

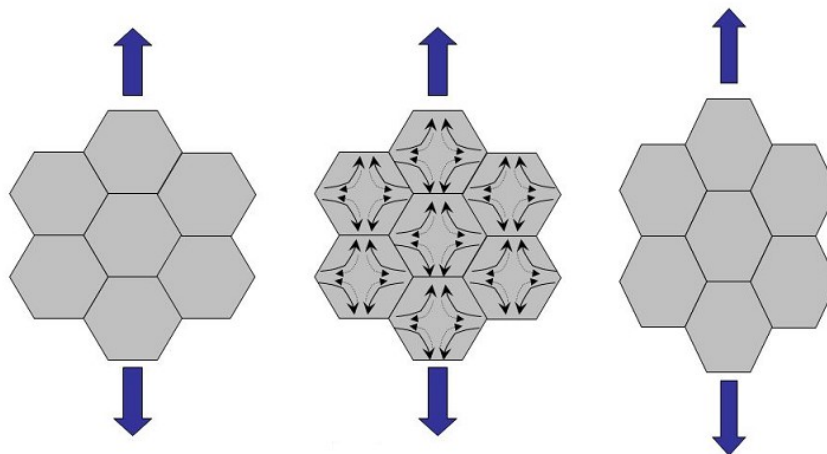
FLUÊNCIA

Na Resenha de Casos Degradação Estrutural em Termelétricas e Refinarias são mencionados os fenômenos de fadiga e fluência (*creep*) como mecanismos de degradação estrutural. A fadiga já foi tema de Resenha Técnica anterior, e nesta é abordada a fluência, que designa o fenômeno de deformação permanente e eventualmente fratura que pode ocorrer nos metais a elevadas temperaturas ao longo de um período de tempo quando submetidos a tensões bem abaixo do limite de escoamento.

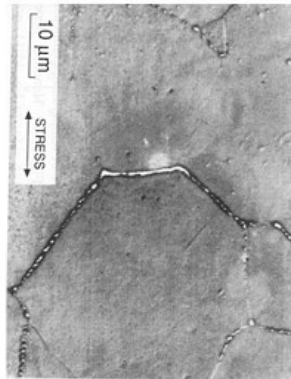
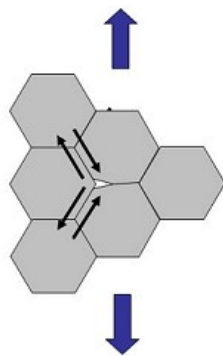
Tais deformações dependentes do tempo são mais severas a temperaturas mais próximas aos respectivos pontos de fusão. Na fluência, a ativação térmica permite a deformação plástica sob tensões inferiores àquelas necessárias à deformação das redes cristalinas sem ativação térmica. Um metal submetido a uma carga constante de tensão a uma temperatura elevada sofrerá fluência e experimentará um incremento no comprimento dependendo do tempo.

O fenômeno de fluência relaciona-se diretamente com discordâncias (*dislocation creep*), pois estas são intrinsecamente ligadas com a plasticidade. A mobilidade dos átomos e das discordâncias aumenta com a temperatura. Os deslizamentos tornam-se facilitados, novos sistemas de deslizamento ficam disponíveis e a escalagem (*climb*) de discordâncias é facilitada.

Um segundo mecanismo de fluência é o por difusão (*diffusion creep*), que se refere à deformação por difusão de vacâncias que se tornam supersaturadas devido à tensão aplicada, resultando em difusão que provoca transporte de massa que altera o formato dos grãos. A figura a seguir ilustra esse mecanismo:



Outro fenômeno correlato que contribui para a deformação total por fluência é o de deslizamento de contornos de grãos (*grain boundary sliding*), relacionado com a fratura intergranular, e mais frequentemente observado nos estágios finais da fluência antes da ruptura. À medida que os grãos mudam de formato, torna-se necessário o movimento relativo dos seus centros de modo a preservar a continuidade dos contornos. Os grãos começam a girar e alongar na direção da carga. A figura a seguir ilustra esse fenômeno, destacando a formação de cavidade no ponto triplíce:



Temperatura homóloga

Para comparação entre o comportamento de distintos metais sob fluência, é conveniente a adoção da denominada temperatura homóloga que expressa a temperatura como uma fração do ponto de fusão na escala Kelvin. Para uma dada temperatura homóloga, materiais com diferentes pontos de fusão apresentam comportamento similar de deformação em regime de fluência, pois esta é de certo modo dependente de difusão.

A tabela a seguir reproduzida de original da ASM International relaciona as temperaturas aproximadas de início da fluência para ligas selecionadas:

Metal or alloy	°C	°F	Temperature as ratio of melting point (T_m) K
Aluminum alloys	150–200	300–400	0.48–0.54 T_m
Titanium alloys	315	600	0.3 T_m
Low-alloy steels	370	700	0.36 T_m
Austenitic iron-base heat-resisting alloys	540	1000	0.49 T_m
Nickel- and cobalt-base heat-resisting alloys	650	1200	0.56 T_m
Refractory metals and alloys	980–1540	1800–2800	0.4–0.45 T_m

Curva de fluência

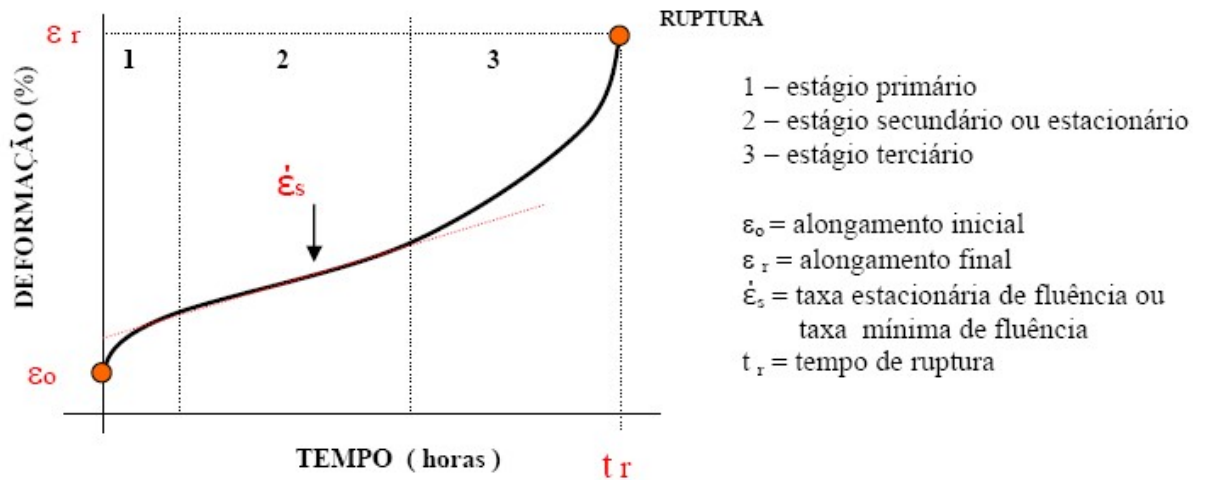
Nos testes de fluência uma amostra é mantida sob uma carga constante a uma temperatura igualmente constante. As medições de deformação (alongamento) são registradas ao longo de um período de tempo.

Uma curva típica de ensaio de fluência é apresentada em prosseguimento. Nessa são identificados três estágios. $\dot{\epsilon}$ é a taxa estacionária de fluência ou de deformação $d\epsilon/dt$:

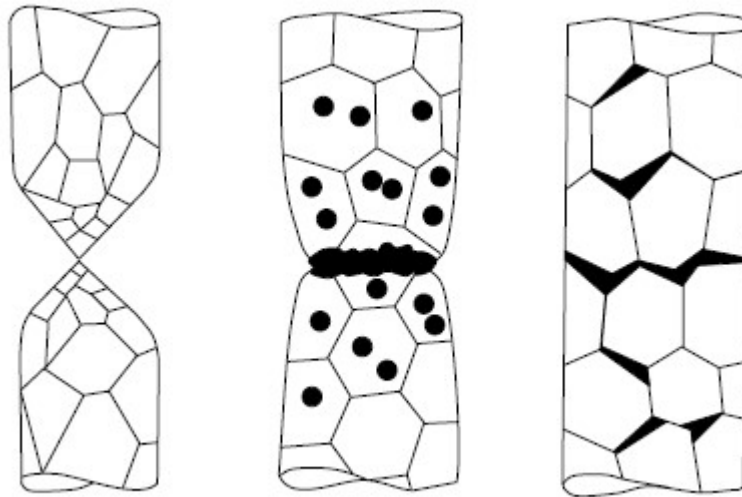
(i) fluência primária ou transiente, caracterizada pelo rápido de decréscimo da taxa de deformação com o tempo. A fluência primária representa uma etapa de ajustamento do metal durante a rápida e termicamente ativada ocorrência de deformação plástica.

(ii) fluência secundária ou estacionária, na qual a taxa de deformação é constante e consiste na maior parte da duração do teste de fluência. Esse estágio ocorre quando há um balanço entre os processos competidores de aumento de resistência por deformação (*strain hardening*) e de recuperação.

(iii) fluência terciária, nas qual a taxa de deformação volta a aumentar e precede a fratura catastrófica.



A figura a seguir mostra os tipos de fratura a elevadas temperaturas: ruptura, caracterizada por uma redução de área de quase 100%, fratura transgranular e fratura intergranular. À medida que a temperatura aumenta, o mecanismo de falha passa por uma transição de fratura transgranular para intergranular. Em outras palavras, como já mencionado em Resenha Técnica anterior, a temperaturas baixas os contornos de grãos são mais fortes que os grãos propriamente ditos, enquanto que a temperaturas elevadas os grãos são mais fortes do que os contornos.



Influência do tamanho de grão

O tamanho de grãos exerce um papel relevante na fluência dos metais. Quanto menor o tamanho, mais rápido é o transporte de massa provocando deformação permanente. Então, sob condições em que a fluência é devida fundamentalmente à difusão, a resistência a este fenômeno é melhorada pelo aumento do tamanho de grãos. Observa-se que esse comportamento é diferente do à temperatura ambiente, à qual o tamanho menor de grãos é benéfico à resistência e ductilidade.