

TMEC034

Seleção de Materiais

Seleção por propriedades:
Resistência à fluência e temperatura

Prof. Rodrigo Perito Cardoso



Favor desligar o celular ou passá-lo para o modo silencioso

Em caso de ligação favor não atender durante a aula

Apresentação de estudo de caso

- Definir trio e tema para estudo de caso até dia 12/04 (hoje)-> **Muito aconselhável que o tema seja de seu interesse ou ligado ao trabalho/estágio de um dos membros.**
- Entregar a estrutura (esqueleto) da proposta de apresentação com os tópicos a serem abordados até dia 10/05 (Será parte da avaliação)
- A apresentação será feita por um dos integrantes (escolhido pelo professor no dia da apresentação) e deverá ter 20min (A apresentação deve ser entregue).

Prova 31/05

- Fazer as provas antigas (listas) disponíveis no FTP
- Atenção! O volume de informação é importante e revisar todas as aulas é muito importante para responder adequadamente a lista (Prova antiga 1 e 2)
- A prova seguirá o estilo de questões da lista

Introdução

- Fluência: deformação dependente do tempo a carga constante
- Aspectos importantes da fluência:
 - Deformação (ex: palhetas de turbina a vapor)
 - Fratura (ex: lâmpada de tungstênio)
 - Os dois são importante na aviação -> previsão de casos extremos (evita ruptura e operação de emergências)

Medidas de fluência

- Todo material sobre fluência em toda temperatura -> processo depende da tensão, da temperatura e do tempo

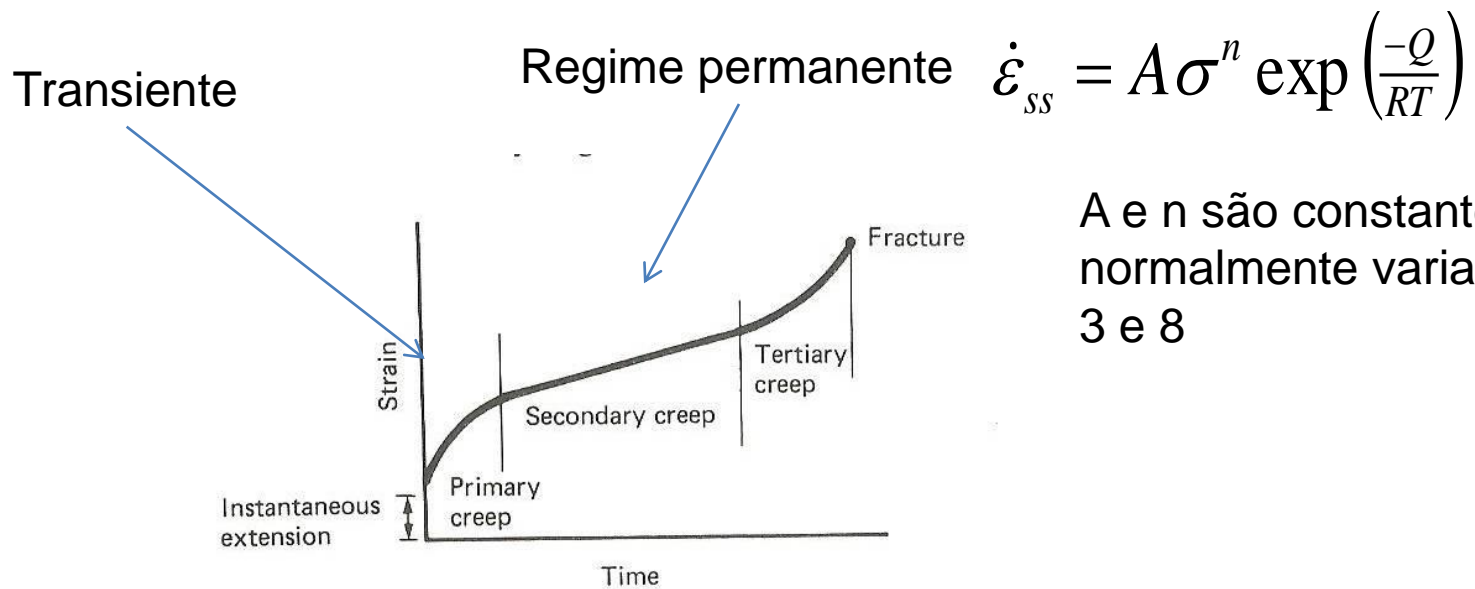


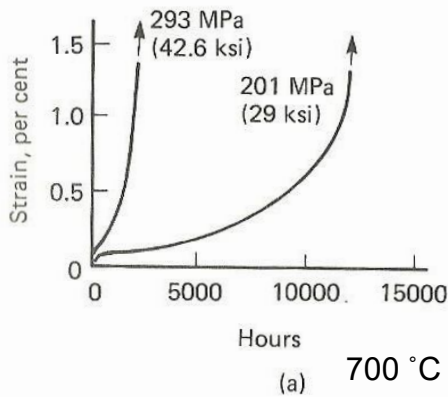
Figure 10.1 Conventional creep curve, showing the stages of creep.

A e n são constantes e n normalmente varia entre 3 e 8

Importante para temperaturas maiores que $0,4T_f$ (temperatura de fusão em K)

Medidas de fluência

- Curvas de fluência são a única maneira lógica e completa de se tratar o problema, mas são complicadas de se realizar e caras
 - Dificuldade de se ter todas as condições (exemplo curvas para vida de 20 anos) -> utilização de taxas de fluência obtidas para ensaios de 1000h (6 semanas)



$$\dot{\epsilon}_{ss} = A \sigma^n \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$$

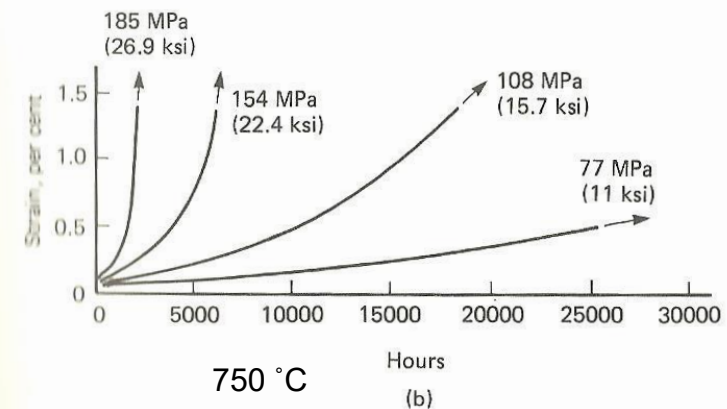
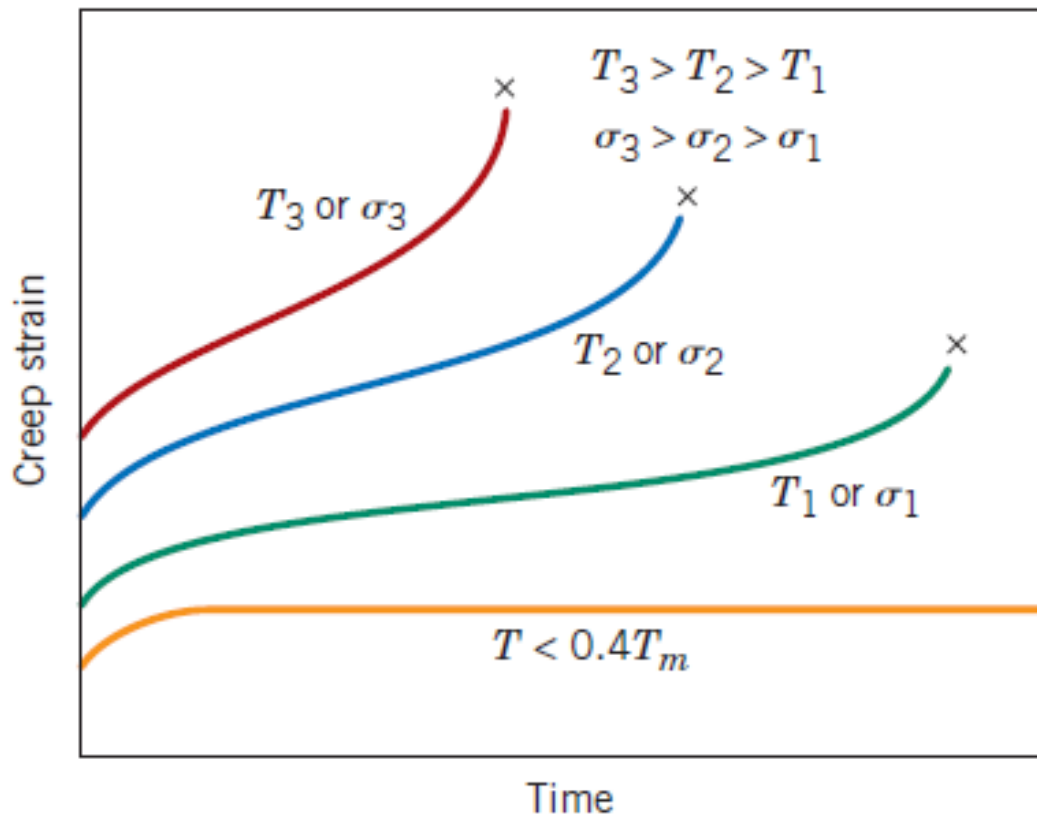


Figure 10.2 Creep curves for Nimonic 90 showing the effect of stress: (a) at 700 °C (1302 °F). (Reproduced by courtesy of Wiggins Alloys Ltd.)

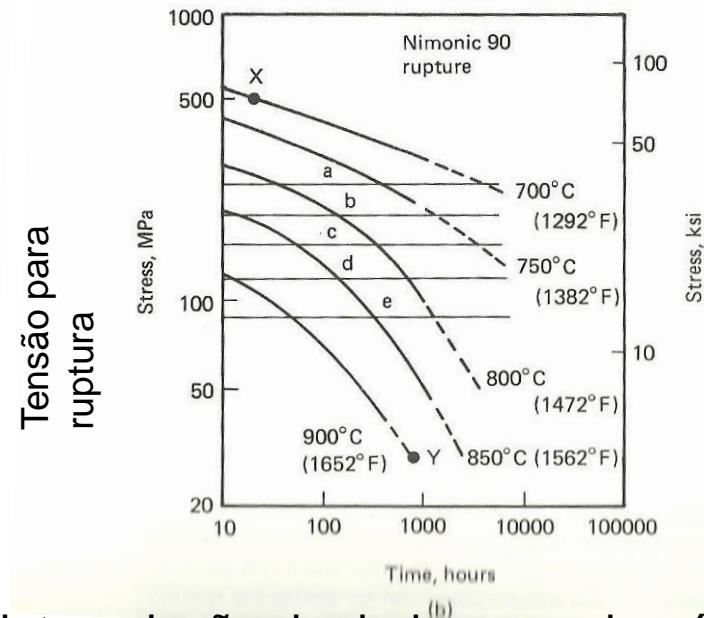
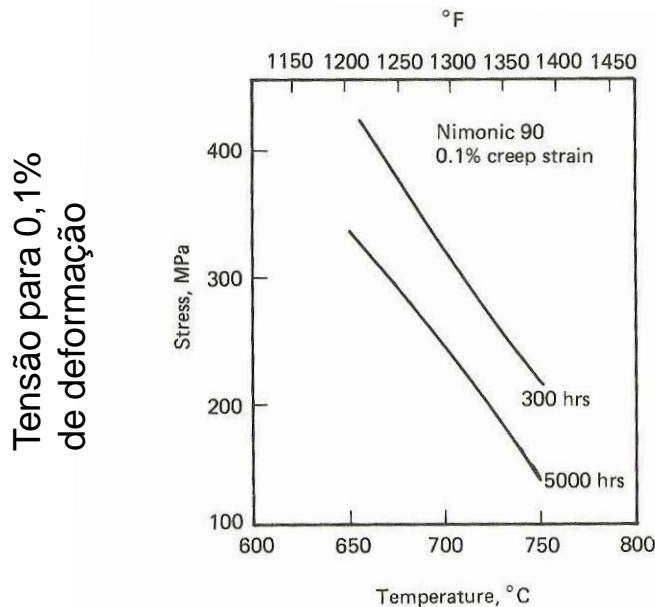
- Efeito da temperatura e tensão (qualitativo)



Medidas de fluência

- Para projeto não é necessário consultar todas as curvas

(curvas de ruptura sob fluência são mais fáceis de ser realizadas -> temperatura e tensão constantes -> sem medida de deformação com t)



Grandes esforços tem sido feito na interpolação de dados e, mais crítico ainda, na extrapolação dos mesmo

Medidas de fluência

- Ex: correlação de Masson-Heferd (empírica – assume que a tensão de ruptura em fluência é linear com o logaritmo do tempo de ruptura e que as curvas para diferente tensões convergem no ponto T_c e t_c)

$$MHCP = \frac{T - T_c}{\log t_r - \log t_c}$$

Busca unificar em um número o efeito do T e t

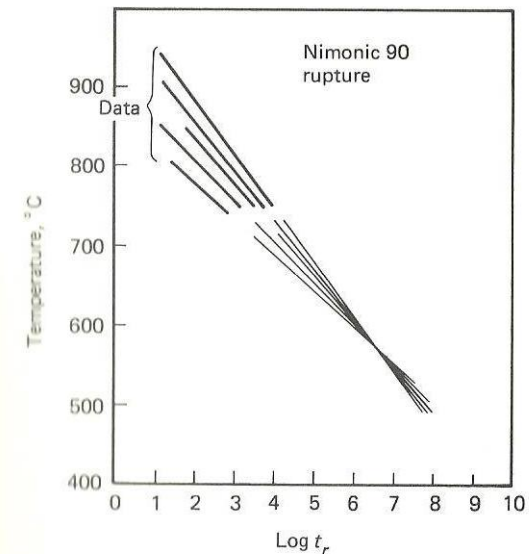


Figure 10.4 The Manson-Haferd method for correlating creep data.

Medidas de fluência

- Ex: correlação de Larson e Miller

Partindo de Arrhenius

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = A \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$$

Traça $1/T$ (T em K) em função de $\log t_r$ que deve interceptar a coordenada 0 em -C

$$LMCP = T(C + \log_{10} t_r)$$

130 Creep and temperature resistance

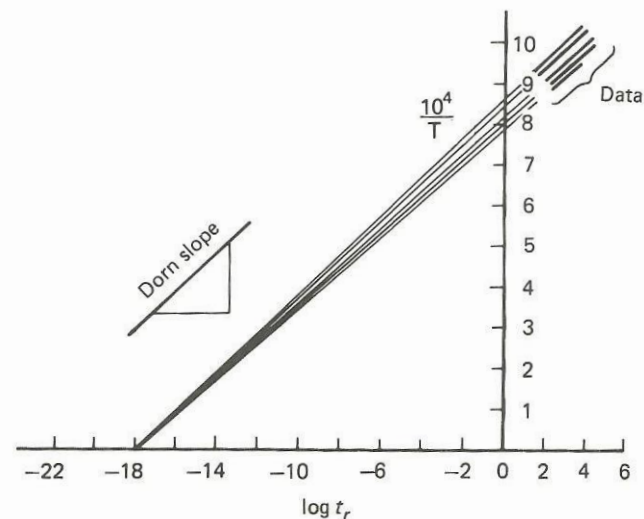


Figure 10.5 The Larson–Miller method for correlating creep data.

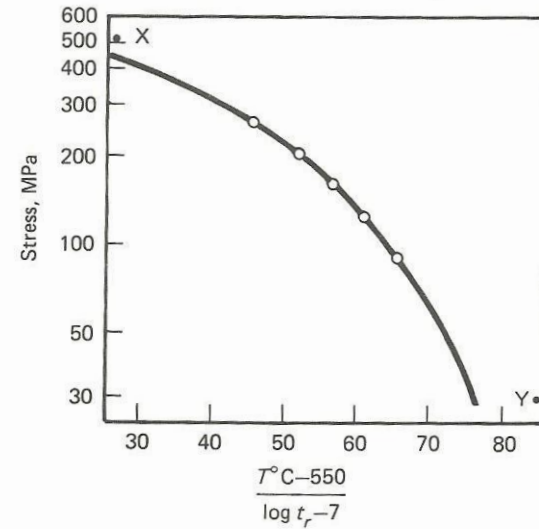
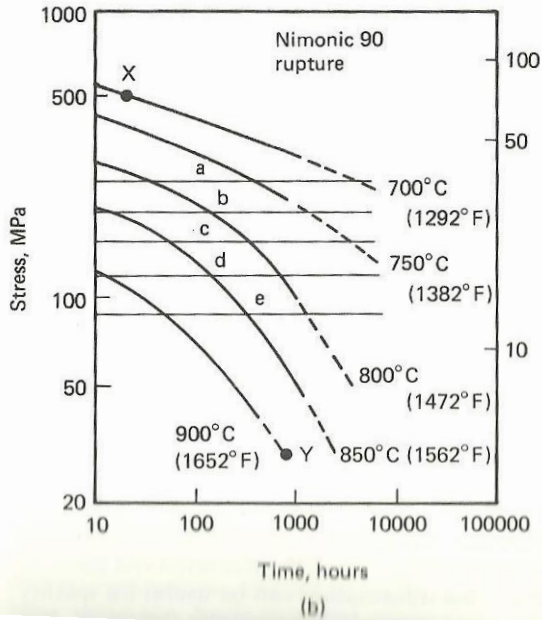
Busca unificar em um número o efeito do T e t

Medidas de fluência

- Corelações servem para cobrir a falta de dados
- Para seleção de materiais temos duas opções:
 - Extrapolação de dados de tempos curtos
 - Obter dados para uma grande gama de materiais

Medidas de fluência

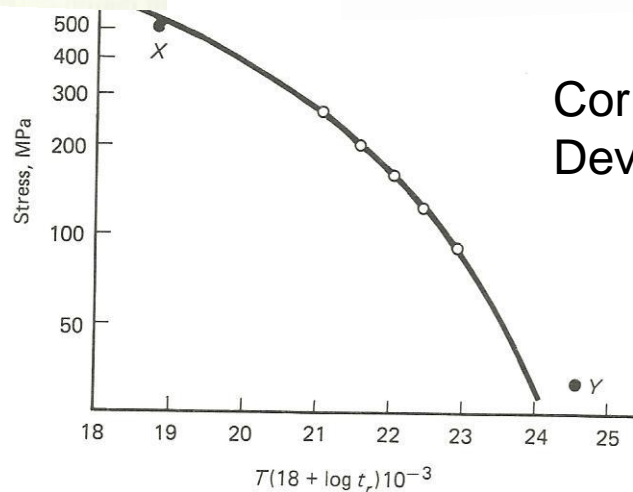
Tensão para ruptura



Masson-Heferd

Figure 10.6 Correlation of creep rupture of Nimonic 90 using the Masson-Heferd correlation parameter.

Larson e Miller



Correlações não são perfeitas
Devem ser usadas com precaução

Figure 10.7 Correlation curve for creep rupture of Nimonic 90 using the Larson-Miller correlation parameter.

Medidas de fluência

- Comparação de vários materiais usando a correlação de Larson-Miller

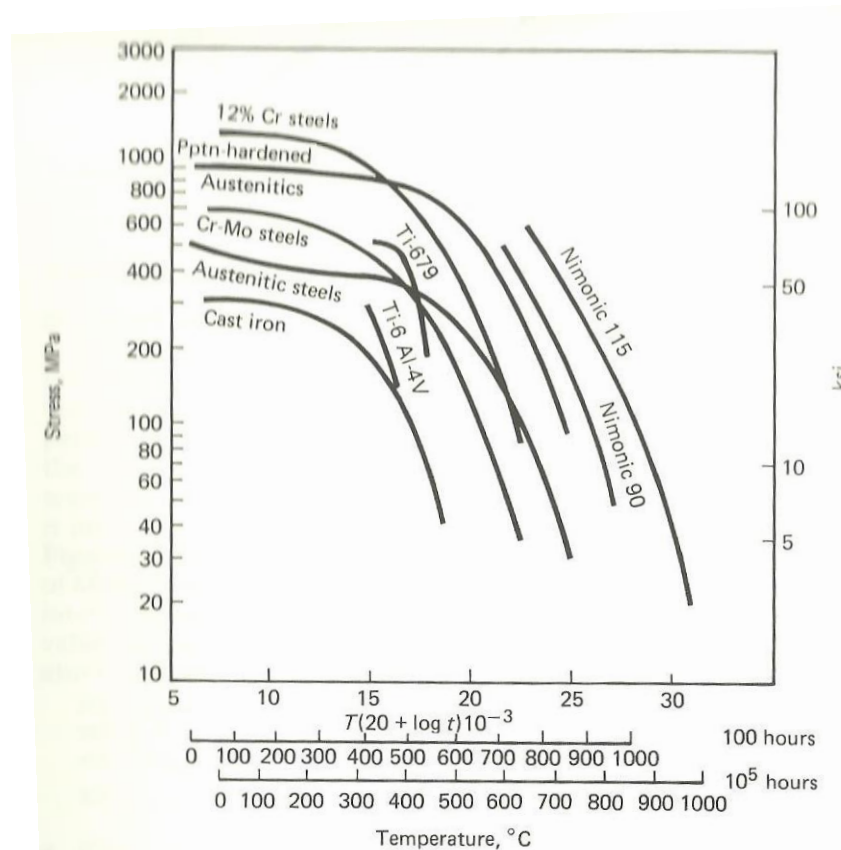


Figure 10-9 Creep resistance of various materials

Natureza da fluência

- A temperatura em que a fluência deve ser levada em conta depende dos critérios de projeto
- Como em metais a fluência depende de mudanças na microestrutura (ligada a autodifusão) uma aproximação inicial pode ser feita com base na temperatura de fusão ($\sim 0,4T_f$ – em Kelvin)
- Materiais normalmente devem ser utilizados a menos de $2/3$ de T_f

Natureza da fluência

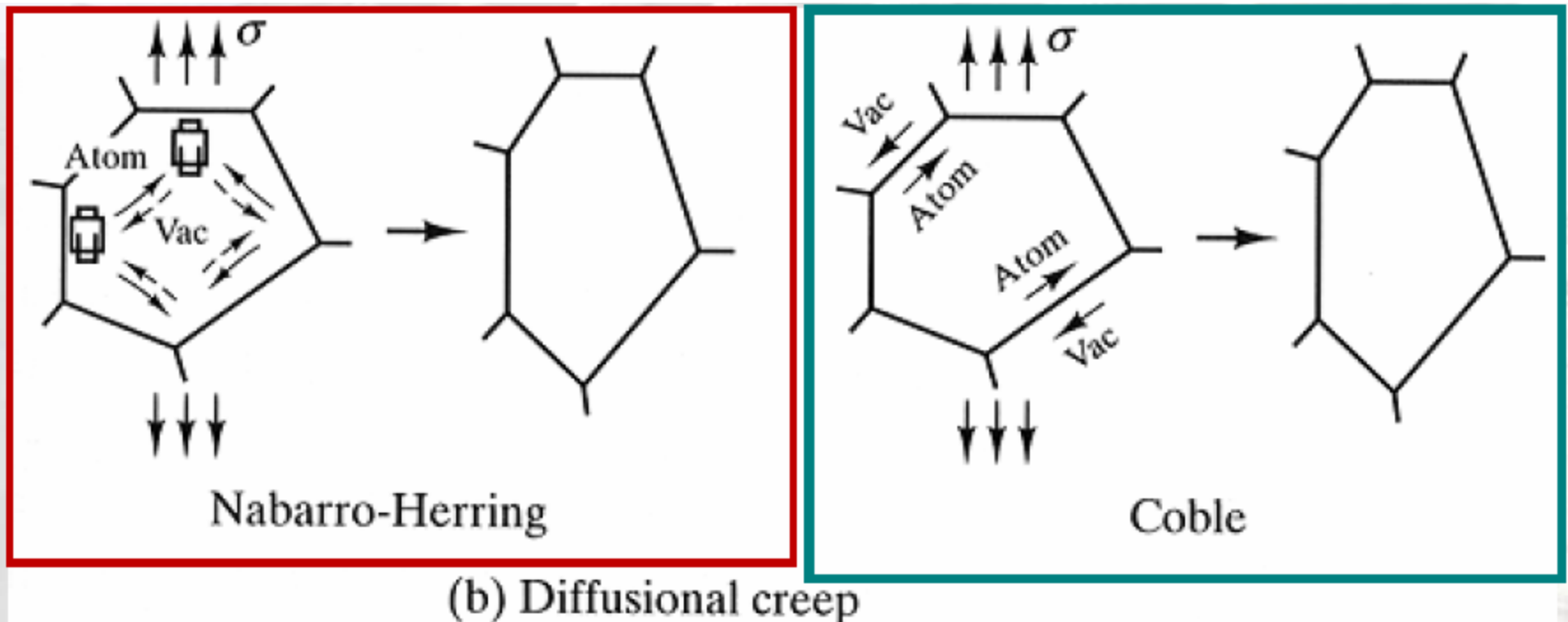
- Mecanismos de endurecimento úteis para fluência:
 - Solução sólida
 - Precipitação
 - Até $0,25 T_f$ trabalho a frio (normalmente não é importante)
- A partir de $1/3 T_f$ endurecimento por trabalho a frio não é mantido (recuperação controla o processo)
- Fluência primária ou secundária não levam a fratura
- Ruptura -> Fluência terciária -> mudança de secção e/ou recristalização gerando trincas intergranulares:
 - Ponto triplo: Encontro de três grãos (concentrador de tensões) -> facilitado para menor temperatura e maior tensão
 - Cavitação: formação de microporosidade no contorno (difusão de vacâncias) -> facilitado para maior temperatura

Mecanismos de fluência

- Difusão de átomos e lacunas pelo interior dos grãos (Nabarro-Herring)
- Difusão de átomos e lacunas pelos contornos de grão (Coble);
- Deslizamento de discordâncias;
- Movimentação de discordâncias por escalagem;
- Deslizamento de contornos de grão.

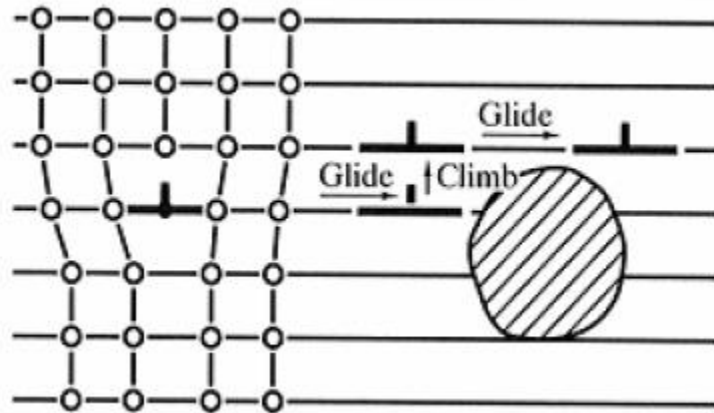
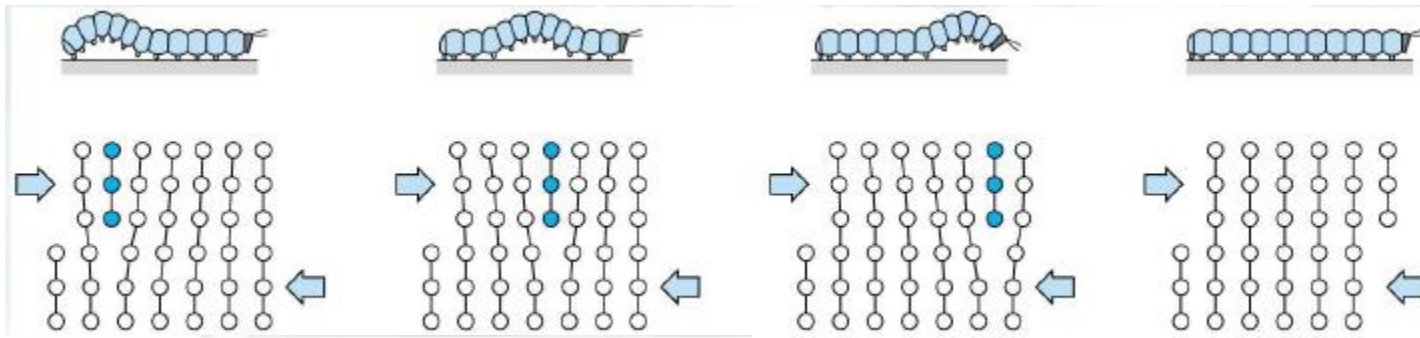
Mecanismos de fluência

- Difusão de átomos e lacunas pelo interior dos grãos (Nabarro-Herring)
- Difusão de átomos e lacunas pelos contornos de grão (Coble);

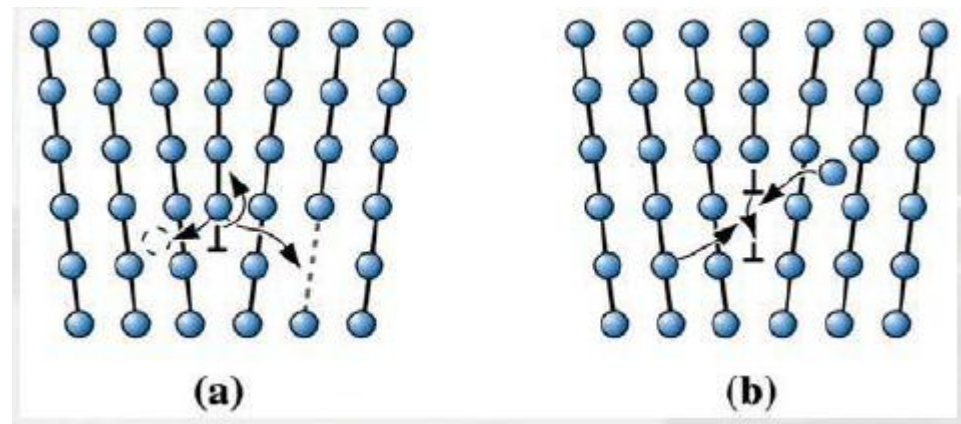


Mecanismos de fluência

- Deslizamento de discordâncias;
- Movimentação de discordâncias por escalagem;



escalagem

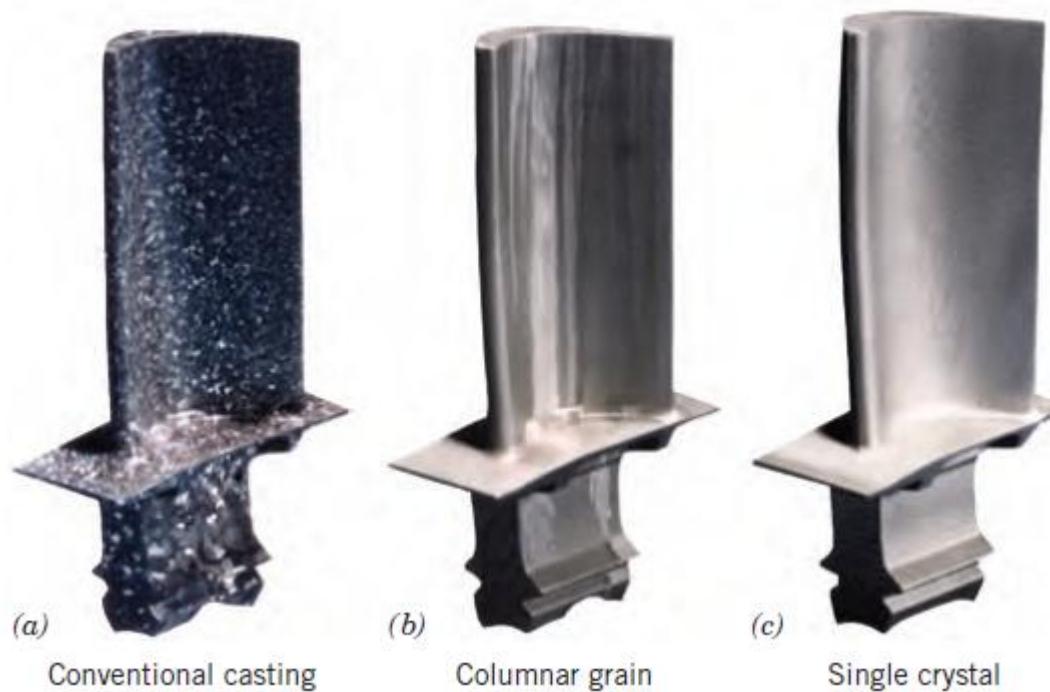


Rápida movimentação de lacunas

Ligas de alta temperatura

Parâmetros que influem: T_f , "E" e tamanho de grão

Aços inoxidáveis, metais refratários e super ligas



Desenvolvimento de materiais resistentes à fluência

- Ponto de Fusão
 - Deseja-se elevado ponto de fusão
 - Maioria das ligas resistentes à fluência são a base de Ni e Fe (médio ponto de fusão) -> ponto de fusão não é o único fator importante e pode ser um problema em alguns casos (manufatura, resistência a oxidação-> Nb, Mo, W, Ta)
 - Nb, Mo, W, Ta usados na forma de fios e chapas em atmosfera controlada (lâmpadas, fornos)

Desenvolvimento de materiais resistentes à fluência

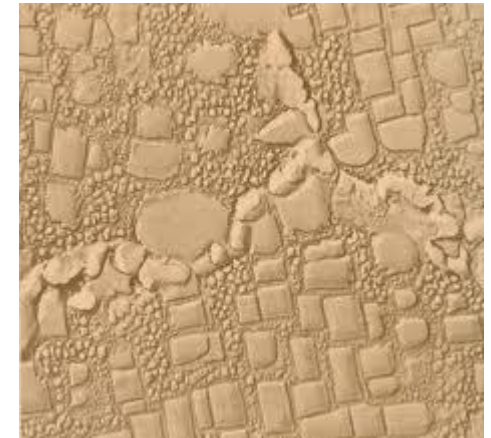
- Estrutura da rede cristalina
 - As melhores ligas são CFC -> ligada aos defeitos e ao coeficiente de difusão.
 - CFC -> estrutura compacta ABCABC -> caso real com falhas de empilhamento
 - Redução da energia de falha de empilhamento -> melhora a resistência à fluência

Desenvolvimento de materiais resistentes à fluência

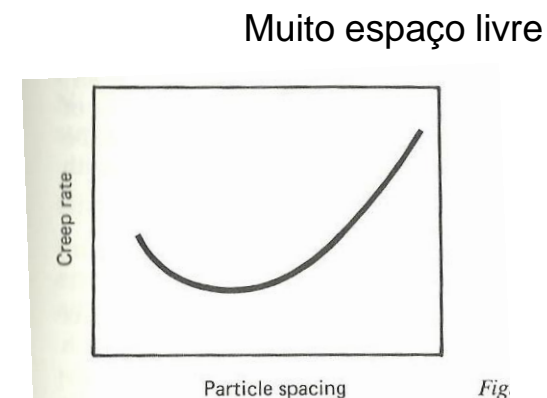
- Solução sólida
 - Elementos em solução sólida aumentam a resistência à fluência
 - Efeito endurecedor não é muito importante
 - Normalmente os elementos de liga são adicionados mais com intuito de melhorar a resistência à corrosão que endurecer a matriz
- Trabalho a frio
 - Aumenta a resistência a fluência, mas o efeito não persiste por longo tempo acima de $0,4T_f$

Desenvolvimento de materiais resistentes à fluência

- Endurecimento por segunda fase
 - É o método mais importante para aumentar a resistência à Fluência
 - Dificultam a movimentação de discordâncias
 - Dificultam a recuperação (ancoramento de discordâncias)
 - Tamanho e espaçamento dos precipitados são importantes (ponto ótimo)

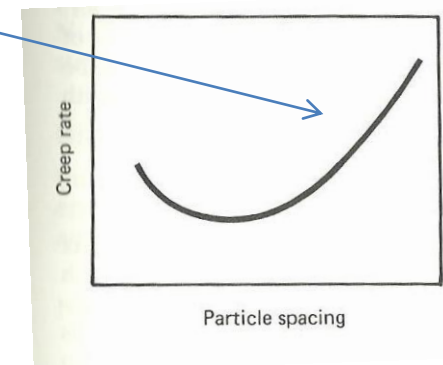


Partículas muito pequenas



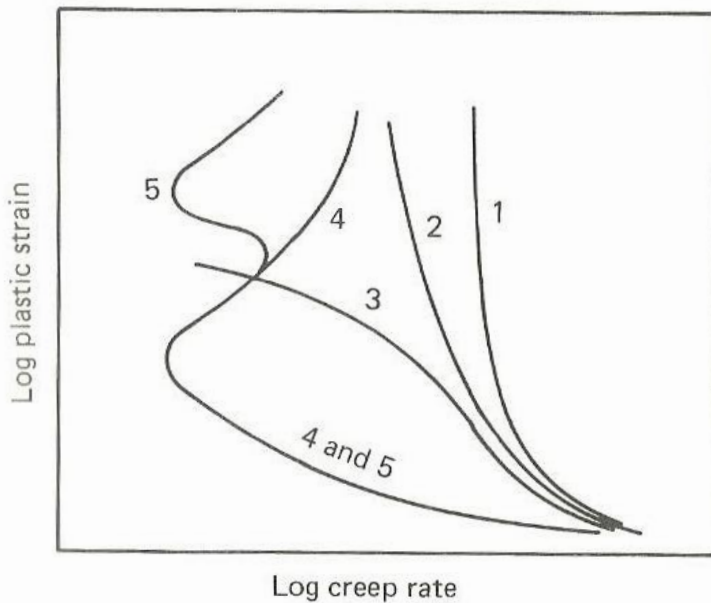
Desenvolvimento de materiais resistentes à fluência

- Endurecimento por segunda fase
 - Obtido por precipitação ou por dispersão (ex. metalurgia do pó)
 - Para ligas obtidas por precipitação, a temperatura de trabalho deve ser abaixo da temperatura de envelhecimento para evitar o coalescimento
 - Coalescimento deve ser minimizado



Desenvolvimento de materiais resistentes à fluência

- Representação esquemática



- 1 – Metal puro
- 2 – Solução sólida
- 3 – Strain-Ageing
- 4 – Precipitado de 1 tipo
- 5 – Precipitados de dois tipos (dois ótimos)

Figure 10.11 Hypothetical creep-rate curves. (After Glen^o.)

Temperatura de serviço de componente de engenharia

- 0 - 150°C
 - Único metal com restrições é o Chumbo -> pode sofrer fluência à temperatura ambiente
 - Problema para polímeros

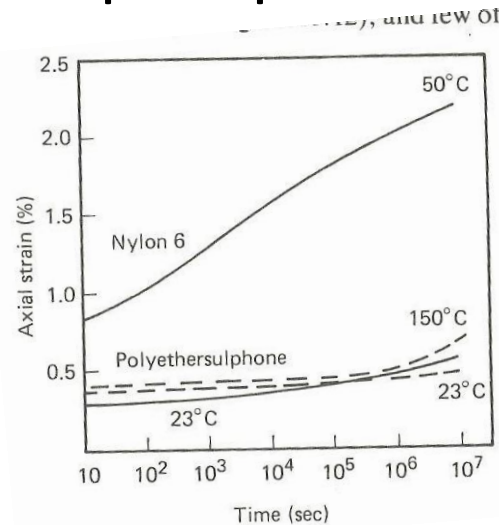


Figure 10.12 Tensile creep curves for Nylon 6 and Polyethersulphone.

Temperatura de serviço de componente de engenharia

- 150 - 400°C
 - Alguns polímeros podem ser utilizados
 - Ligas de magnésio aplicadas até 200°C
 - Pistões de Al em motores diesel operam até 250°C
 - Ligas de cobre aplicadas até 350°C
 - Aços ao carbono são aplicados até 425°C

Temperatura de serviço de componente de engenharia

- 400 - 600°C
 - Principais materiais: Ligas de titânio e aços baixa liga
 - Em aplicações de menor custo e onde a maior densidade é tolerável se aplicam aços baixa liga (elemento de liga necessário a partir de 400°C, o principal é o Mo + Cr, V)

Temperatura de serviço de componente de engenharia

- 575-650°C
 - Nesta faixa de temperatura a oxidação pode se tornar mais importante que a fluência
 - Adição de ao menos 8% de Cr ao aço para evitar descamação
 - Entre os aços inoxidáveis:
 - Os martensíticos são mais baratos, mas...
 - Os austeníticos tem melhor combinação entre propriedade de resistência a oxidação e a fluência

Temperatura de serviço de componente de engenharia

- 650 - 1000°C
 - Três grupos de metais
 - Aços inoxidáveis austeníticos (normalmente até 750°C)
 - Ligas a base de níquel (até 1000°C 100h 200MPa)
 - Ligas com grande complexidade metalúrgica
 - Forte dependência da forma de solidificação.
 - MARS, Inconel, Incaloy
 - Ligas a base de cobalto
 - Performance inferior as superligas de Ni

Temperatura de serviço de componente de engenharia

- Acima de 1000°C
 - Metais refratários
 - W, Ta, Nb, Mo (disponíveis comercialmente)
 - Elevada densidade
 - Utilizados somente em atmosferas protetoras
 - Cerâmicas
 - Cerâmicas de engenharia
 - Frágeis e sujeitas a choque térmico (carbonetos podem oxidar)

Seleção de materiais para resistência à fluência

- Definir temperatura, tensão e tempo de vida
 - Para reduzir custo é necessário reduzir algumas das exigências
 - Reduzir temperatura pode reduzir eficiência de motores, por exemplo
 - Reduzir tensões pode gerar demasiado aumento de peso
 - Reduzir tempo de vida implica em aumento de custo de manutenção e tempo parado
 - Maior problema encontrado -> disponibilidade de dados e extrapolação pouco confiável

Diagramas de mecanismos de deformação

- Deformação pode ser resultado de diferentes mecanismos (necessidade de conhecer o dominante)

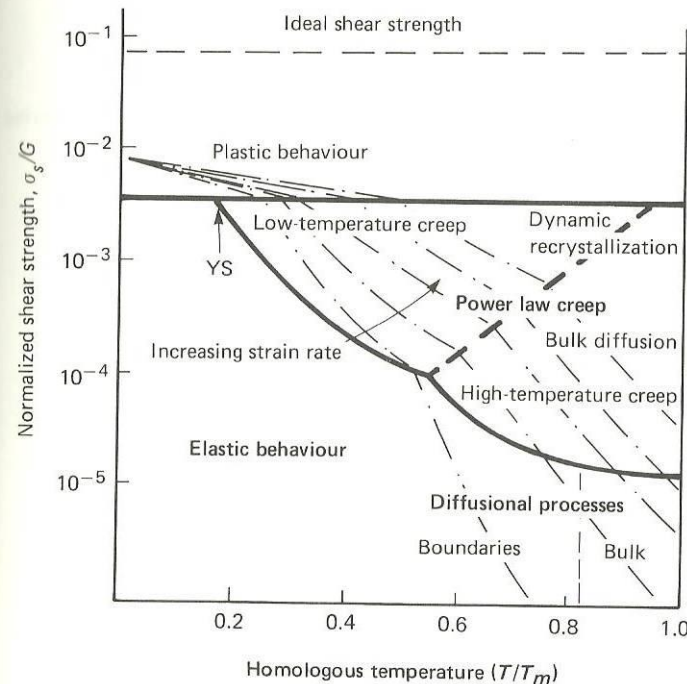


Figure 10.13 Normalized stress/temperature map indicating deformation mechanisms.

Diagramas conhecidos para uma série de materiais

Útil para seleção de materiais para fluência

É importante lembrar

- Quando se deve levar em conta o fenômeno da fluência
- Em elevadas temperaturas a fluência vem acompanhada de outros problemas, como oxidação
- Que mecanismos levam à fluência e como ela pode ser quantificada
- Quais os principais desafios na seleção de materiais para resistência à fluência