

# BÁSICO EM FRATURA E FADIGA – PARTE III

**Metalurgista Industrial**

setembro 2019

[www.metalurgistaindustrial.com.br](http://www.metalurgistaindustrial.com.br)

Fadiga é o dano estrutural progressivo e localizado que ocorre quando um material é submetido a ciclos alternados ou flutuantes (dinâmicos) de deformação a tensões nominais de valores máximos inferiores aos limites de escoamento estático deste material. As tensões resultantes são ainda bem abaixo dos limites de ruptura, mas mesmo assim conduzirão a falhas catastróficas.

As principais características da fadiga são:

- (i) o longo período de deformação cíclica, tipicamente muito mais do que 100.000 ciclos de carga, daí a designação fadiga,
- (ii) sua responsabilidade por aprox. 90% das falhas em metais, e
- (iii) sua semelhança com fraturas frágeis mesmo em metais dúcteis, pois associam pouca ou nenhuma deformação plástica associada.

O processo ocorre por iniciação e propagação de trincas e a superfície de fratura é comumente perpendicular à direção da tensão aplicada.

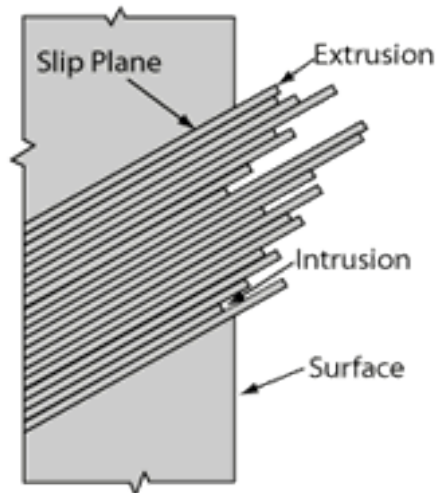
Os mecanismos de falhas devidas à fadiga envolvem:

- (i) a iniciação de trincas em pontos de altas tensões (amplificadores de tensão), e
- (ii) propagação incremental em cada ciclo e (iii) falha final por fratura.

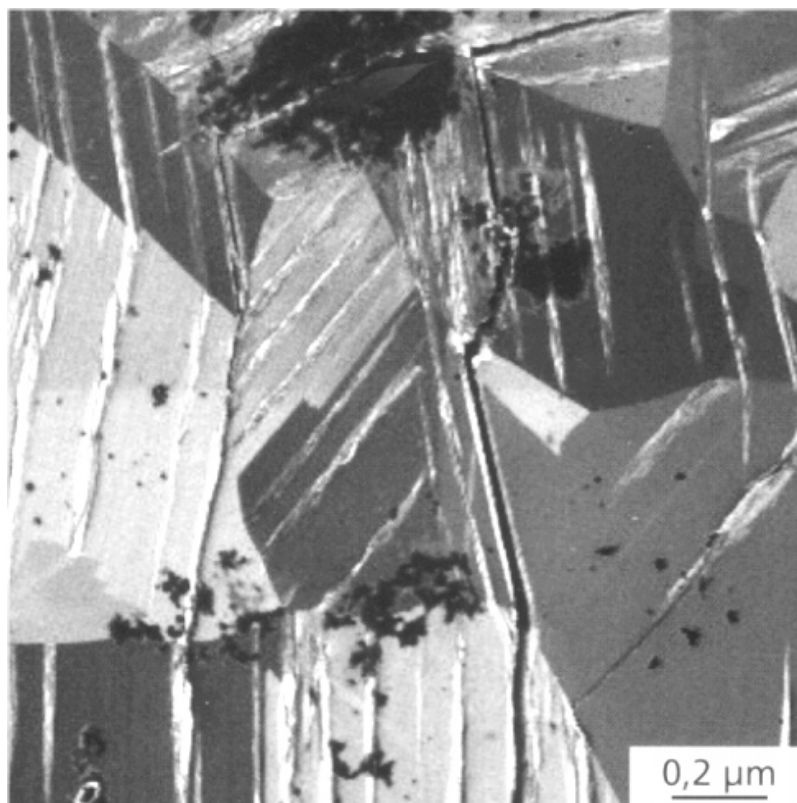
As discordâncias exercem um papel principal na fase de iniciação de trincas. Cabe lembrar que deformações plásticas em cristais são promovidas pelo movimento de discordâncias através destes cristais. Mas tensões de magnitude insuficiente para mover discordâncias através de um cristal, ou seja, aquelas abaixo do limite de escoamento, podem ser ainda suficientes para mover localizadamente discordâncias no cristal.

Discordâncias, então, acumulam-se na proximidade de concentradores de tensão na superfície do material como rugosidades, entalhes e poros, e formam bandas permanentes de deformação após um longo ciclo de carregamentos.

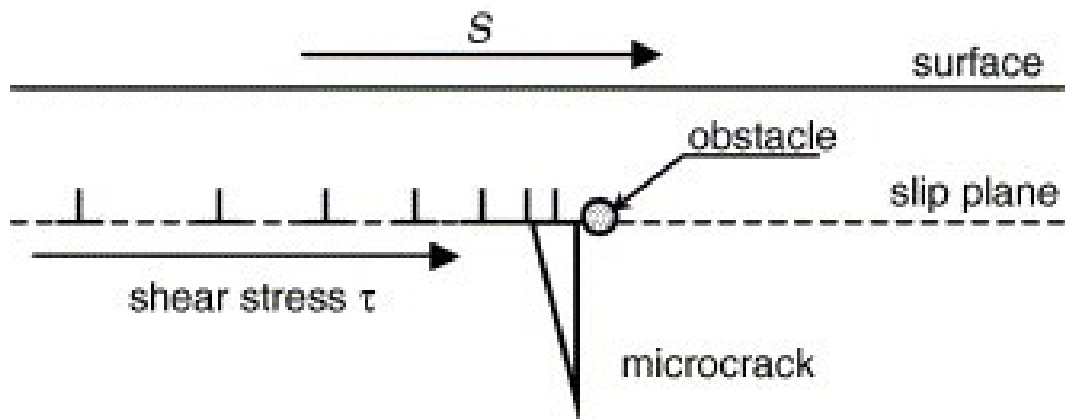
Essas bandas são regiões de extrusão e intrusão na superfície do material devidas ao movimento deste ao longo dos planos de deslizamento, que formam finos degraus na superfície que atuam como amplificadores de tensão onde microtrincas se iniciam.



A figura a seguir exibe bandas de deslizamento protuberantes de grãos de uma amostra de níquel fatigada e uma trinca. Todos esses fenômenos não se limitam ao redor de áreas superficiais mais suscetíveis, mas também no interior dos materiais em defeitos igualmente amplificadores de tensão como microtrincas, poros e precipitados.

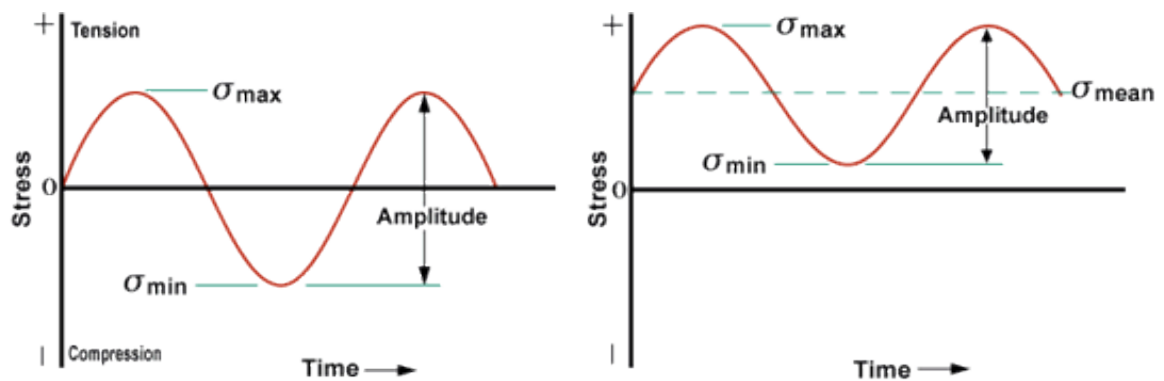


Um mecanismo de formação de microtrincas em escala manométrica (menores do que 100nm, mais apropriadamente chamadas nanotrincas) é a seguir ilustrado, as denominadas trincas de Zener-Stroh, que emergem por empilhamentos de discordâncias em uma barreira intransponível:



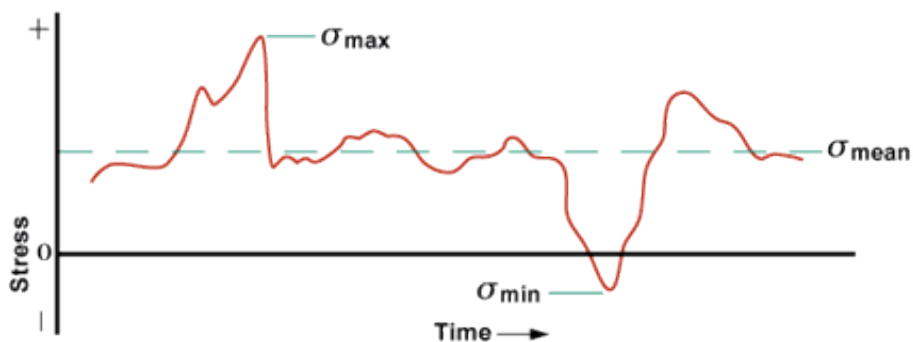
Na segunda etapa do processo de fadiga, microtrincas coalescem-se e começam a propagar através do material. Com a continuado carregamento cíclico, o crescimento das trincas progride até que a seção ainda íntegra do material não consegue mais aguentar a carga imposta e experimenta uma rápida fratura.

Há vários tipos de tensões flutuantes, os mais comuns são indicados na figura a seguir. O ciclo sinusoidal de tensão/compressão é o comumente utilizado para testes de fadiga. Uma máquina de ensaio de fadiga é ilustrada em prosseguimento.

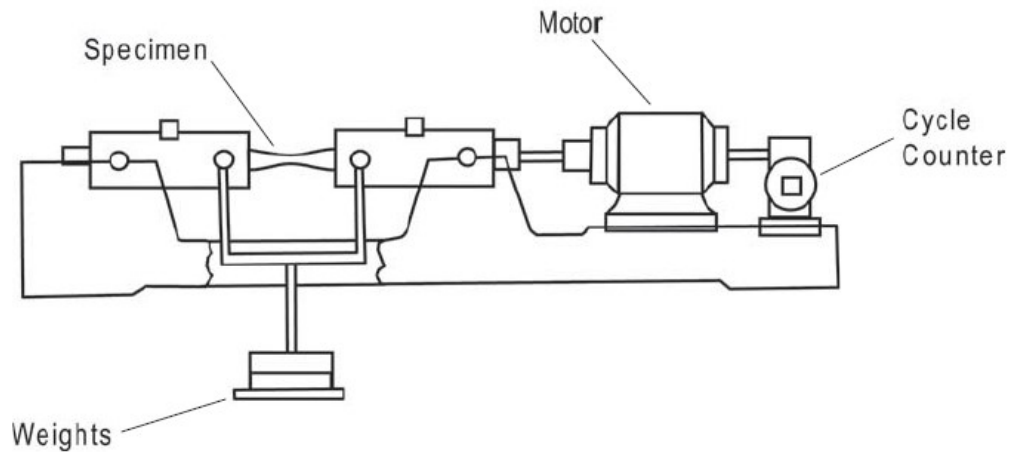


**Tension/Compression Loading**

**Tension/Tension Loading**



**Spectrum Loading**



### Curva S-N (curva de Wöhler)

Em situações de altos ciclos de fadiga, o desempenho dos materiais é caracterizado pelas curvas S-N, que plotam dados de tensão versus o logaritmo do número N de ciclos até a falha de cada amostra testada.

Vida útil à fadiga é o número de ciclos até a falha sob um nível especificado de tensões. Resistência à fadiga, também referida como *endurance limit* (limite de fadiga), é a tensão abaixo da qual não ocorre falha.

Uma comparação entre curvas S-N para aço e alumínio é mostrada na figura abaixo. Observa-se que o aço não apenas detém uma maior resistência à fadiga do que o alumínio, como também apresenta resistência à fadiga (*endurance limit*). Abaixo de um certo nível de tensão, o aço nunca falhará devido somente a uma carga cíclica. Por sua vez, o alumínio não apresenta um limite de resistência (*no endurance limit*), e sempre falhará se submetido a teste com um número de ciclos suficiente para tal.

