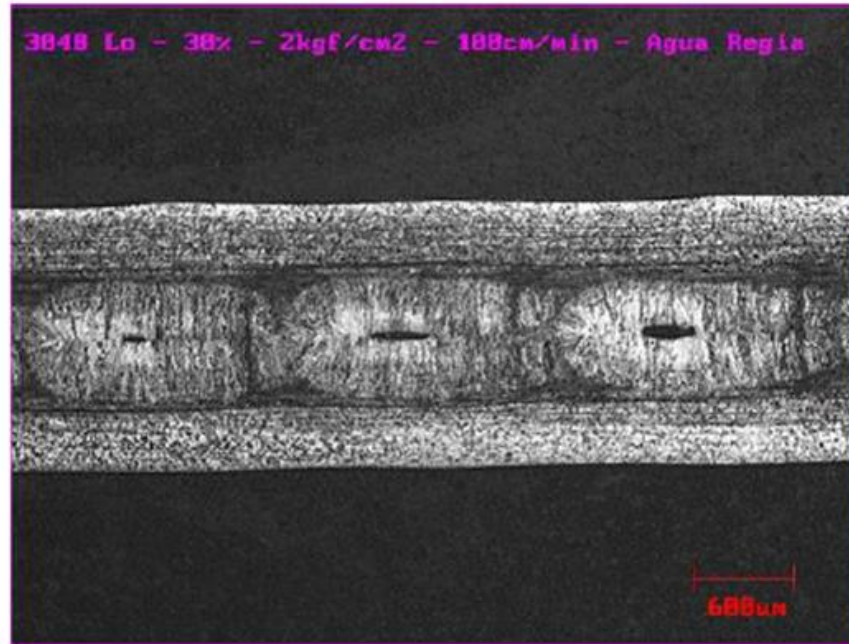


DEFEITOS EM SOLDAGEM



Trinca de solidificação em aço inoxidável austenítico 304
- Soldagem por costura.

Preparado por: Ramón S. C. Paredes, Dr. Eng^o.

Defeitos do metal de solda

Alguns dos defeitos que podem ocorrer no metal de solda são:

trincas de solidificação ou trincas a quente

trincas induzidas por hidrogênio no metal de solda

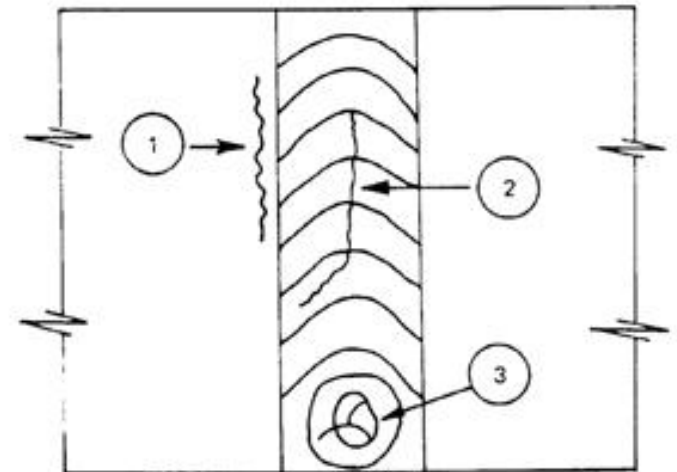
porosidade

inclusões de escória ou outras inclusões

trincas de cratera

falta de fusão

perfil do cordão desfavorável



1 Trinca longitudinal na ZTA.

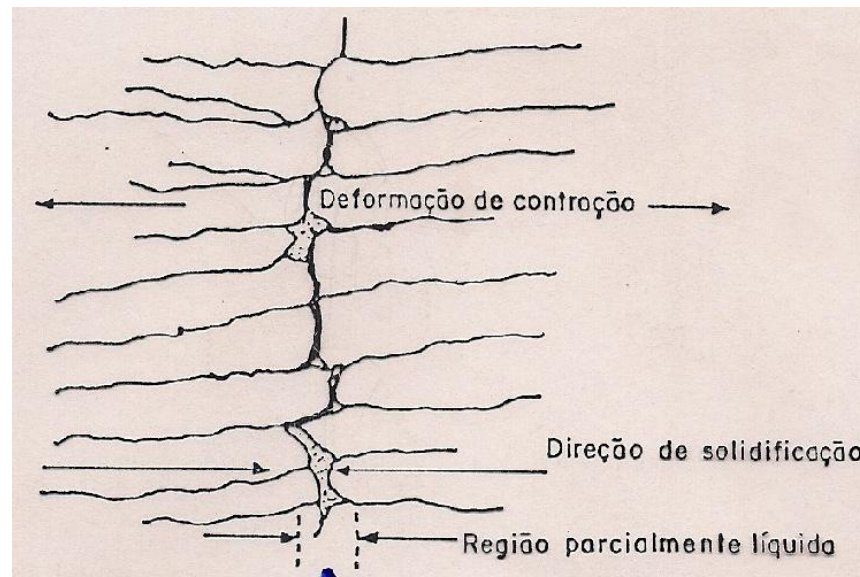
2 Trinca longitudinal na ZF

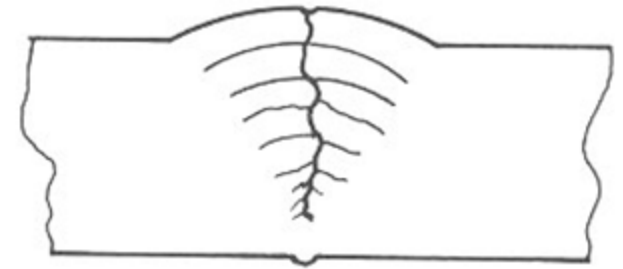
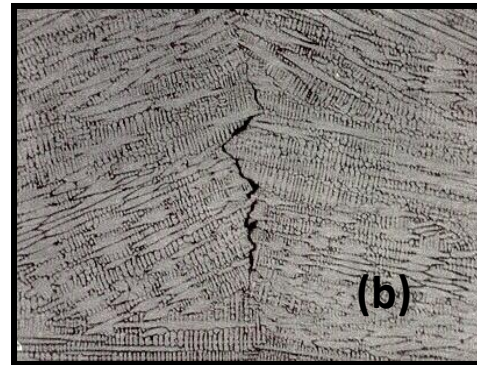
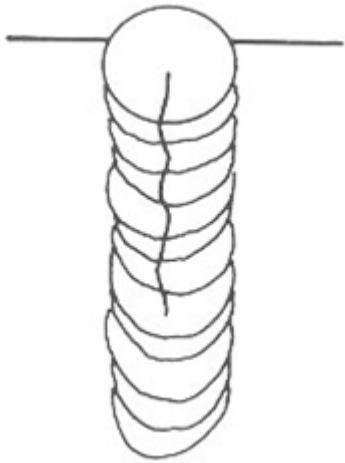
3 Trinca de cratera

Trincas de solidificação ou trincas a quente

A maioria dos aços pode ser soldada com um metal de solda de composição similar à do metal de base. Sendo que aços com alto teor de liga e as ligas não ferrosas requerem metal de adição diferentes do metal de base.

Isso torna essas ligas suscetíveis à fissuração de solidificação ou a quente, que pode ser evitada mediante a escolha de consumíveis especiais que proporcionam a adição de elementos que reduzem a faixa de temperatura de solidificação.

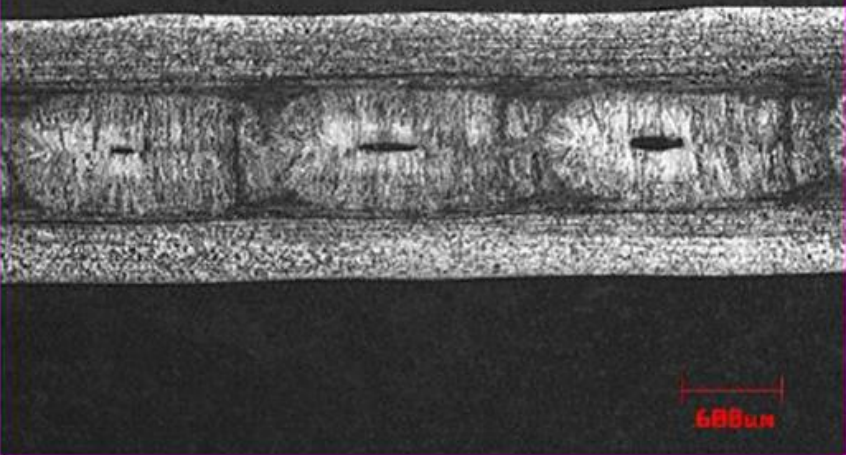




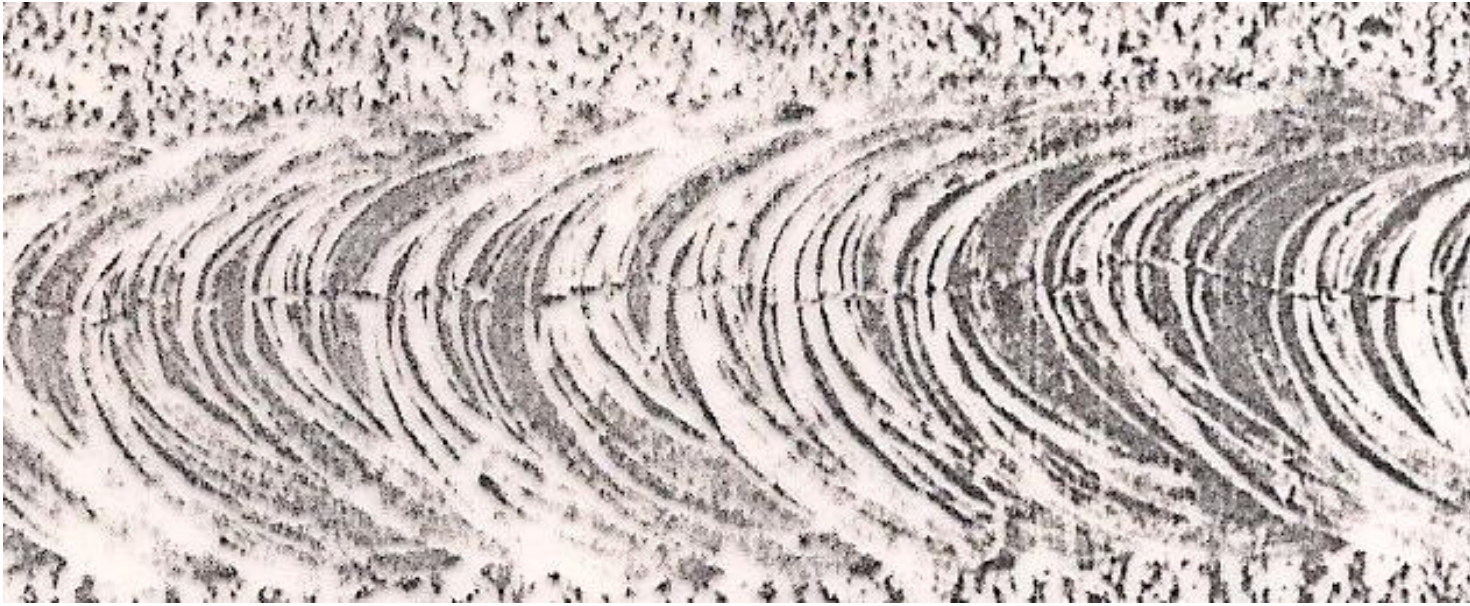
A fissuração a quente também é fortemente influenciada pela direção de solidificação na solda. Quando grãos de lados opostos crescem juntos numa forma colunar, impurezas e constituintes de baixo ponto de fusão podem ser empurrados na frente de solidificação para formar uma linha fraca no centro da solda.

Soldas em aços de baixo carbono que porventura possam conter alto teor de enxofre podem se comportar dessa forma, de modo que pode ocorrer fissuração no centro da solda.

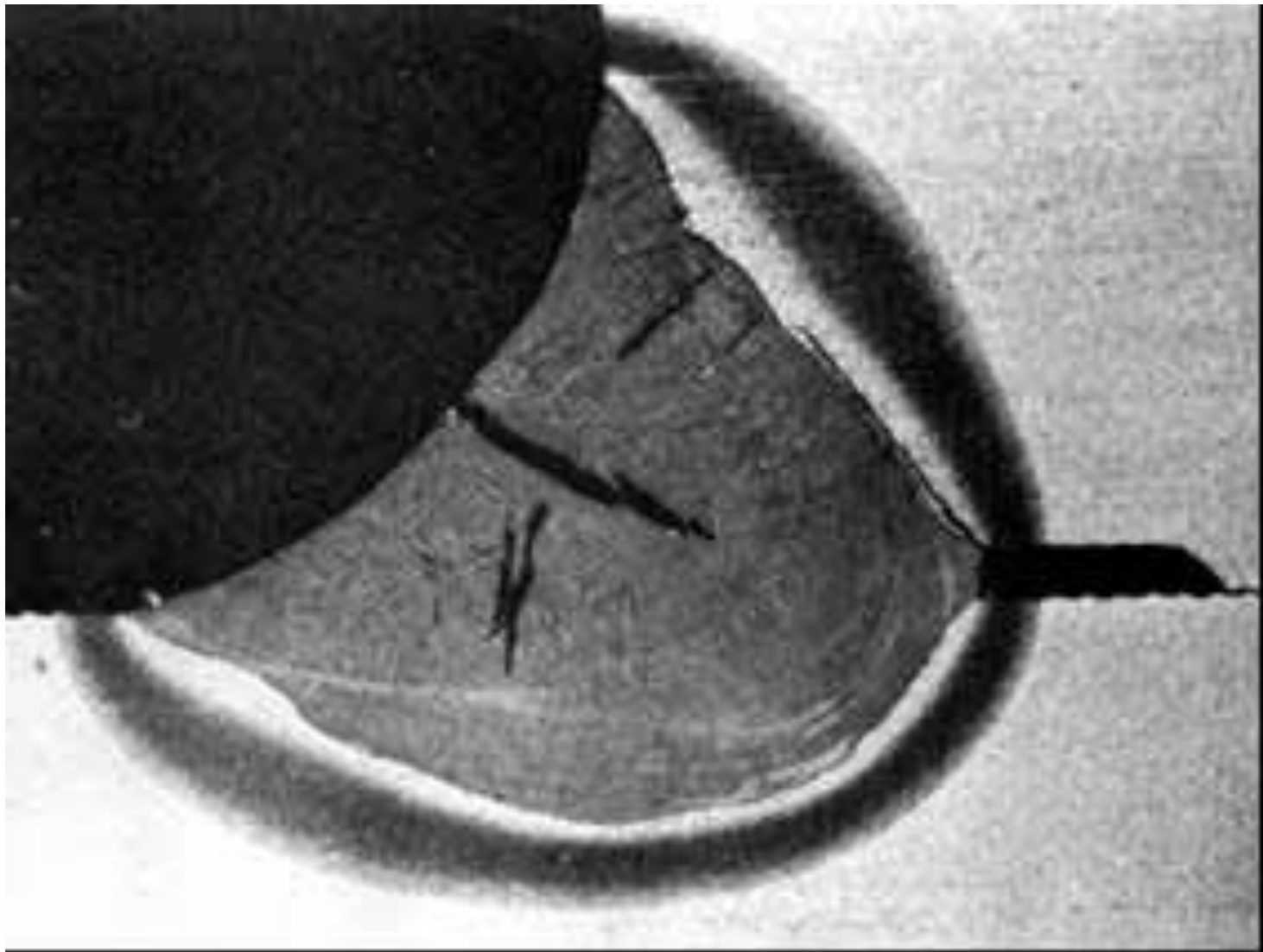
304L - 30x - 2kgf/cm² - 180cm/min - Agua Regia



Trinca de solidificação em aço inoxidável austenítico 304
- Soldagem por costura.



Trinca em solda pelo processo arco submerso- união em T



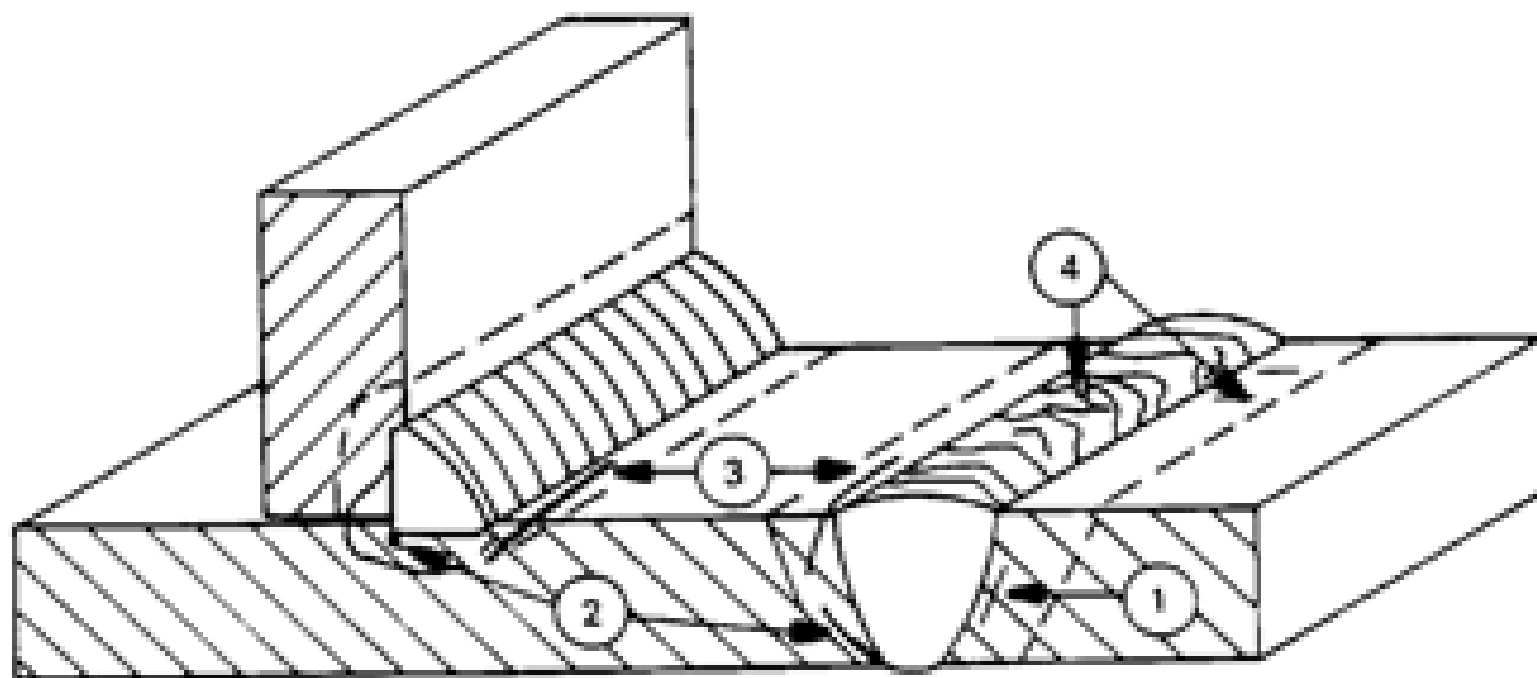
Trincas induzidas por hidrogênio no metal de solda

Esse modo de fissuração acontece a temperaturas próximas da ambiente, sendo mais comumente observada na ZTA.

O hidrogênio é introduzido na poça de fusão através da umidade ou do hidrogênio contidos nos compostos dos fluxos ou nas superfícies dos arames ou do metal de base.

Numa poça de fusão de aço o hidrogênio se difunde do cordão de solda para as regiões adjacentes da zona termicamente afetada que foram reaquecidas suficientemente para formar austenita.

À medida que a solda se resfria a austenita se transforma e dificulta a difusão posterior do hidrogênio.



1. trinca sob cordão (underbead crack)
2. trincas na raiz (root cracks)
3. trincas na margem (toe cracks)
4. trincas transversais (transverse cracks)

Porosidade

A porosidade pode ocorrer de três modos.

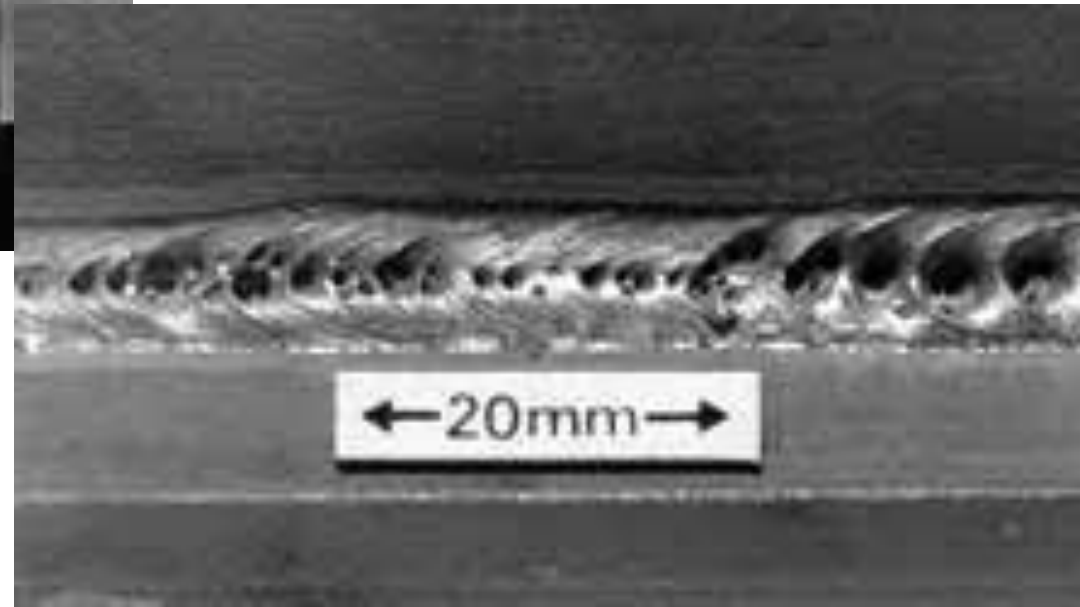
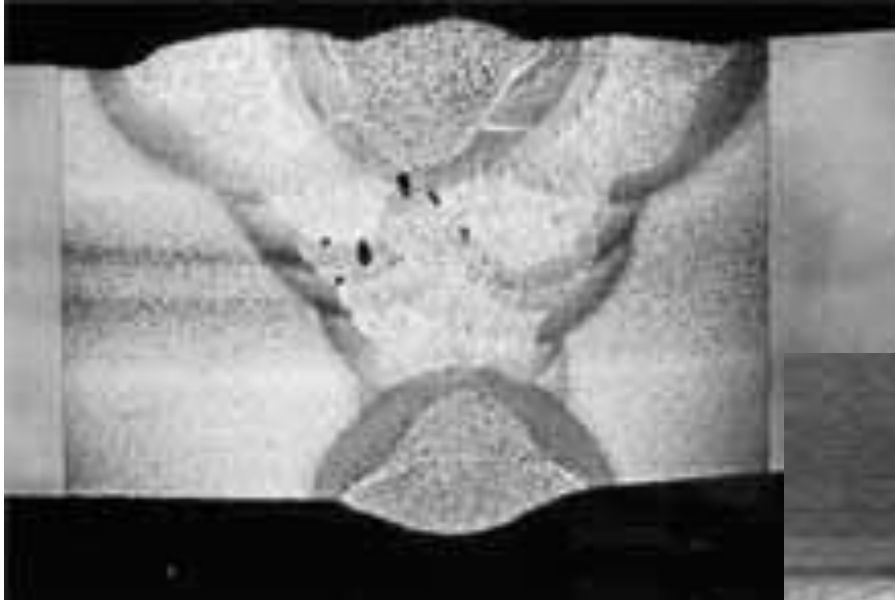
Primeiro, como resultado de reações químicas na poça de fusão, isto é, se uma poça de fusão de aço for inadequadamente desoxidada, os óxidos de ferro poderão reagir com o carbono presente para liberar monóxido de carbono (CO). A porosidade pode ocorrer no início do cordão de solda na soldagem manual com eletrodo revestido porque nesse ponto a proteção não é totalmente efetiva.

Segundo, pela expulsão de gás de solução à medida que a solda solidifica, como acontece na soldagem de ligas de Al quando o hidrogênio originado da umidade é absorvido pela poça e mais tarde liberado.

Terceiro, pelo aprisionamento de gases na base de poças de fusão turbulentas na soldagem com gás de proteção, ou o gás evoluído durante a soldagem do outro lado de uma junta em "T".

Porosidade

Costa Campos, 2009



A maioria desses efeitos pode ser facilmente evitada, embora a porosidade não seja um defeito excessivamente danoso às propriedades mecânicas, exceto quando aflora à superfície.

Quando isso acontece, pode favorecer a formação de entalhes que poderão causar falha prematura por fadiga, por exemplo.

Inclusões

Com processos que utilizam fluxo é possível que algumas partículas desse fluxo sejam deixadas para trás, formando inclusões no cordão de solda.

É mais provável de as inclusões ocorrerem entre passes subseqüentes ou entre o metal de solda e o chanfro do metal de base.

A causa mais comum é a limpeza inadequada entre passes agravada por uma técnica de soldagem ruim, com cordões de solda sem concordância entre si ou com o metal de base.

Assim como na porosidade, inclusões isoladas não são muito danosas às propriedades mecânicas, porém inclusões alinhadas em certas posições críticas como, por exemplo, na direção transversal à tensão aplicada, podem iniciar o processo de fratura.



Há outras formas de inclusões que são mais comuns em soldas de ligas não ferrosas ou de aços inoxidáveis do que em aços estruturais.

Inclusões de óxidos podem ser encontradas em soldas com gás de proteção onde o gás foi inadequadamente escolhido ou inclusões de tungstênio na soldagem *GTAW (TIG) com correntes muito altas para o diâmetro do eletrodo de tungstênio* ou quando este toca a peça de trabalho.

Freqüentemente também encontra-se inclusão de escoria devido a limpeza inadequada (eletrodo revestido e tubular).

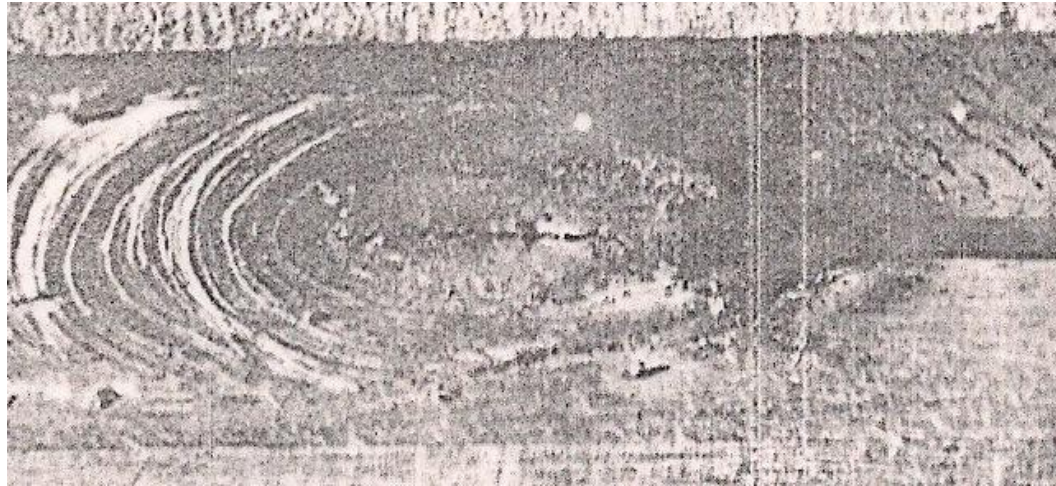
Defeitos de cratera

Se a fonte de calor for repentinamente removida, a poça fundida solidifica com um vazio que é denominado cratera.

Quanto maior for a velocidade de soldagem, mais alongado será o formato cordão.

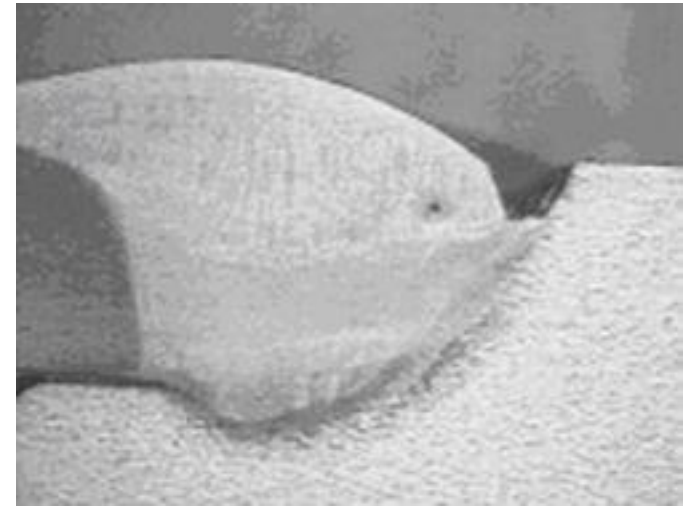
A cratera está sujeita a conter trincas de solidificação na forma de estrela.

Quanto maior for a velocidade de soldagem, mais alongado será o formato do cordão.



As técnicas de soldagem ao final do cordão de solda são desenvolvidas para corrigir esse fenômeno voltando o arco por alguns momentos para preencher a poça de fusão ou até mesmo reduzindo gradualmente a corrente enquanto se mantém o arco estático.

Falta de fusão



Esses são defeitos comuns fáceis de se evitar. A causa pode ser uma corrente de soldagem muito baixa ou uma velocidade de soldagem inadequada.

de Novais, 2010



Falta de fusão +++



de Novais, 2010

Defeitos na ZTA

Alguns dos defeitos que podem ocorrer na ZTA são:

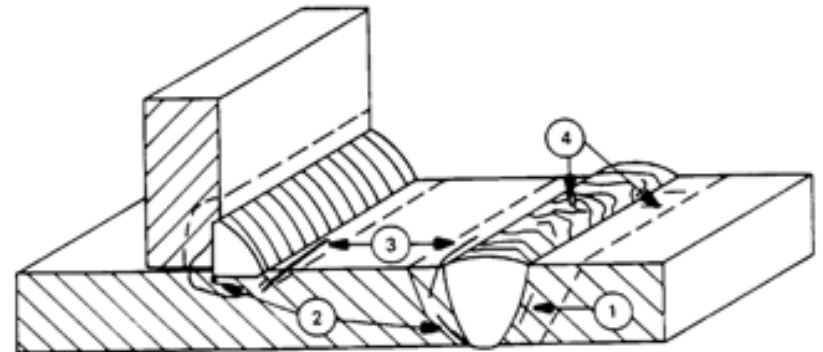
Fissuração por hidrogênio

Decoção lamelar

Trincas de reaquecimento

Fissuração por corrosão sob tensão

Trincas de liquação ou microfissura



1. trinca sob cordão (underbead crack)
2. trincas na raiz (root cracks)
3. trincas na margem (toe cracks)
4. trincas transversais (transverse cracks)

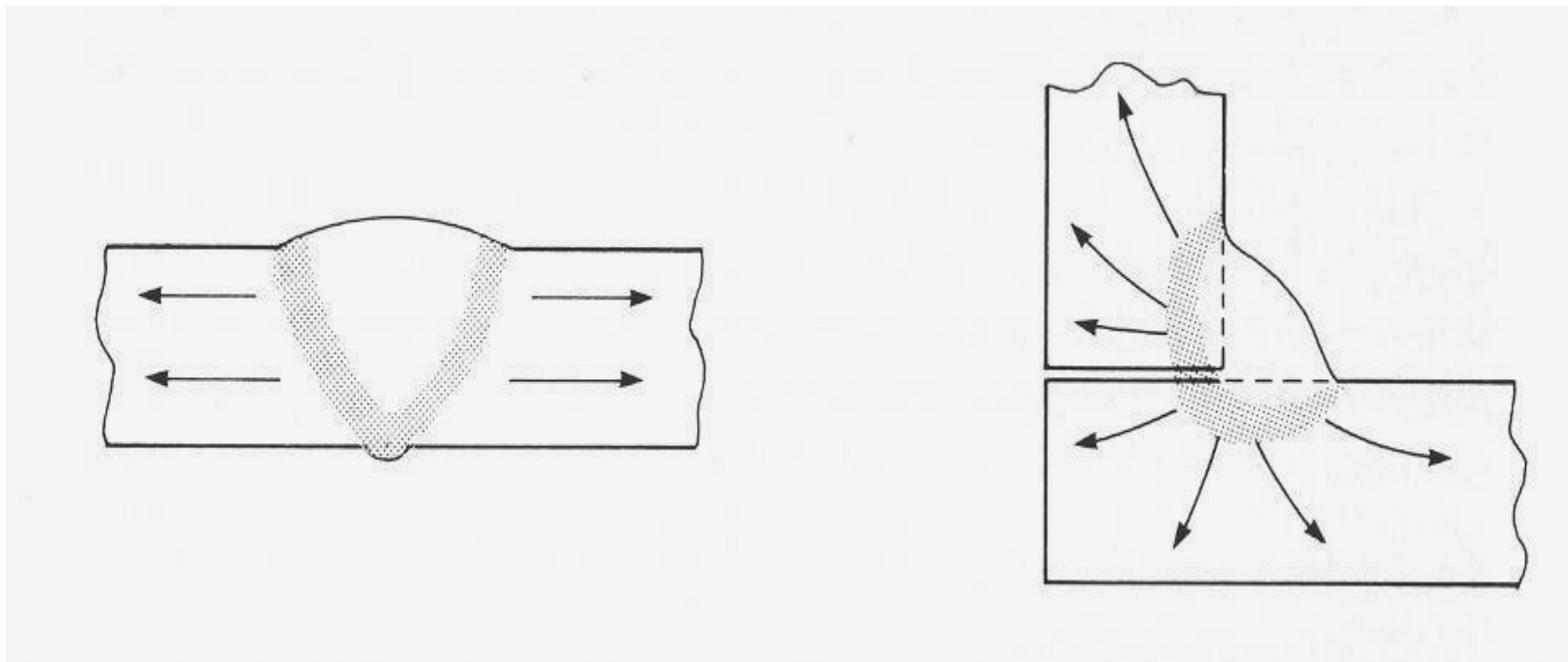
Fissuração por hidrogênio

Esse tipo de fissuração pode ocorrer numa microestrutura temperada suscetível à fissuração como a martensita, aliada à tensão aplicada.

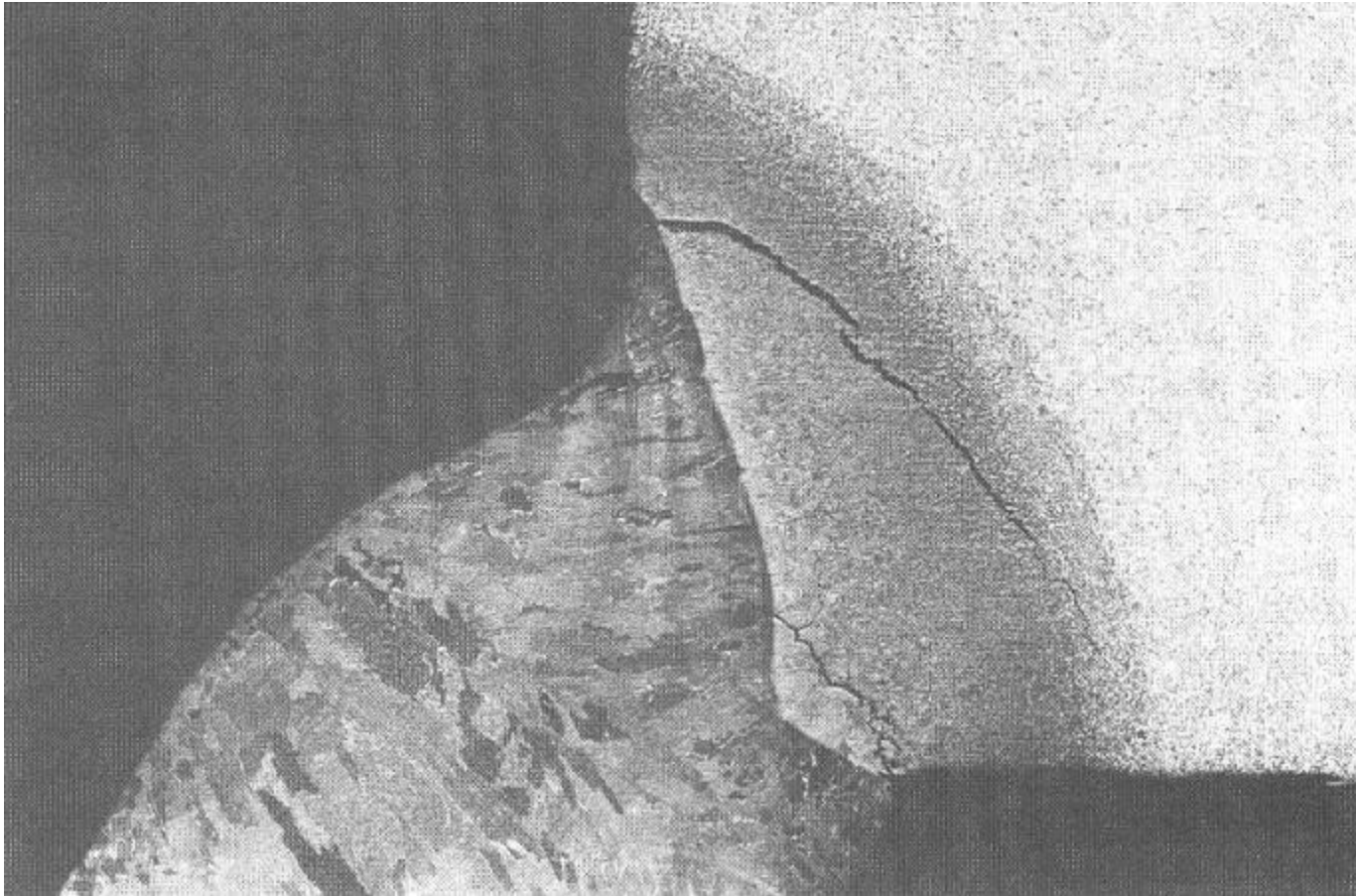
Para qualquer aço a dureza atingida na ZTA depende diretamente da taxa de resfriamento e quanto maior a taxa de resfriamento mais facilmente a estrutura pode trincar.

Um importante fator influenciando a taxa de resfriamento é a massa de material sendo soldada: quanto maior a espessura da junta, maior a velocidade de resfriamento.

O tipo de junta também afeta a taxa de resfriamento pelo número de caminhos ao longo dos quais o calor pode fluir. Numa junta de topo há dois caminhos. Por outro lado, numa junta em ângulo há três caminhos, de tal modo que um cordão de solda de mesmo tamanho nessa junta resfria-se mais rapidamente.

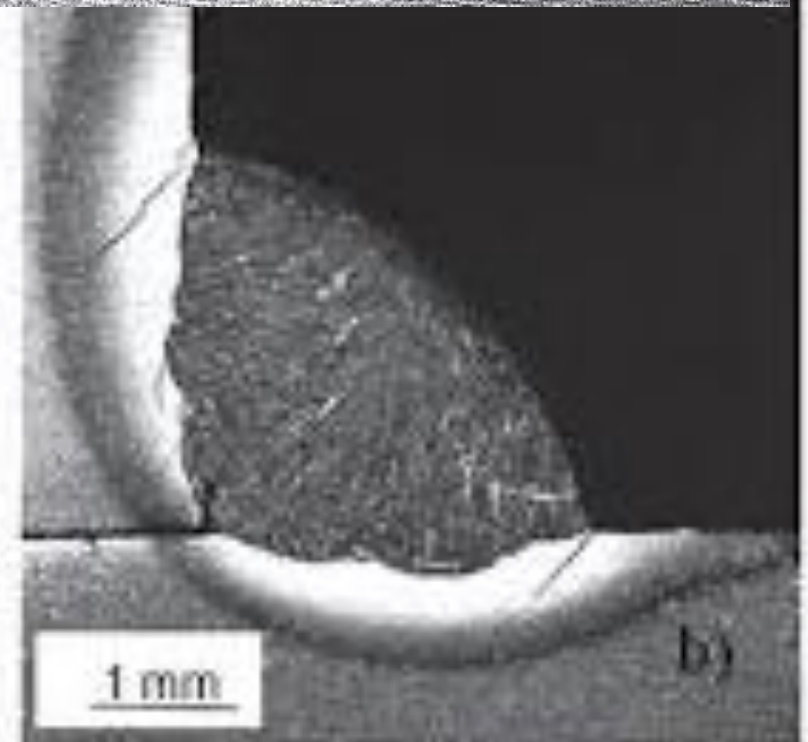
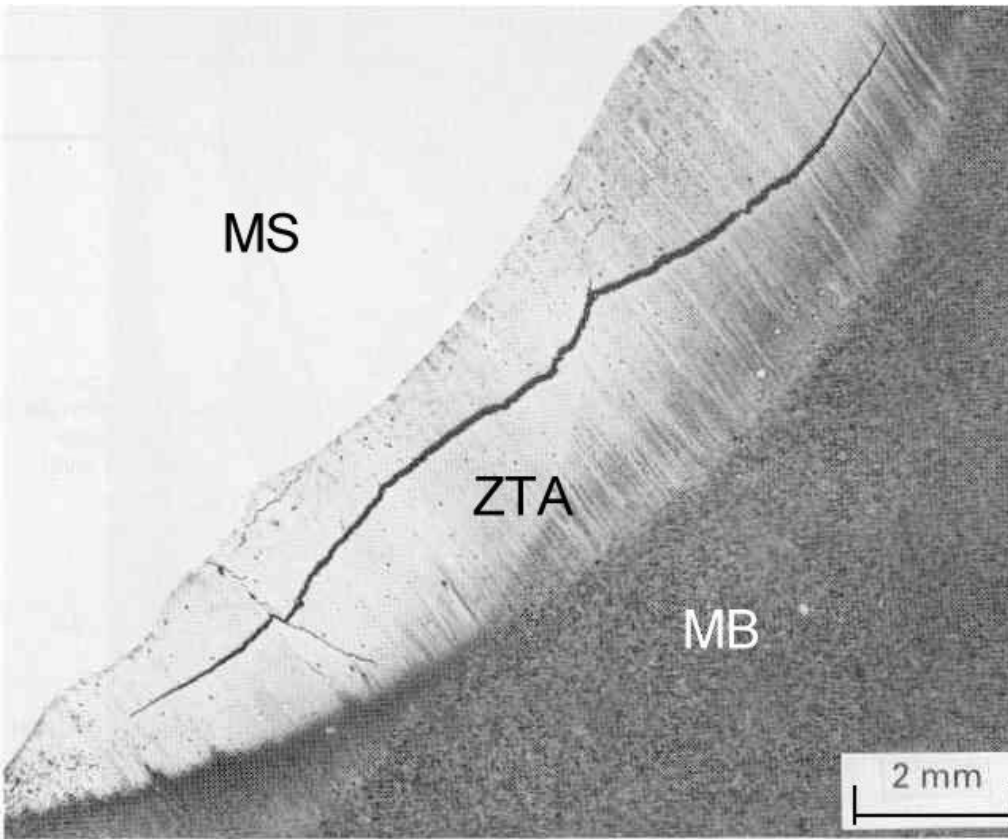


Caminhos do fluxo de calor em juntas de topo e em ângulo .



Trincas por hidrogênio na zona termicamente afetada numa junta em ângulo feita com um eletrodo rutílico.

Trincas por hidrogênio na zona termicamente afetada



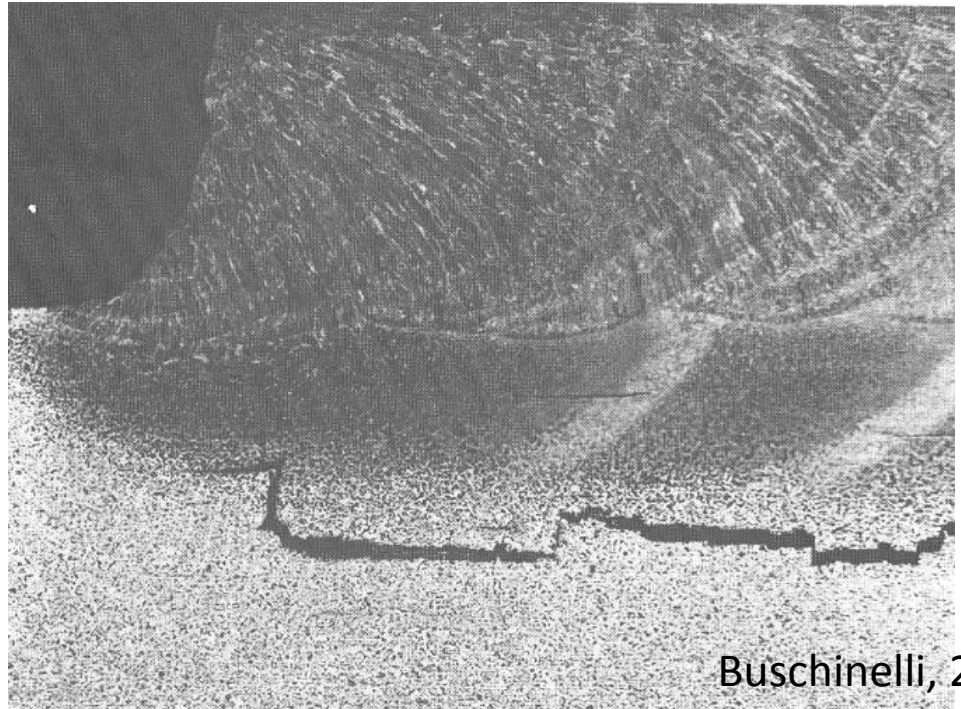
Decoesão lamelar

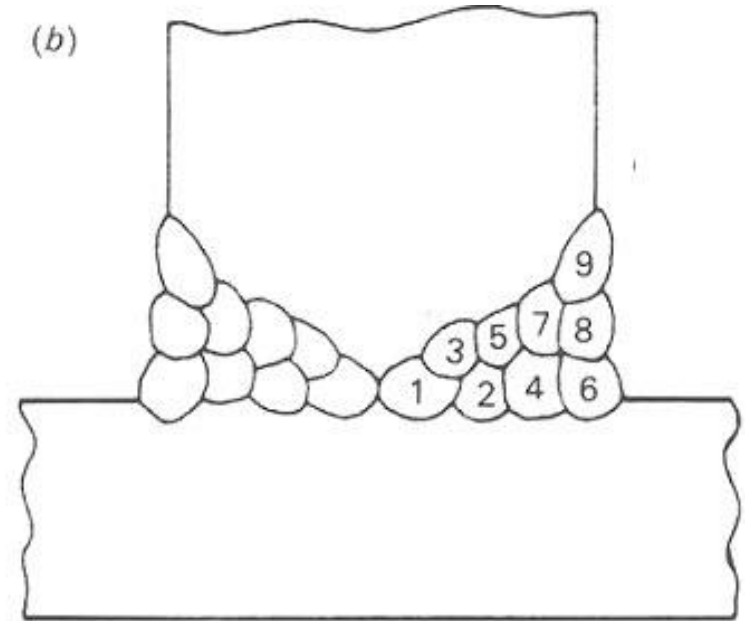
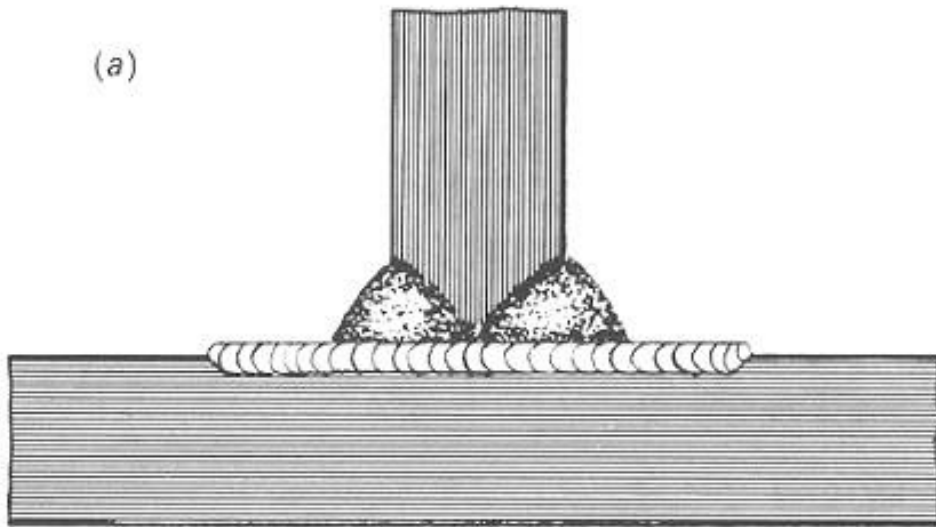
Esse defeito ocorre em chapas grossas como resultado de imperfeições no metal de base acentuadas pelas deformações de soldagem e projeto de junta inadequado.

Chapas de aço são provavelmente afetadas devido as suas pobres propriedades ao longo da espessura provenientes de regiões finas de inclusões não metálicas dispostas em camadas paralelas à superfície.

Essas são abertas pelas deformações de soldagem, formam trincas próximas à ZTA e se propagam na forma de degraus.

Decoesão lamelar na ZTA de uma junta de topo multipasse





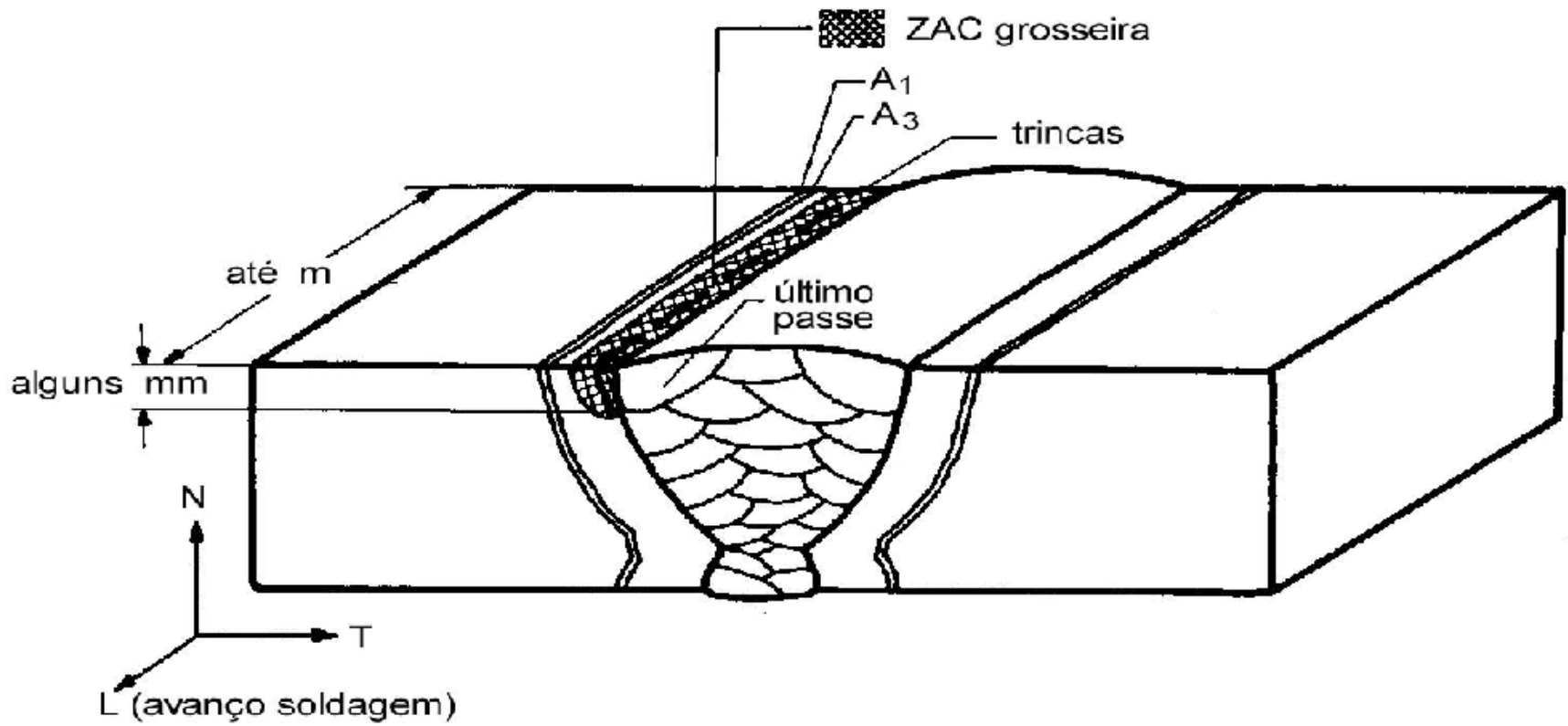
Princípios de *(a) almofadamento* e *(b) almofadamento durante a própria soldagem*

Trincas de reaquecimento

Esse fenômeno pode acontecer em alguns aços de baixa liga nos contornos de grão, normalmente na região de granulação grosseira da ZTA, após a solda ter entrado em serviço a altas temperaturas ou ter sido tratada termicamente.

As causas reais para esse fenômeno são complexas e não estão completamente entendidas, mas o mecanismo pode envolver endurecimento no interior dos grãos pelos formadores de carbonetos como cromo, molibdênio e vanádio, concentrando a deformação nos contornos de grão que, se contiverem impurezas como enxofre, fósforo, poderá haver colapso nessas regiões.

TRINCAS DE REAQUECIMENTO



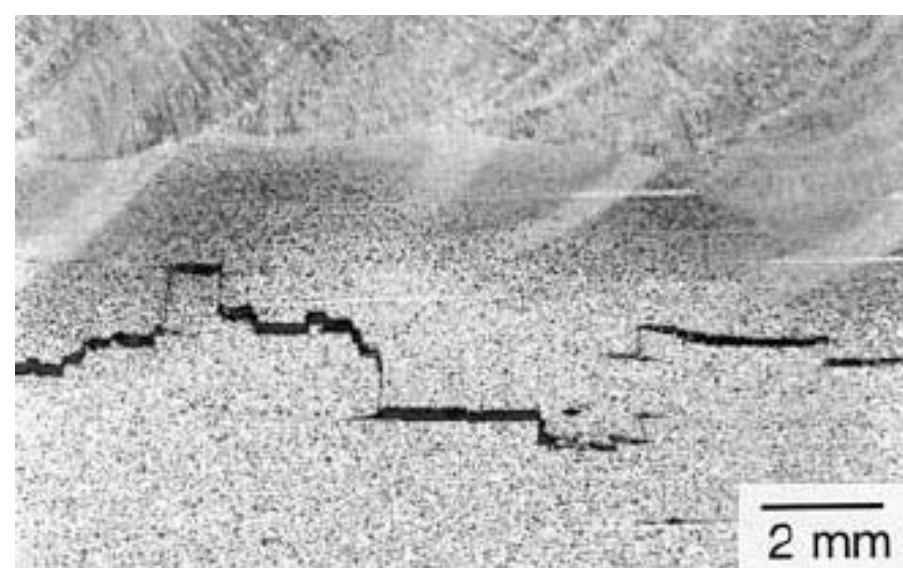
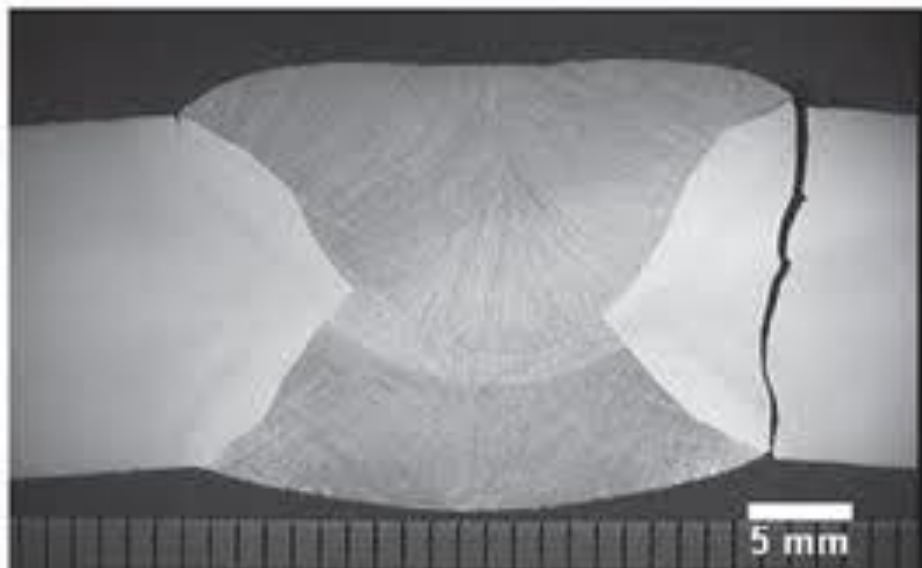
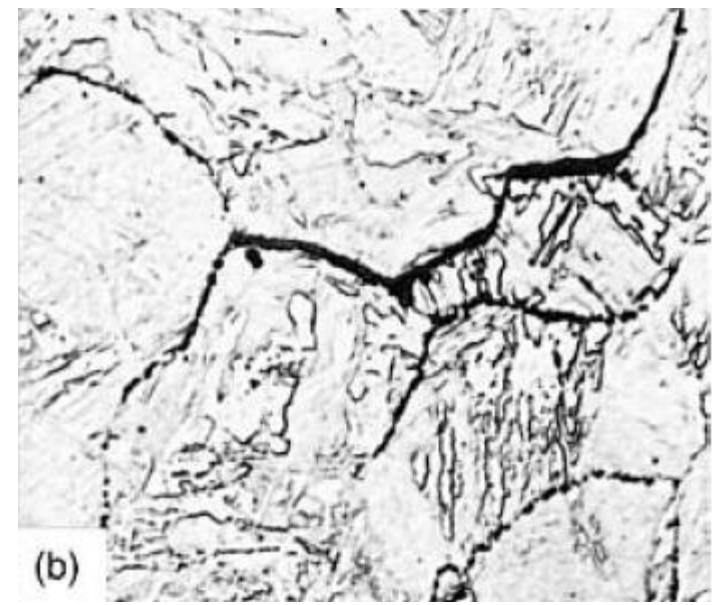
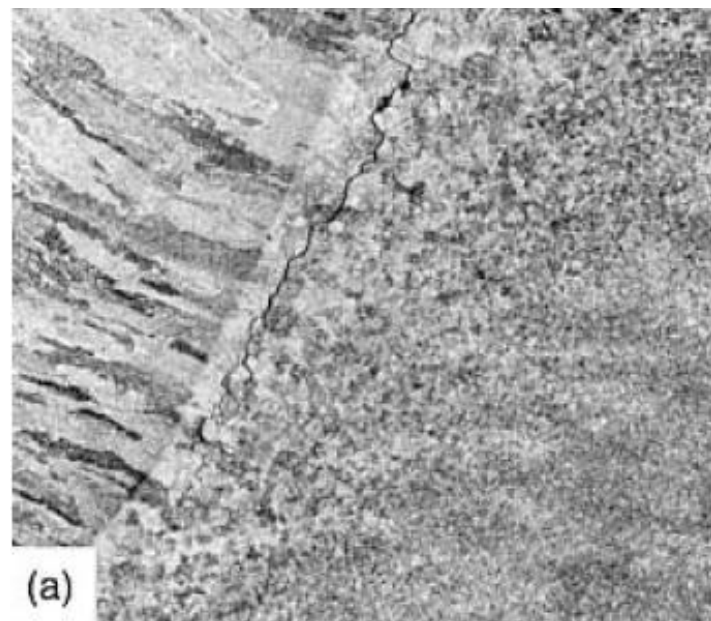


Figura 2. Trincas por fadiga adjacente a solda [8].

C-Mn steel weld



Trincas de reahecimento em aço CrMoV

Buschinelli, 2011

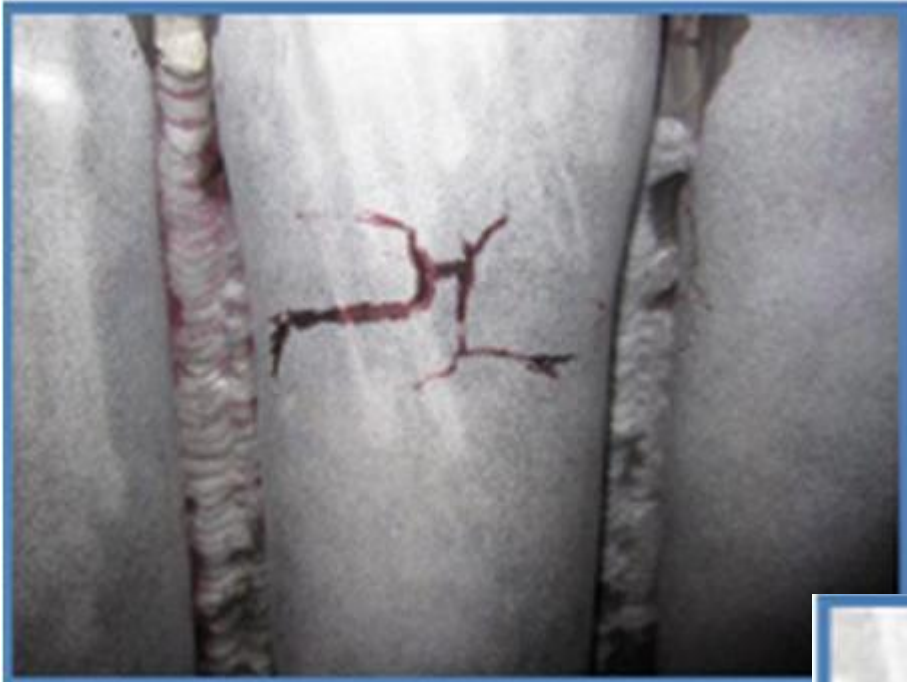
Fissuração por corrosão sob tensão - CST

É uma forma de fissuração que pode ocorrer em muitos materiais e está usualmente associada à presença de um meio corrosivo como, por exemplo, sulfeto de hidrogênio (H₂S), podendo atacar a região endurecida da ZTA em tubulações de aço.

Por isso é especificada muitas vezes uma dureza máxima. Precauções gerais contra a CST incluem a seleção cuidadosa do metal de base e de um tratamento pós-soldagem adequado para reduzir as tensões e colocar a ZTA em sua condição microestrutural mais adequada.

Corrosão sob tensão





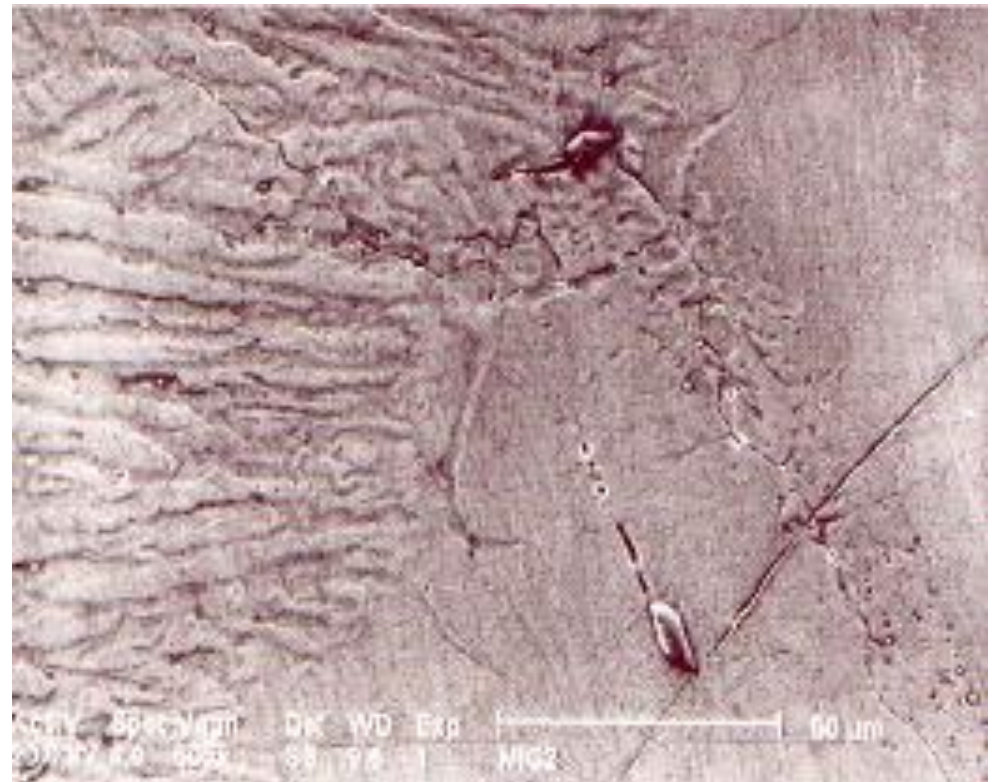
Corrosão sob tensão



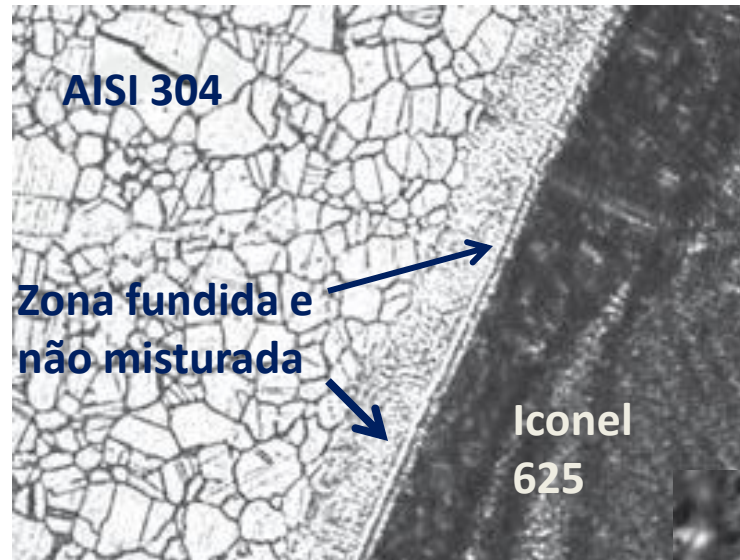
Trincas de liquação

Outros possíveis defeitos na ZTA incluem trincas de liquação causadas pela fusão de constituintes de baixo ponto de fusão presentes nos contornos de grão, resultando em microtrincas que podem posteriormente formar sítios de propagação de trincas maiores.

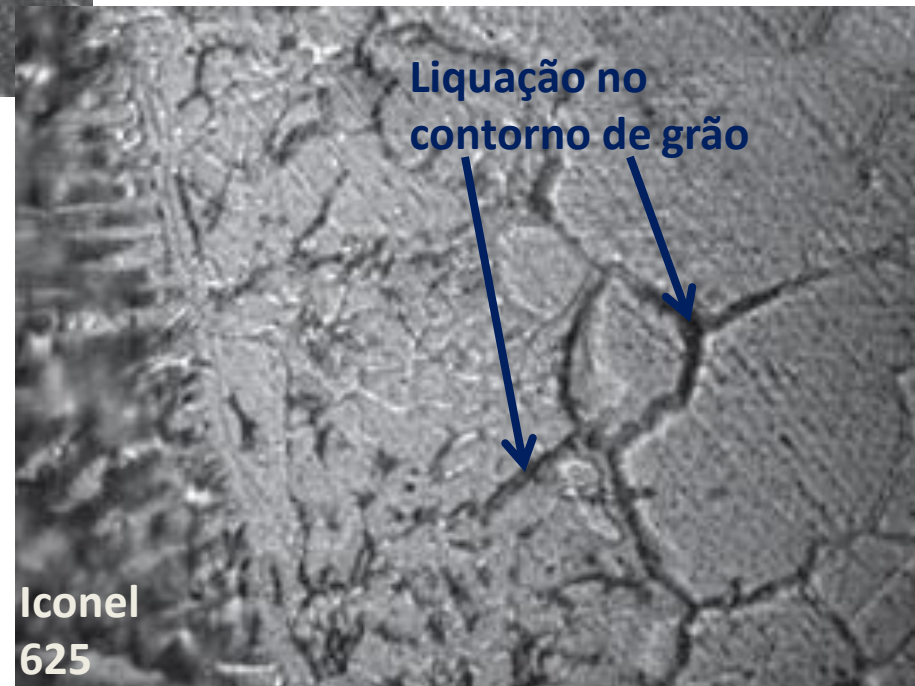
Microestrutura da zona de ligação mostrando a formação das microtrincas de liquação.



Paredes, 2001

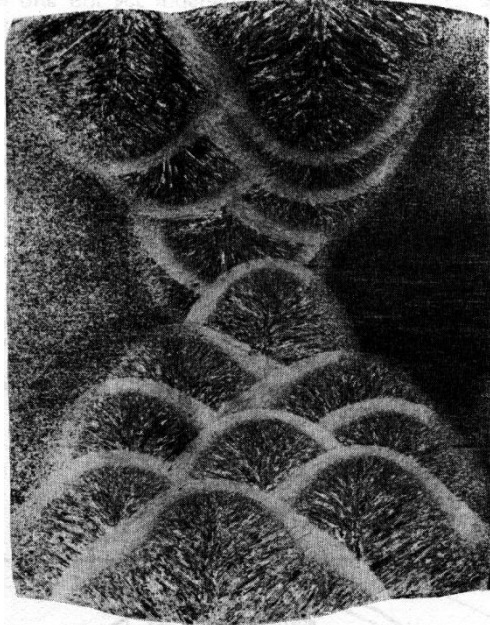
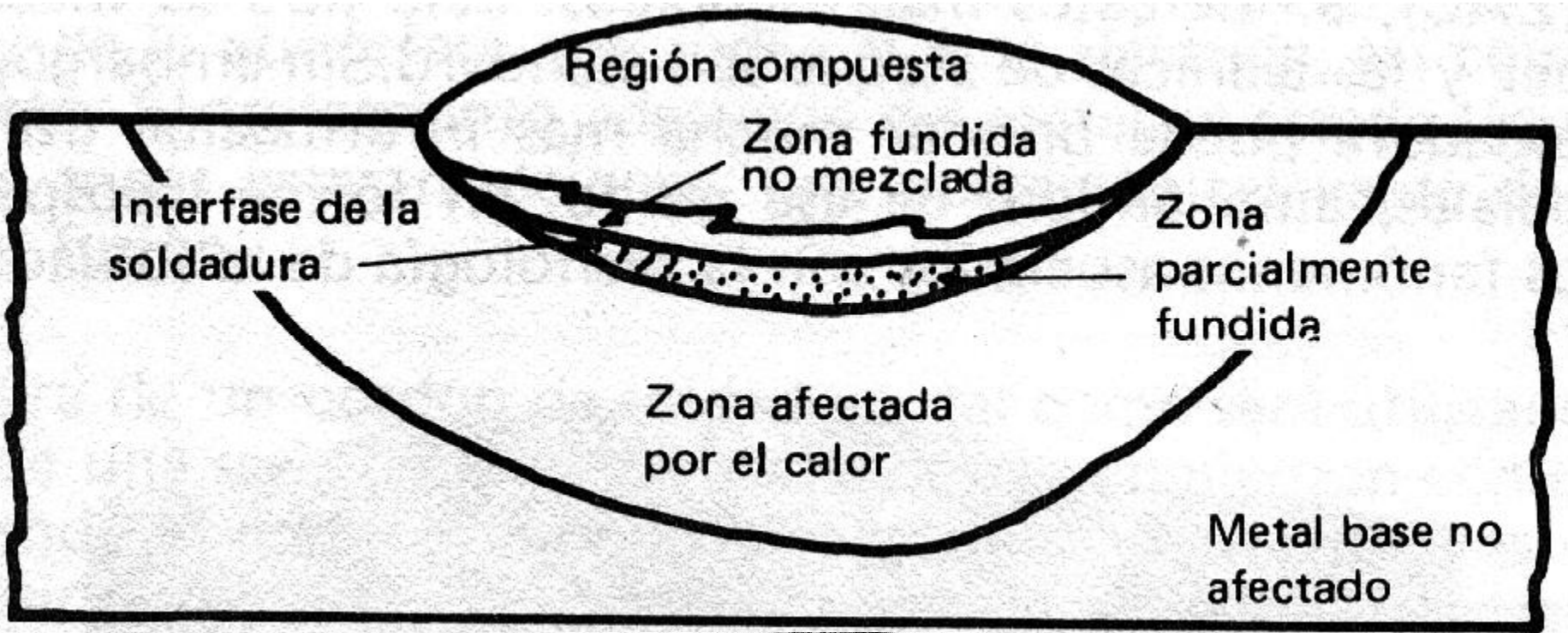


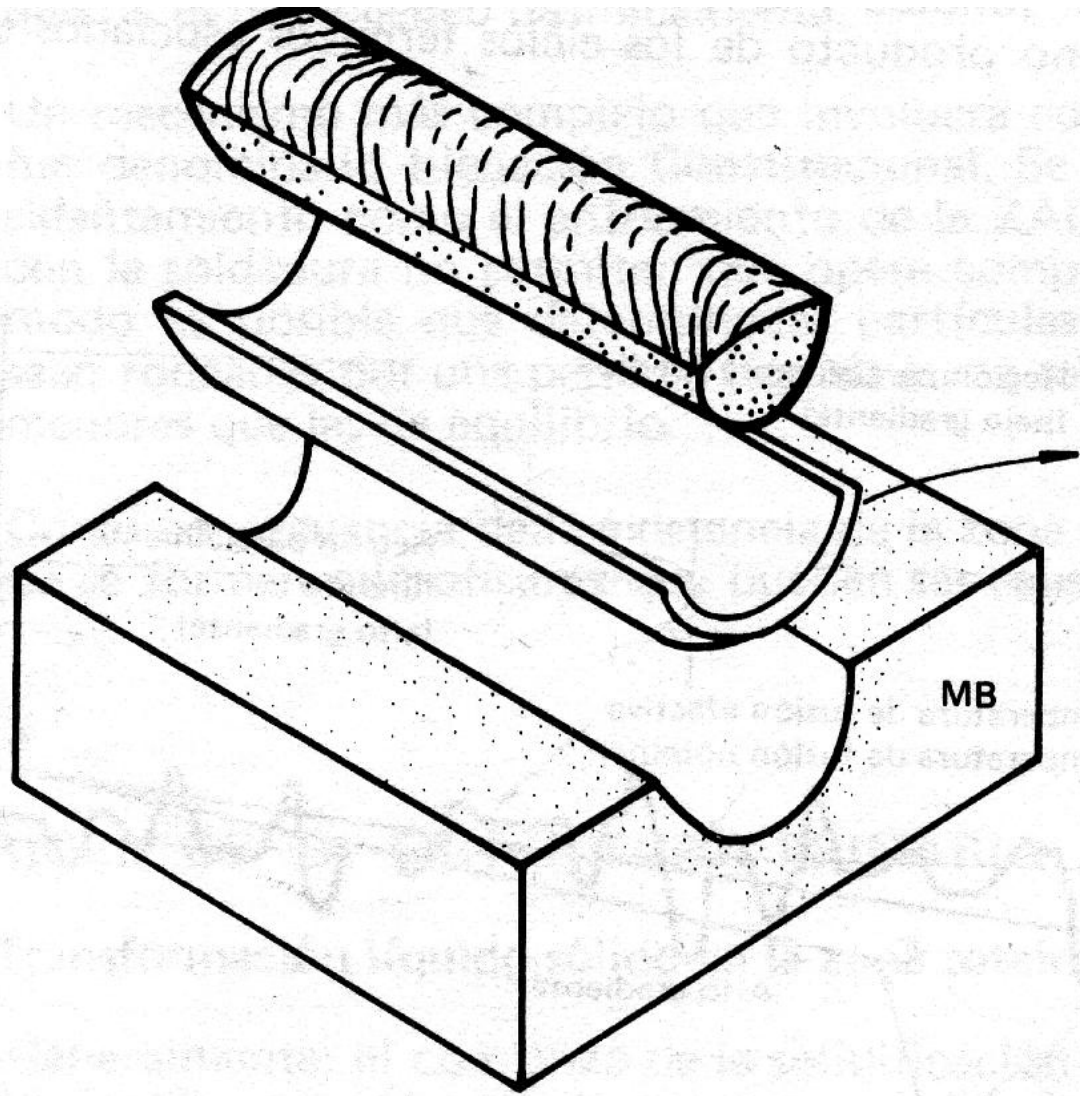
Trincas de liquação



Estrutura de solidificação numa união soldada

- zona totalmente fundida,
- zona de ligação misturada,
- zona fundida não misturada,
- zona parcialmente fundida,
- zona termicamente afetada.





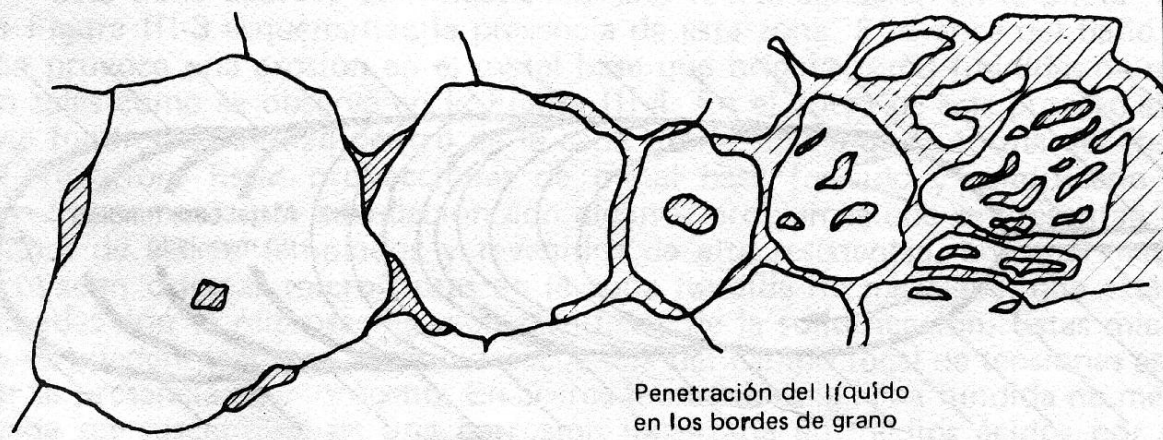
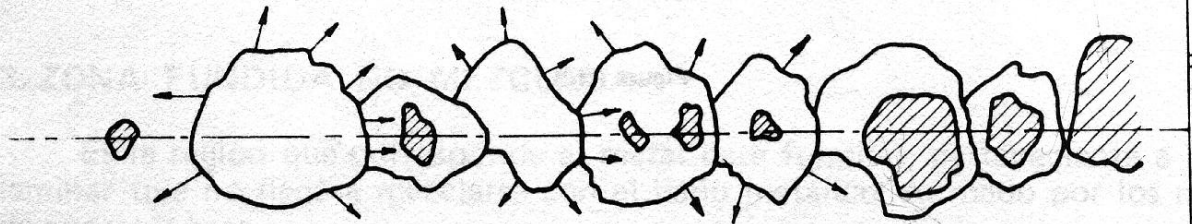
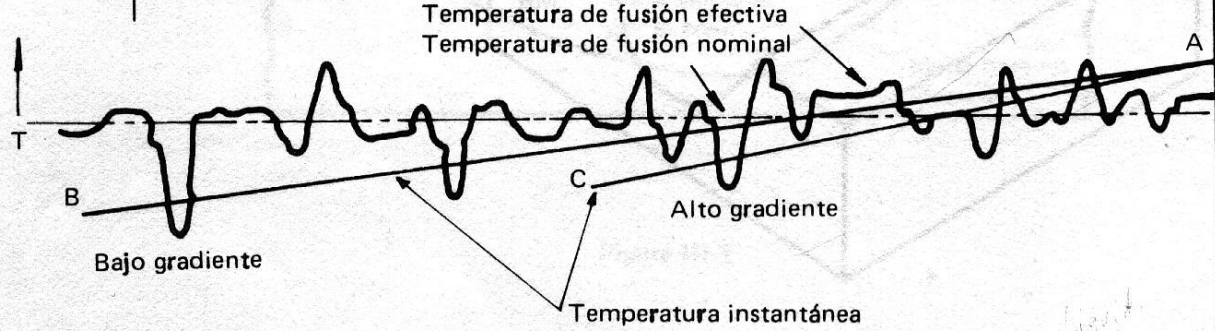
Zona não
misturada

MB

Comienzo de la zona afectada por el calor

Región parcialmente fundida (bajo gradiente)

Región parcialmente fundida (alto gradiente)



Línea de fusión

Referências

- 1) Paulo Rogerio Santos de Novais. Avaliação das principais descontinuidades encontradas nas juntas soldadas, causas e possíveis soluções - Contribuição técnica nº 9. ABCM Associação Brasileira de Construção Mecânica 2010.
- 2) Augusto Buschinelli Et.al. TRINCAS A FRIO INDUZIDAS PELO HIDROGÊNIO - métodos para determinação do pré-aquecimento – UFSC 2011
- 3) *Wagner Reis da Costa Campos , ET AL. CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE SOLDA DISSIMILAR - AÇO INOXIDÁVEL AUSTENITÍCO AISI 304 COM ADIÇÃO DE LIGA DE NÍQUEL INCONEL 625. T ecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 6, n. 1, p. 19-23, jul.-set. 2009*
- 4) Celso Ricardo Corrêa - Consultor de Manutenção. Detecção de Trincas e Substituição de Tubos Compostos em Caldeira de Recuperação. 2011.
- 5) ESAB – Metalurgia da Soldagem 2004.