

15.5.2 Interação Fluência-Fadiga

Aplicações práticas a altas temperaturas envolvem frequentemente fluência e fadiga, fenômenos que podem atuar em conjunto de forma sinérgica. Por exemplo, vários componentes de motores a jato de aeronaves experimentam períodos tanto de tensão flutuante como estável, devido à complexa situação das tensões térmicas causadas pelas grandes variações de temperatura combinadas com o carregamento cíclico, à medida que a aeronave voa à velocidade constante, muda de velocidade, desliga os motores etc. Os componentes de alta temperatura em reatores nucleares e em vasos de pressão também estão sujeitos à combinação da fluência e da fadiga.

Uma abordagem simples é somar as frações de vida devido à fluência e à fadiga. Desta forma, combina-se a regra de Palmgren-Miner, Equação 9.33, com a regra de fração de tempo, Equação 15.27:

$$\sum \frac{\Delta t_i}{t_{ri}} + \sum \frac{N_i}{N_{fi}} = 1 \quad (15.28)$$

Entretanto, esta aproximação é muito imprecisa, porque os processos físicos da fluência e da fadiga são distintos, não podendo se esperar que a simples adição dos efeitos isolados seja exata. Particularmente, nos metais de engenharia, o dano por fluência pode envolver a formação de trincas nos contornos dos grãos, enquanto o dano devido à porção associada à fadiga no carregamento, tipicamente, é concentrado em faixas de deslizamento de discordâncias dentro dos grãos cristalinos.

Onde a fluência e a fadiga interagem, a frequência do carregamento é importante, pois frequências menores oferecem mais tempo para a fluência contribuir para o dano. Uma abordagem desenvolvida com a consideração de tais efeitos é aquela da *fadiga modificada pela frequência*, de L. F. Coffin. As relações tensão-deformação cíclicas e deformação-vida são generalizadas de modo que as várias constantes do material envolvidas se tornam funções da temperatura e da frequência.

Mesmo os detalhes da variação temporal da tensão e da deformação podem ser importantes. Isso é ilustrado por alguns dados, na Figura 15.26, obtidos a partir de

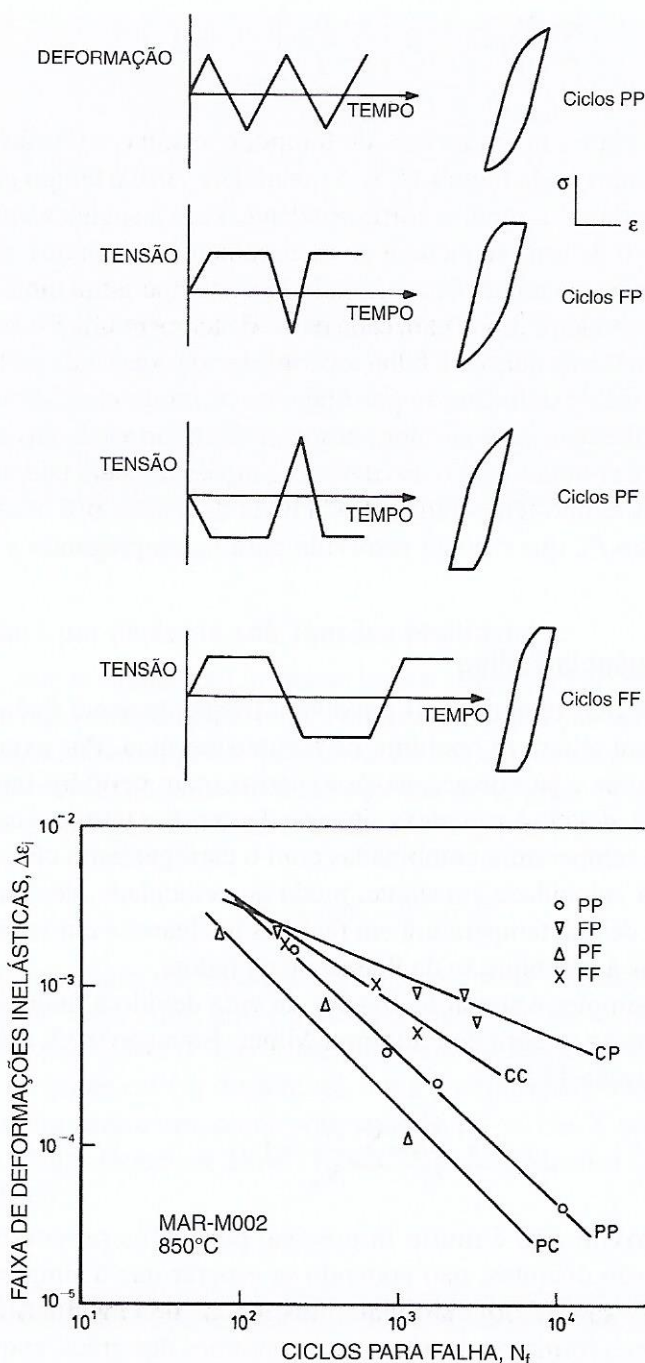


FIGURA 15.26 Efeito na vida da fluência intermitente em tensão, compressão, ou ambos, durante o carregamento cíclico de uma liga fundida à base de níquel MAR-M002 a 850 °C. Os ciclos de histerese de tensão-deformação têm as formas mostradas.

(Adaptado de [Antunes 78]; usado com permissão; publicado pela primeira vez pela Advisory Group for Aerospace Research & Development – AGARD/OTAN).

ensaios a altas temperaturas de um metal de engenharia. Quando comparados com base nas escalas de deformação inelásticas iguais (deformações por fluência e plásticas), as diferentes formas de onda tensão-tempo aplicadas podem gerar vidas cíclicas muito diferentes, o que resulta da complexidade do processo físico de geração de dano no

material. Por exemplo, o carregamento em fluência somente compressiva, chamado FP, às vezes é (mas nem sempre) o mais grave. Isso pode ocorrer quando um ambiente oxidante, talvez apenas o ar, faz com que uma camada superficial de óxido se forme durante o carregamento em fluência compressiva. Na sequência, o carregamento rápido em tração racha este óxido, levando ao trincamento precoce do metal exemplificado. Dados do tipo, mostrados na Figura 15.26, formam a base da abordagem por *particionamento do intervalo das deformações*, desenvolvida por S. S. Manson e colaboradores.

São executados quatro tipos de ensaios, aqueles que envolvem: principalmente deformação plástica e pouca fluência (PP), fluência principalmente em tração (FP), fluência principalmente em compressão (PF) e fluência em tensão e compressão (FF). As previsões de vida são feitas para componentes de engenharia com base nas frações de vida gastas em cada um dos tipos de carregamento.

Atualmente, não existe consenso quanto à melhor abordagem para a interação fluência-fadiga, sendo por isso uma área ativa de pesquisas. Consulte Penny & Marriot (1995) e Saxena (2003) para mais detalhes.