razão profundidade / largura, entre um e dois.



Cordões largos e pouco profundos em forma de chapéu sujeitos a trincas.



Cordões Profundos e Estreitos ( $PL > 3$ ) sujeitos a trincas.

### Coefficiente de Dilatação Linear

A diferença de coeficiente de dilatação linear é marcante para a soldagem de materiais dissimilares ou com metal de adição dissimilar, por causar diferentes graus de dilatação e contração no metal durante a soldagem, aumentando as tensões residuais e conseqüentemente a suscetibilidade a trinca.

### Composição Química

Nos aços ao carbono e de baixa liga, impurezas como enxofre e fósforo são particularmente prejudiciais, pois formam com o ferro e outros metais, compostos de ponto de fusão bem inferiores ao restante do material, diminuindo a resistência à fissuração. Ambos formam eutéticos ( $FeS$  e  $Fe_3P$ ). O enxofre possui menor solubilidade na austenita, portanto, uma liga que se solidifique completamente nesta forma é altamente sensível a este tipo de fissuração. O efeito do fósforo é semelhante e cumulativo com o do enxofre. No entanto, apesar de também formar eutético de baixo ponto de fusão, o fósforo praticamente não produz fissuração em ferro puro. Aparentemente só produz segregação, quando combinado com outros elementos tais como o cromo, níquel e molibdênio.

A adição de manganês aos aços consumíveis de solda contribui para evitar a fissuração, pois o Mn possui maior afinidade com o enxofre em relação ao ferro, formando MnS, cuja temperatura de fusão é superior ao do FeS, e se precipita no interior da matriz ferrítica sob forma de glóbulos poliédricos, não provocando portanto fissuração. Já o fósforo, não pode ser neutralizado pela adição do manganês. O único recurso é limitar o seu teor, evitando revestimentos orgânicos, revestimentos elétricos, graxas e óleos.

O Silício, que normalmente é adicionado à maioria dos aços ao carbono e de baixa liga, para atuar como desoxidante e para aumentar a fluidez do metal fundido, pode produzir a fissuração a quente, caso esteja presente em teores superiores a 1,0%.

O níquel e o alumínio afetam a composição e a distribuição dos compostos de enxofre, nos aços ferríticos, aumentando a suscetibilidade a fissuração a quente.

O carbono normalmente produz segregação de baixo ponto de fusão e acentua a segregação de sulfetos, além dos efeitos prejudiciais sobre a tenacidade e a temperatura de transição, favorecendo a fissuração a quente. Soldagem sobre chanfros sujos com hidrocarbonetos (óleos e graxas), aumentam muito o teor de carbono na ZF, o que certamente acarretará em trincas a quente.

O Zinco quando presente no metal depositado, pode produzir fissuração devido a sua elevada volatilidade, tornando difícil a sua dissolução no metal de solda, enquanto este se encontrar no estado líquido.

