

Ensaio de fadiga

Introdução

Em condições normais de uso, os produtos devem sofrer esforços abaixo do limite de proporcionalidade, ou limite elástico, que corresponde à tensão máxima que o material pode suportar.

Em geral, os fabricantes especificam o produto para suportar esforços acima desse limite, ensaiam os materiais, controlam o processo de produção e tomam todos os cuidados para que o produto não apresente qualquer problema.

Apesar de todas essas precauções, é possível que, após algum tempo de uso normal, de repente, sem aviso prévio e sem motivo aparente, o produto simplesmente venha a falhar, deixando o usuário na mão.

Essa falha é típica de um fenômeno chamado **fadiga**, que é o assunto desta aula. Você ficará sabendo o que é fadiga, como se determina a resistência à fadiga, como são apresentados os resultados deste ensaio, que fatores influenciam a resistência dos metais à fadiga e o que pode ser feito para melhorar essa resistência.

Não se deixe vencer pela fadiga! Estude com atenção, e ao final da aula você terá adquirido uma visão geral de um tipo de ensaio de importância fundamental nas indústrias.

Nossa aula

Quando começa a fadiga

Você já sabe que toda máquina é constituída por um conjunto de componentes. No uso normal, nunca ocorre de todos os componentes falharem ao mesmo tempo. Isso porque cada um tem características próprias, uma das quais é o tempo de vida útil esperado.

O ensaio de resistência à fadiga é um meio de especificar limites de tensão e de tempo de uso de uma peça ou elemento de máquina. É utilizado também para definir aplicações de materiais.

É sempre preferível ensaiar a própria peça, feita em condições normais de produção. Molas, barras de torção, rodas de automóveis, pontas de eixo etc. são exemplos de produtos normalmente submetidos a ensaio de fadiga.

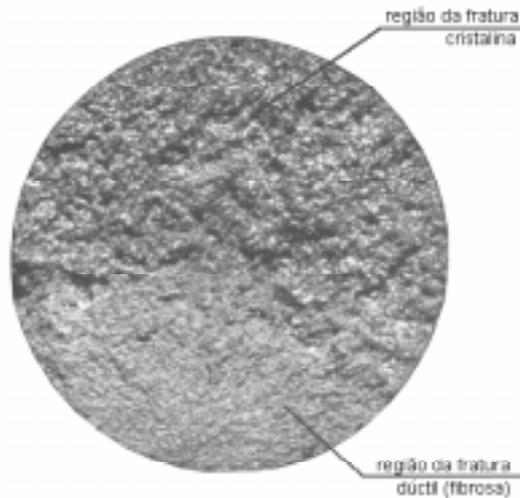
Quando não é possível o ensaio no próprio produto, ou se deseja comparar materiais, o ensaio é feito em corpos de prova padronizados.

Leia com atenção:

Fadiga é a ruptura de componentes, sob uma carga bem inferior à carga máxima suportada pelo material, devido a solicitações **cíclicas repetidas**.

A ruptura por fadiga começa a partir de uma trinca (nucleação) ou pequena falha superficial, que se propaga ampliando seu tamanho, devido às solicitações cíclicas. Quando a trinca aumenta de tamanho, o suficiente para que o restante do material não suporte mais o esforço que está sendo aplicado, a peça se rompe repentinamente.

A fratura por fadiga é típica: geralmente apresenta-se fibrosa na região da propagação da trinca e cristalina na região da ruptura repentina.



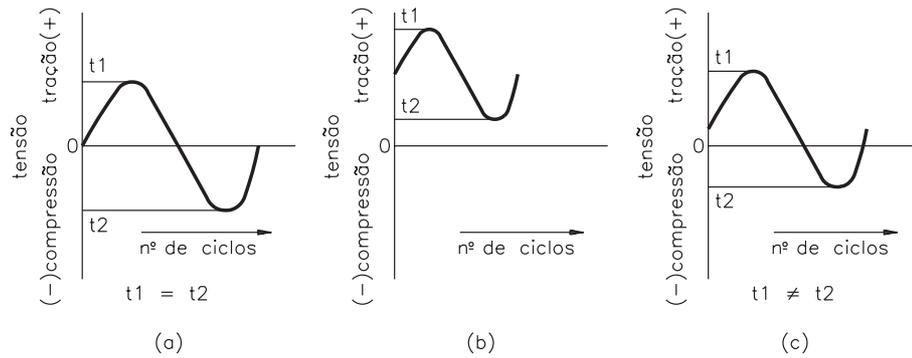
Você pode observar aproximadamente o que acontece na fadiga, dobrando repetidamente um pedaço de arame de aço. Após dobrar algumas vezes, se você observar atentamente, notará algumas pequenas trincas. Se continuar dobrando, observará que a trinca aumenta de tamanho até ocorrer a ruptura do arame.

O estudo da fadiga é importante porque a grande maioria das falhas de componentes de máquinas, em serviço, se deve à fadiga. E a ruptura por fadiga ocorre sem nenhum aviso prévio, ou seja, num dado momento a máquina está funcionando perfeitamente e, no instante seguinte, ela falha.

Tensões cíclicas

Na definição de fadiga, destacou-se que ela se deve a esforços cíclicos repetidos. De maneira geral, peças sujeitas a fadiga estão submetidas a esforços que se repetem com regularidade. Trata-se das **tensões cíclicas**.

A tensão cíclica mais comum é caracterizada por uma **função senoidal**, onde os valores de tensão são representados no eixo das ordenadas e o número de ciclos no eixo das abscissas. As tensões de tração são representadas como positivas e as tensões de compressão como negativas. A figura a seguir apresenta três tipos de ciclos de tensão.



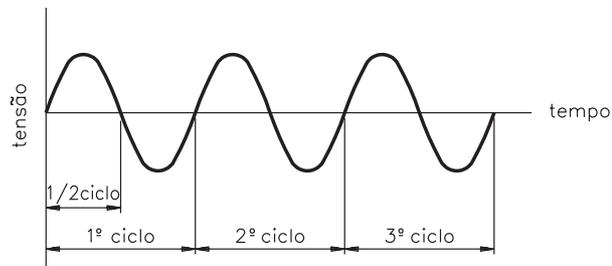
A figura **a** mostra um gráfico de tensão reversa, assim chamado porque as tensões de tração têm valor igual às tensões de compressão.

No gráfico **b** todas as tensões são positivas, ou seja, o corpo de prova está sempre submetido a uma tensão de tração, que oscila entre um valor máximo e um mínimo.

O gráfico **c** representa tensões positivas e negativas, como no primeiro caso, só que as tensões de compressão têm valores diferentes das tensões de tração.

Dica

Um ciclo de tensão corresponde a um conjunto sucessivo de valores de tensão, que se repete na mesma seqüência e no mesmo período de tempo.



Tipos de ensaio de fadiga

Os aparelhos de ensaio de fadiga são constituídos por um sistema de aplicação de cargas, que permite alterar a intensidade e o sentido do esforço, e por um contador de número de ciclos.

O teste é interrompido assim que o corpo de prova se rompe.

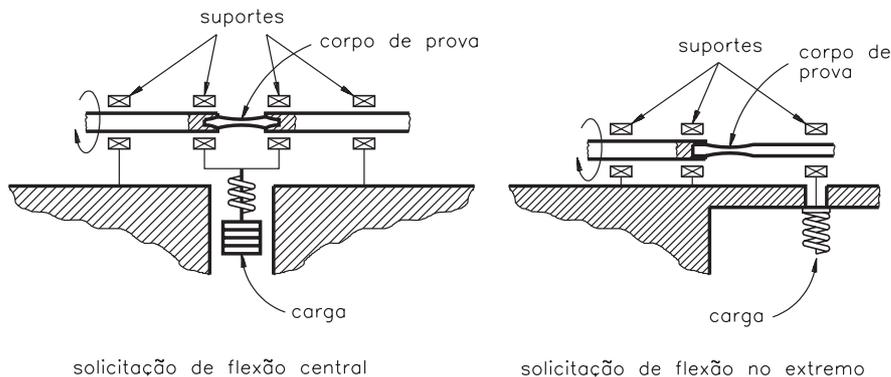
O ensaio é realizado de diversas maneiras, de acordo com o tipo de sollicitação que se deseja aplicar:

- torção;
- tração-compressão;
- flexão;
- flexão rotativa.



O ensaio mais usual, realizado em corpos de prova extraídos de barras ou perfis metálicos, é o de flexão rotativa.

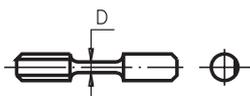
Este ensaio consiste em submeter um corpo de prova a solicitações de flexão, enquanto o mesmo é girado em torno de um eixo, por um sistema motriz com contágiros, numa rotação determinada e constante.



Corpo de prova

O corpo de prova deve ser usinado e ter bom acabamento superficial, para não prejudicar os resultados do ensaio. A forma e as dimensões do corpo de prova variam, e constituem especificações do fabricante do equipamento utilizado. O ambiente onde é feito o ensaio também é padronizado.

As formas mais utilizadas de corpo de prova são apresentadas nas figuras a seguir.



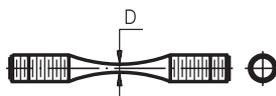
a) torção



b) flexão rotativa



c) flexão em chapa



c) tração compressão

Para uma mesma tensão, pode-se obter resultados de ensaio dispersos e que devem ser tratados estatisticamente. Mas, em geral, o ensaio é realizado em cerca de 10 corpos de prova, para cada um dos diversos níveis de tensão.

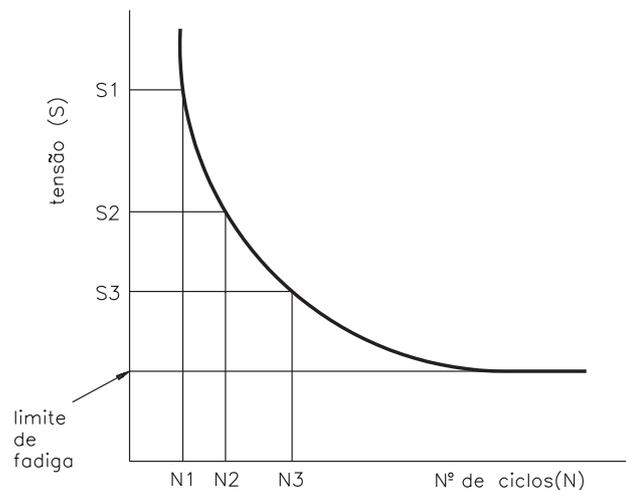
Curva S-N

Os resultados do ensaio de fadiga geralmente são apresentados numa **curva tensão-número de ciclos**, ou simplesmente **curva S-N**. O **S** vem da palavra inglesa *stress*, que quer dizer “tensão”, e **N** representa o número de ciclos.

Supondo que, para uma certa solitação de flexão S_1 o corpo de prova se rompa em um certo número de ciclos N_1 , e para uma solitação S_2 se rompa em N_2 ciclos, e assim por diante, pode-se construir o diagrama S-N, com a tensão no eixo das ordenadas e o número de ciclos no eixo das abscissas.

Observando a curva obtida, nota-se que, à medida que se diminui a tensão aplicada, o corpo de prova resiste a um maior número de ciclos. Nota-se, também, que diminuindo a tensão a partir de um certo nível – em que a curva se torna horizontal – o número de ciclos para o rompimento do corpo de prova torna-se praticamente infinito.

Esta tensão máxima, que praticamente não provoca mais a fratura por fadiga, chama-se **limite de fadiga** ou **resistência à fadiga** do metal considerado.



Mas, para a maioria dos materiais, especialmente os metais não ferrosos como o alumínio, a curva obtida no diagrama S-N é decrescente. Portanto, é necessário definir um número de ciclos para obter a correspondente tensão, que será chamada de resistência à fadiga.

Para o alumínio, cobre, magnésio e suas ligas, deve-se levar o ensaio a até 50 milhões de ciclos e, em alguns casos, a até 500 milhões de ciclos, para neste número definir a resistência à fadiga.

Fatores que influenciam a resistência à fadiga

Uma superfície mal acabada contém irregularidades que, como se fossem um entalhe, aumentam a concentração de tensões, resultando em tensões residuais que tendem a diminuir a resistência à fadiga.

Defeitos superficiais causados por polimento (queima superficial de carbono nos aços, recozimento superficial, trincas etc.) também diminuem a resistência à fadiga.

Tratamentos superficiais (cromação, niquelação etc.) diminuem a resistência à fadiga, por introduzirem grandes mudanças nas tensões residuais, além de conferirem porosidade ao metal. Por outro lado, tratamentos superficiais endurecedores podem aumentar a resistência à fadiga.

O limite de fadiga depende da composição, da estrutura granular, das condições de conformação mecânica, do tratamento térmico etc.

O tratamento térmico adequado aumenta não somente a resistência estática, como também o limite de fadiga.

O encruamento dos aços dúcteis aumenta o limite de fadiga.

O meio ambiente também influencia consideravelmente o limite de fadiga, pois a ação corrosiva de um meio químico acelera a velocidade de propagação da trinca.

A forma é um fator crítico, porque a resistência à fadiga é grandemente afetada por descontinuidades nas peças, como cantos vivos, encontros de paredes, mudança brusca de seções.

A resistência à fadiga pode ser melhorada

Sempre que possível, deve-se evitar a concentração de tensões. Por exemplo, um rasgo de chaveta num eixo é um elemento que concentra tensão e, conseqüentemente, diminui a resistência à fadiga.

Os projetos devem prever tensões contrárias favoráveis (opostas às tensões principais aplicadas), por meio de processos mecânicos, térmicos ou similares. Uma compensação deste tipo é encontrada em amortecedores de vibrações de motores a explosão.

Defeitos metalúrgicos como inclusões, poros, pontos moles etc. devem ser eliminados.

Deve-se selecionar os materiais metálicos de acordo com o ciclo de tensões: para aplicações com baixas tensões cíclicas, onde a deformação pode ser facilmente controlada, deve-se dar preferência a ligas de alta ductilidade. Para aplicações com elevadas tensões cíclicas, envolvendo deformações cíclicas predominantemente elásticas, deve-se preferir ligas de maior resistência mecânica.

Microestruturas estáveis, isto é, que não sofrem alterações espontâneas ao longo do tempo, apresentam maior resistência à fadiga.

De tudo que foi dito sobre fadiga nesta aula, você deve ter concluído que, no uso normal dos produtos, nós os submetemos permanentemente a ensaios de fadiga, que só terminam quando o produto falha.

Porém, a indústria tem que se preocupar com a fadiga **antes** de lançar o produto no mercado, pois este ensaio fornece informações que afetam diretamente a segurança do consumidor.

Exercícios

Marque com um X a resposta correta.

Exercício 1

A ruptura por fadiga ocorre quando o material está sujeito a:

- a) tensões superiores ao limite de proporcionalidade;
- b) tensões cíclicas repetitivas;
- c) tensões iguais ao limite de proporcionalidade;
- d) tensões estáticas.

Exercício 2

No gráfico de tensão reversa:

- a) as tensões de tração são positivas e as tensões de compressão são negativas;
- b) as tensões de tração são negativas e as tensões de compressão são positivas;
- c) todas as tensões são positivas;
- d) todas as tensões são negativas.

Exercício 3

São exemplos de fatores que **diminuem** a resistência à fadiga:

- a) tratamentos superficiais, descontinuidades na superfície;
- b) tratamento térmico, tratamentos superficiais endurecedores;
- c) meio ambiente isento de agentes corrosivos, bom acabamento superficial;
- d) encruamento dos aços dúcteis, formas sem cantos vivos.

Exercício 4

O ensaio de fadiga é baseado em esforços de:

- a) tração e torção;
- b) tração e compressão;
- c) flexão e torção;
- d) tração, compressão, torção e flexão.

Exercício 5

Na curva S-N, o limite de fadiga indica que:

- a) se for atingida aquela tensão, o corpo se romperá;
- b) mantendo aquela tensão indefinidamente, o corpo não se romperá;
- c) foi atingido o número máximo de ciclos que o material suporta;
- d) a partir deste limite, a curva é decrescente.

