

$$n = \frac{K_{Ic}}{K_I} \quad (5-38)$$

em que K_{Ic} é encontrado na Tabela 5-1.

Análise estocástica

Fator de segurança médio definido como $\bar{n} = \mu_s/\mu_\sigma$ (μ_s e μ_σ são resistência e tensão médias, respectivamente).

Caso normal-normal

$$\bar{n} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - (1 - z^2 C_s^2)(1 - z^2 C_\sigma^2)}}{1 - z^2 C_s^2} \quad (5-42)$$

em que z pode ser encontrado na Tabela A-10, $C_s = \hat{\sigma}_s/\mu_s$ e $C_\sigma = \hat{\sigma}_\sigma/\mu_\sigma$.

Caso lognormal-lognormal

$$\bar{n} = \exp \left[-z \sqrt{\ln(1 + C_n^2)} + \ln \sqrt{1 + C_n^2} \right] \doteq \exp \left[C_n \left(-z + \frac{C_n}{2} \right) \right] \quad (5-45)$$

em que

$$C_n = \sqrt{\frac{C_s^2 + C_\sigma^2}{1 + C_s^2}}$$

(Ver outras definições no caso normal-normal.)

PROBLEMAS

5-1

Uma barra de aço dúctil laminado a quente possui uma resistência ao escoamento mínima sob tração e compressão igual a 350 MPa. Utilizando as teorias da energia de distorção e tensão de cisalhamento máxima, determine os fatores de segurança para os seguintes estados de tensão plana:

- (a) $\sigma_x = 84$ MPa, $\sigma_y = 42$ MPa.
- (b) $\sigma_x = 84$ MPa, $\tau_{xy} = -56$ MPa.
- (c) $\sigma_x = -42$ MPa, $\sigma_y = -70$ MPa, $\tau_{xy} = -35$ MPa.
- (d) $\sigma_x = 84$ MPa, $\sigma_y = 28$ MPa, $\tau_{xy} = 7$ MPa.

5-2

Repita o Problema 5-1 para:

- (a) $\sigma_A = 84$ MPa, $\sigma_B = 84$ MPa.
- (b) $\sigma_A = 84$ MPa, $\sigma_B = 42$ MPa.
- (c) $\sigma_A = 84$ MPa, $\sigma_B = -84$ MPa.
- (d) $\sigma_A = -42$ MPa, $\sigma_B = -84$ MPa.

5-3

Repita o Problema 5-1 para uma barra de aço AISI 1020 estirado a frio e:

- (a) $\sigma_x = 180$ MPa, $\sigma_y = 100$ MPa.
- (b) $\sigma_x = 180$ MPa, $\tau_{xy} = 100$ MPa.
- (c) $\sigma_x = -160$ MPa, $\tau_{xy} = 100$ MPa.
- (d) $\tau_{xy} = 150$ MPa.

5-4

Repita o Problema 5-1 para uma barra de aço AISI 1018 laminado a quente e:

- (a) $\sigma_A = 100$ MPa, $\sigma_B = 80$ MPa.
- (b) $\sigma_A = 100$ MPa, $\sigma_B = 10$ MPa.
- (c) $\sigma_A = 100$ MPa, $\sigma_B = -80$ MPa.
- (d) $\sigma_A = -80$ MPa, $\sigma_B = -100$ MPa.

Repita o Problema 5-3, primeiramente, traçando os lugares de falha no plano σ_A, σ_B para a escala; depois, para cada estado de tensão, trace a linha de falha e, por medição gráfica, calcule os fatores de segurança.

Repita o Problema 5-4, primeiramente, traçando os lugares de falha no plano σ_A, σ_B para a escala; depois, para cada estado de tensão, trace a linha de falha e, por medição gráfica, calcule os fatores de segurança.

Um ferro fundido ASTM possui resistências mínimas ao escoamento de 210 MPa sob tração e 700 MPa sob compressão. Encontre os fatores de segurança utilizando as teorias MSN, BCM e MM para cada um dos seguintes estados de tensão. Trace os diagramas de falha no plano σ_A, σ_B para a escala e localize as coordenadas de cada estado de tensão.

- (a) $\sigma_x = 140$ MPa, $\sigma_y = 42$ MPa.
- (b) $\sigma_x = 84$ MPa, $\tau_{xy} = -56$ MPa.
- (c) $\sigma_x = -42$ MPa, $\sigma_y = -70$ MPa, $\tau_{xy} = -35$ MPa.
- (d) $\sigma_x = -84$ MPa, $\tau_{xy} = 56$ MPa.

Para o Problema 5-7, Caso (d), calcule os fatores de segurança das três teorias a partir de medidas gráficas da linha de falha.

Entre as decisões que um desenhador deve tomar, existe aquela relativa ao lugar de falha que se aplica ao material e seu carregamento estático. Um aço 1020 laminado a quente possui as seguintes propriedades: $S_y = 294$ MPa, $S_{mt} = 463$ MPa e deformação verdadeira na fratura $\epsilon_f = 0,90$. Trace o lugar de falha e, para os estados de tensão estáticos nas localidades críticas incluídas a seguir, desenhe a linha de falha e calcule analítica e graficamente o fator de segurança.

- (a) $\sigma_x = 63$ MPa, $\sigma_y = -35$ MPa.
- (b) $\sigma_x = 84$ MPa, $\tau_{xy} = 21$ MPa, anti-horário.
- (c) $\sigma_x = -28$ MPa, $\sigma_y = -63$ MPa, $\tau_{xy} = 35$ MPa, horário.
- (d) $\sigma_x = 77$ MPa, $\sigma_y = 28$ MPa, $\tau_{xy} = 7$ MPa, horário.

Um aço 4142 temperado e revenido a 30°C exibe $S_{yt} = 164,5$ MPa, $S_{yc} = 192,5$ MPa e $\epsilon_f = 0,06$. Escolha e trace o lugar geométrico de falha e, para tensões estáticas em locais críticos que são dez vezes aquelas do Problema 5-9, trace as linhas de falha e calcule analítica e graficamente os fatores de segurança.

Para ferro fundido grau 20, a Tabela A-22 nos dá $S_{mt} = 154$ MPa, $S_{mc} = 581$ MPa. Escolha e trace o lugar geométrico de falha e, para carregamentos estáticos induzindo as tensões nos locais críticos do Problema 5-9, trace as linhas de falha e calcule analítica e graficamente os fatores de segurança.

Um alumínio fundido 195-T6 tem uma resistência última em tração de $S_{mt} = 252$ MPa e uma resistência última em compressão de $S_{mc} = 245$ MPa, e exibe uma deformação verdadeira em fratura $\epsilon_f = 0,045$. Escolha e trace o lugar geométrico de falha e, para carregamento estático induzindo as tensões nos locais críticos do Problema 5-9, trace as linhas de falha e calcule analítica e graficamente os fatores de segurança.

Um ferro fundido ASTM grau 30 (ver Tabela A-22) suporta um carregamento estático resultando no estado de tensão, listado abaixo, nos locais críticos. Escolha o lugar geométrico apropriado, trace-o, como também as linhas de falha de carga, e calcule analítica e graficamente os fatores de segurança.

- (a) $\sigma_A = 140$ MPa, $\sigma_B = 140$ MPa.
- (b) $\tau_{xy} = 100$ MPa.
- (c) $\sigma_A = \sigma_B = -560$ MPa.
- (d) $\sigma_A = 105$ MPa, $\sigma_B = -175$ MPa.

Este problema ilustra que o fator de segurança para um elemento de máquina depende do ponto particular escolhido para análise. Aqui você deve computar fatores de segurança, com base na teoria da energia de distorção, para elementos de tensão em A e B do membro mostrado na figura. Esta barra é feita de aço AISI 1006 repuxado a frio e é carregada pelas forças $F = 0,55$ kN, $P = 8,0$ kN e $T = 30$ N·m.

5-14

5-13

5-12

5-11

5-10

5-9

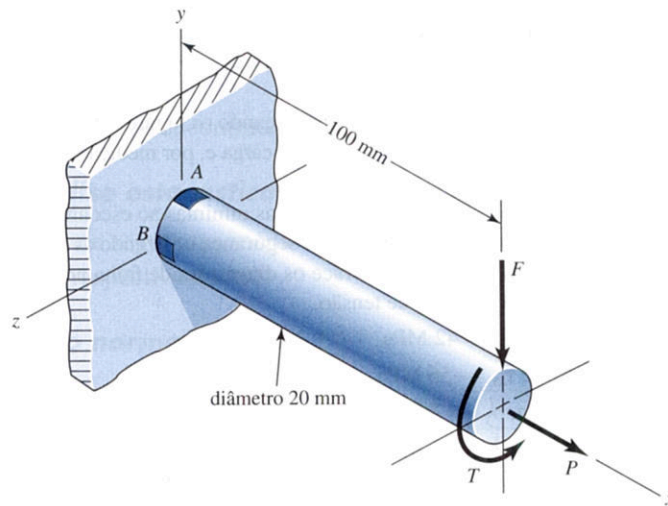
5-8

5-7

5-6

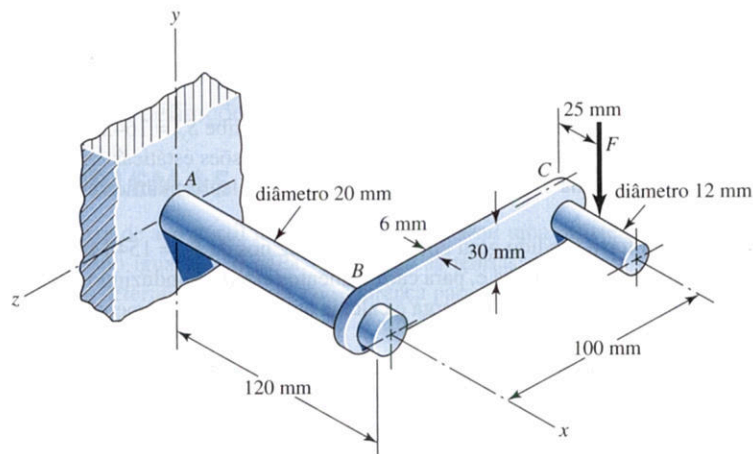
5-5

Problema 5-14

**5-15**

A figura mostra uma alavanca carregada por uma força $F = 800 \text{ N}$ que causa torção e flexão do eixo de 20 mm de diâmetro engastado a um suporte na origem do sistema de referência. Na realidade, o suporte pode ser uma inércia que queremos rodar, mas, para efeitos de análise de tensão, podemos supor ser esse um problema estático. O material do eixo AB é aço AISI 1018 laminado a quente (Tabela A-18). Usando a teoria da tensão de cisalhamento máxima, encontre o fator de segurança baseado na tensão no ponto A.

Problema 5-15

**5-16**

Resolva o Problema 5-15 usando a teoria da energia de distorção. Se você resolveu o Problema 5-15, compare os resultados e discuta a diferença.

5-17*

Dimensione o braço de alavanca CD da Figura 5-16 especificando um tamanho conveniente e material.

5-18

Um vaso de pressão esférico é feito de uma chapa de aço AISI 1018 bitola 18 (1,25 mm) repuxado a frio. Se o vaso tem um diâmetro de 200 mm, estime a pressão necessária para iniciar o escoamento. Qual é a pressão estimada de rompimento?

* O asterisco indica um problema que pode não ter um resultado único ou um problema particularmente desafiante.

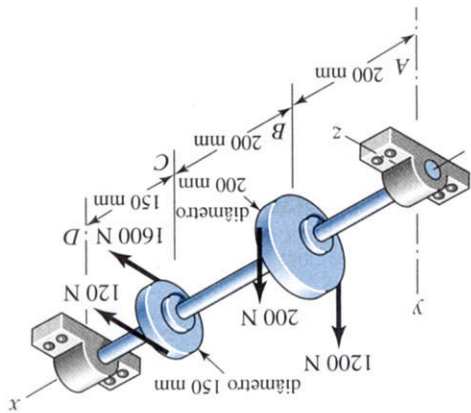
Este problema ilustra que a resistência de uma peça de máquina pode, às vezes, ser medida em unidades diferentes das de força ou momento. Por exemplo, a velocidade máxima que um volante pode alcançar sem escoamento ou fratura é uma medida de sua resistência. Neste problema você tem um anel rotativo feito de aço AISI 1020 forjado a quente; o anel tem um diâmetro interno de 150 mm e um diâmetro externo de 250 mm, e tem 40 mm de espessura. Que velocidade, em revoluções por minuto, faria o anel escoar? Em qual raio começaria o escoamento? [Nota: a tensão radial máxima ocorre em $r = (r_o r_i)^{1/2}$; ver Equação (3-55).]

Um vaso de pressão leve é feito de tubo de liga de alumínio 2024-T3 com fechamento apropriado das extremidades. Esse cilindro tem 100 mm de diâmetro externo (OD), uma espessura de parede de 1,5 mm e $\nu = 0,334$. A ordem de compra especifica uma resistência de escoamento mínima de 320 MPa. Qual é o fator de segurança se a válvula de alívio de pressão está regulada para 3,5 MPa?

Um tubo de aço AISI 1015 repuxado a frio tem 300 mm diâmetro externo (OD) por 200 mm de diâmetro interno (ID) e deve ser submetido a uma pressão externa causada por um ajuste por contração. Qual pressão máxima faria o material do tubo escoar?

Que velocidade causaria fratura do anel do Problema 5-19 se ele fosse feito de um ferro fundido de grau 30?

A figura mostra um eixo montado em mancais em A e D e tendo polias em B e C. As forças que atuam nas superfícies da polia representam as trações de correia. O eixo é para ser feito de ferro fundido ASTM grau 25, usando um fator de projeto $n_d = 2,8$. Que diâmetro deve ser usado para o eixo?



Problema 5-23

5-23

5-22

5-21

5-20

5-19

Pelos padrões modernos, o desenho do eixo do Problema 5-23 é pobre porque ele é muito longo. Suponha que ele seja redesenhado para a metade das dimensões de comprimento. Usando o mesmo material e fator de projeto do Problema 5-23, encontre o novo diâmetro do eixo. As forças de engrenagem mostradas atuam em planos paralelos ao plano yz . A força na engrenagem A é 1,2 kN. Considere os mancais em O e B como apoios simples. Para análise estática e fator de segurança de 3,5, use a energia de distorção para determinar o diâmetro mínimo seguro para o eixo. Considere que o material tenha uma resistência ao escoamento de 42 MPa.

Repita o Problema 5-25 usando a tensão de cisalhamento máxima.

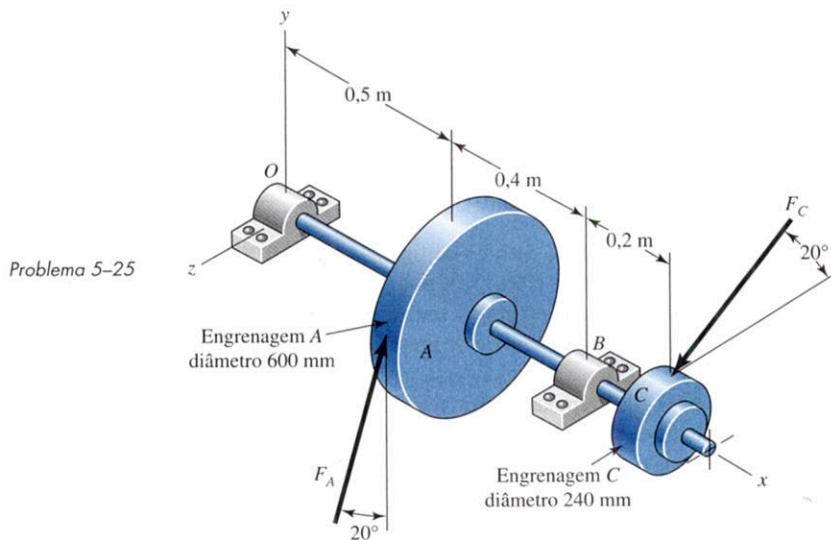
A figura é um desenho esquemático de um contraeixo que suporta duas polias em V. Para cada polia, as trações de correia são paralelas. Para a polia A considere que a tração do tramo frouxo seja 15% da tração no tramo tenso. Um eixo de aço UNS G10180 repuxado a frio, com diâmetro uniforme, deve ser selecionado para esta aplicação. Para uma análise estática com um fator de segurança de 3,0, determine o menor tamanho de diâmetro preferencial. Use a teoria da energia de distorção.

5-27

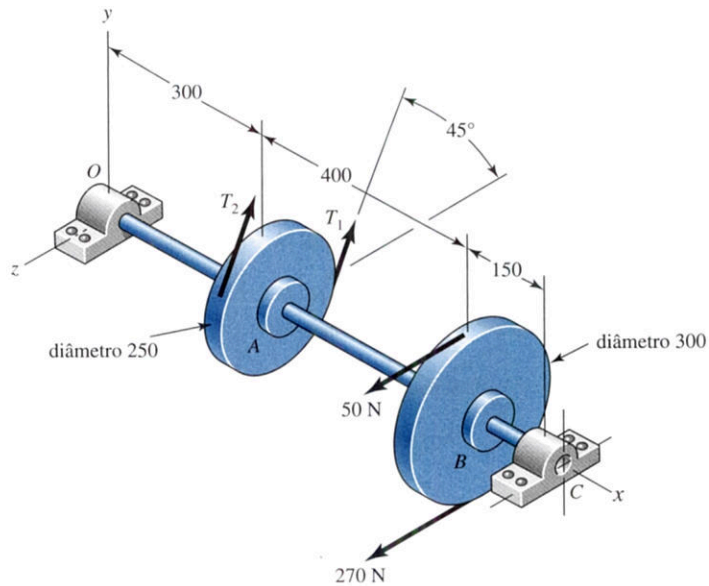
5-26

5-25

5-24



Problema 5-27
Dimensões em milímetros.



- 5-28 Repita o Problema 5-27 utilizando a tensão de cisalhamento máxima.
- 5-29 O pino do terminal em U mostrado na figura tem 12 mm de diâmetro e tem as dimensões $a = 12$ mm e $b = 18$ mm. Esse pino é usinado de aço AISI 1018 (HR) laminado a quente (Tabela A-18) e é para ser carregado a não mais que 4,4 kN. Determine se o carregamento suposto na figura *c* leva a um fator de segurança diferente daquele da figura *d* ou não. Use a teoria da tensão de cisalhamento máxima.
- 5-30 Repita o Problema 5-29, mas desta vez use a teoria da energia de distorção.
- 5-31 Um colar de eixo de anel partido, tipo braçadeira, é mostrado na figura. O colar tem diâmetro externo (OD) de 50 mm por 25 mm de diâmetro interno (ID) por 12 mm de largura. O parafuso é designado como M6. A relação entre o torque de aperto do parafuso T , o diâmetro nominal do parafuso d e a tração no parafuso F_i é de aproximadamente $T = 0,2 F_i d$. O eixo é dimensionado para obter um ajuste de deslizamento apertado. Encontre a força axial de sustentação F_x no colar como uma função do coeficiente de atrito e o torque do parafuso.

nominal de ajuste de contração e as tensões de von Mises na superfície de ajuste.
 (b) Se o tubo interno é trocado por um eixo sólido com as mesmas dimensões externas, encontre a pressão nominal de ajuste por contração e as tensões de von Mises na superfície de ajuste.
 (a) Encontre a pressão nominal de ajuste por contração e as tensões de von Mises na superfície de ajuste.

Ambos os tubos são feitos de aço carbono comum.

ID: diâmetro interno; OD: diâmetro externo

	Membro interno	Membro externo
ID	25 ± 0,05 mm	49 ± 0,01 mm
OD	50 ± 0,01 mm	75 ± 0,1 mm

Um tubo tem um outro tubo contraído sobre ele. As especificações são:

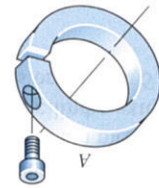
5-34

No Problema 5-31, o papel do parafuso era induzir tração diferencial que produz o aperto. O parafuso deve ser colocado tal que nenhum momento é induzido no anel. Onde justamente deve o parafuso ser colocado?

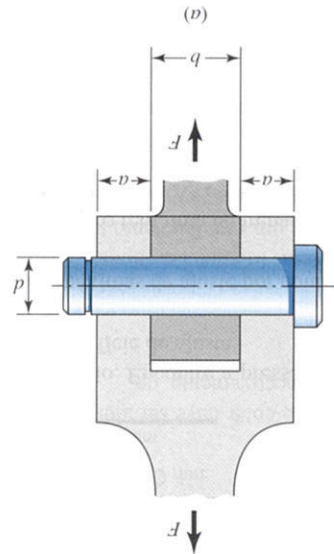
5-33

Suponha que o colar do Problema 5-31 seja apertado usando um torque de rosca de 20 N·m. O material do colar é aço AISI 1040 termotratado a uma resistência de escoamento mínima de 430 MPa.
 (a) Calcule a tração no parafuso.
 (b) Relacionando a tensão tangencial à tração diferencial, encontre a pressão interna do eixo no anel.
 (c) Encontre as tensões tangencial e radial na superfície interna do anel.
 (d) Determine a tensão de cisalhamento máxima e a tensão de von Mises.
 (e) Quais são os fatores de segurança baseados na hipótese da tensão de cisalhamento máxima e na teoria de energia de distorção?

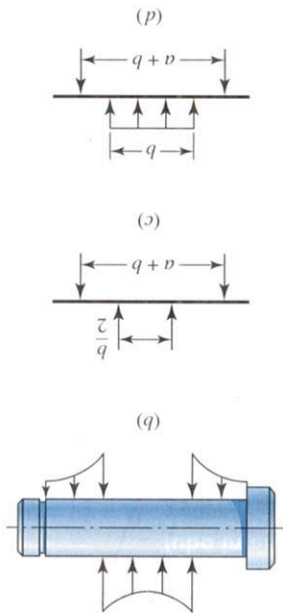
5-32



Problema 5-31



Problema 5-29



- 5-35** Tubos de aço com módulo de Young de 207 GPa têm as especificações:

	Tubo interno	Tubo externo
ID	$25 \pm 0,050$ mm	$49,98 \pm 0,010$ mm
OD	$50 \pm 0,010$ mm	$75 \pm 0,10$ mm

Eles são ajustados um ao outro por contração. Encontre a pressão nominal de ajuste por contração e a tensão de von Mises em cada corpo na superfície de ajuste.

- 5-36** Repita o Problema 5-35 para condições máximas de ajuste por contração.
- 5-37** Um eixo sólido de aço de 50 mm de diâmetro tem uma engrenagem com cubo de ferro fundido ASTM grau 20 ($E = 100$ GPa) ajustado a ele por contração. As especificações para o eixo são

$$\begin{array}{r} +0,0000 \\ 50 \quad \text{mm} \\ -0,01 \end{array}$$

O orifício no cubo é dimensionado a $49 \pm 0,01$ mm com um diâmetro externo OD de $100 \pm 0,8$ mm. Usando valores de meio de intervalo e a teoria de Mohr modificada calcule o fator de segurança resguardando contra fratura no cubo da engrenagem devido ao ajuste de contração.

- 5-38** Dois tubos de aço são ajustados entre si por contração, sendo os diâmetros nominais 38 mm, 44 mm e 50 mm. Medidas cuidadosas antes do ajuste revelam que a interferência diametral entre os tubos é de 0,06 mm. Após o ajuste, o conjunto é submetido a um torque de 900 N·m e um momento flexor de 700 N·m. Assumindo que não ocorra deslizamento entre os cilindros, analise o cilindro externo nos seus raios interno e externo. Determine o fator de projeto utilizando a energia de distorção com $S_y = 420$ MPa.

- 5-39** Repita o Problema 5-38 para o tubo interno.

- 5-40** Para as Equações (5-36), mostre que as tensões principais são dadas por

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right) \\ \sigma_2 &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \right) \\ \sigma_3 &= \begin{cases} 0 & \text{(tensão plana)} \\ \sqrt{\frac{2}{\pi r}} \nu K_I \cos \frac{\theta}{2} & \text{(deformação plana)} \end{cases} \end{aligned}$$

- 5-41** Use os resultados do Problema 5-40 para deformação plana próximos à ponta com $\theta = 0$ e $\nu = \frac{1}{3}$. Se a resistência ao escoamento da placa é S_y , qual o valor de σ_1 quando ocorre o escoamento?
- (a) Use a teoria da energia de distorção.
- (b) Use a teoria da tensão de cisalhamento máxima. Utilizando círculos de Mohr, explique a sua resposta.

- 5-42** Uma placa com largura de 100 mm, 200 mm de comprimento e 12 mm de espessura é carregada sob tração na direção do comprimento. A placa contém uma fissura, como aquela mostrada na Figura 5-26, com comprimento de 15,65 mm. O material é aço com $K_{Ic} = 490$ MPa·√m e $S_y = 1,1$ GPa. Determine a máxima carga possível que se pode aplicar antes que a placa (a) escoe e (b) apresente um crescimento incontrolável de fissura.

- 5-43** Um cilindro submetido à pressão interna p_i possui um diâmetro externo de 350 mm e uma espessura de parede de 25 mm. Para o material do cilindro, $K_{Ic} = 80$ MPa·√m, $S_y = 1200$ MPa e $S_{ut} = 1350$ MPa. Se o cilindro contém uma fissura radial na direção longitudinal, com profundidade de 12,5 mm, determine a pressão que causará crescimento incontrolável da fissura.

SM REPRESENTAÇÕES LTDA
Rua Aferees Polli nº 2722
CEP 80220-051 - Parolim - Curitiba - PR
Fone/Fax: (41) 3023-4342

SM REPRESENTAÇÕES LTDA

Um tubo de aço carbono possui um diâmetro externo de 25 mm e uma espessura de parede de 3 mm. O tubo deve carregar uma pressão hidráulica interna dada por $p = N(42, 35)$ MPa. O material do tubo possui uma resistência ao escoamento de $S_y = N(350, 28)$ MPa. Encontre a confiabilidade usando a teoria de parede fina.

✓ 5-46

Suponha que o colar do Problema 5-44 tenha uma resistência de escoamento de $S_y = N(660, 46)$ MPa. Qual é a probabilidade de que o material não escoar?

✓ 5-45

Essas tolerâncias supostamente têm uma distribuição normal, são centradas no intervalo de dispersão e têm um espalhamento total de desvios padrão. Determine as médias e desvios padrão das componentes de tensão tangencial para ambos os cilindros na interface.

$$d_i = 10 \pm 0,05 \text{ mm} \quad d_o = 20,06 \pm 0,01 \text{ mm}$$

Esse colar deve ser ajustado por contração a um eixo de aço vazado tendo diâmetros interno e externo, respectivamente, de

$$D_i = 20 \pm 0,01 \text{ mm} \quad D_o = 30 \pm 0,05 \text{ mm}$$

Um colar de aço carbono de 25 mm de comprimento deve ser usinado nos diâmetros interno e externo, respectivamente, de

✓ 5-44