Solucionário - Cap 2 - Resistência dos Materiais

Livro Elementos de Máquinas

Julio Almeida/Key Fonseca/Renato Barbieri

10.1 - Uma peça de aço AISI 1045 possui o limite resistência a tração de 630 MPa e o limite de resistência ao escoamento de 530 MPa. As tensões atuantes na região de maior solicitação são: σ_x = 150 MPa, σ_y = -65 MPa e τ_{xy} = 88 MPa. Para esse estado de tensões, determine o fator de segurança para as três teorias de falha estática.

Solução

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{150-65}{2} \pm \sqrt{(\frac{150+65}{2})^2 + 88^2}$$

$$\sigma_1 = 181{,}4\ MPa \qquad \sigma_2 = -96{,}42\ MPa$$

$$\tau = \sqrt{(\frac{150+65}{2})^2 + 88^2} = 138{,}9\ MPa$$

$$n_{TNM} = \frac{S_{esct}}{\sigma_1} = \frac{530}{181{,}4} = 2{,}92$$

$$n_{TCM} = \frac{S_{esc}}{2\tau} = \frac{530}{2(138{,}9)} = 1{,}91$$

$$\sigma' = (181{,}4^2 - 181{,}4.(-96{,}4) + 96{,}4^2)^{1/2} = 244{,}3\ MPa$$

$$n_{TED} = \frac{S_{esc}}{\sigma'} = \frac{530}{244{,}3} = 2{,}17$$

10.2 - Uma barra de ferro fundido ASTM nº20 possui limite de resistência a tração de 151,6 MPa e a compressão de 571,9 MPa. Essa barra possui uma seção transversal retangular de 50 × 6 mm e está submetida a um carregamento compressivo de 20 kN, combinado com uma carga cisalhante transversal de 7,5 kN atuante de forma perpendicular à dimensão de 50 mm. Nessas condições, calcular o fator de segurança para as três teorias de falha estática para materiais frágeis.

Solução

$$\sigma_x = \frac{F}{A} = \frac{-20000}{50 \times 6} = -66{,}7\ MPa$$

$$\tau_{xy} = \frac{V}{A} = \frac{7500}{50 \times 6} = 25\ MPa$$

$$\sigma = \frac{-66{,}7}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-66{,}7}{2}\right)^2 + 25^2}$$

$$\sigma_1 = 8{,}33\ MPa \qquad \sigma_2 = 0\ MPa \qquad \sigma_3 = -75\ MPa$$

$$n_{TNM} = \frac{S_{suc}}{\sigma_1} = \frac{-571{,}9}{-75} = 7{,}6$$

$$\frac{\sigma_1}{S_{utt}} + \frac{\sigma_3}{S_{utc}} = \frac{1}{n} \rightarrow \frac{8{,}33}{151{,}6} + \frac{-75}{-571{,}9} = \frac{1}{n} \rightarrow n_{TCM} = 5{,}37$$

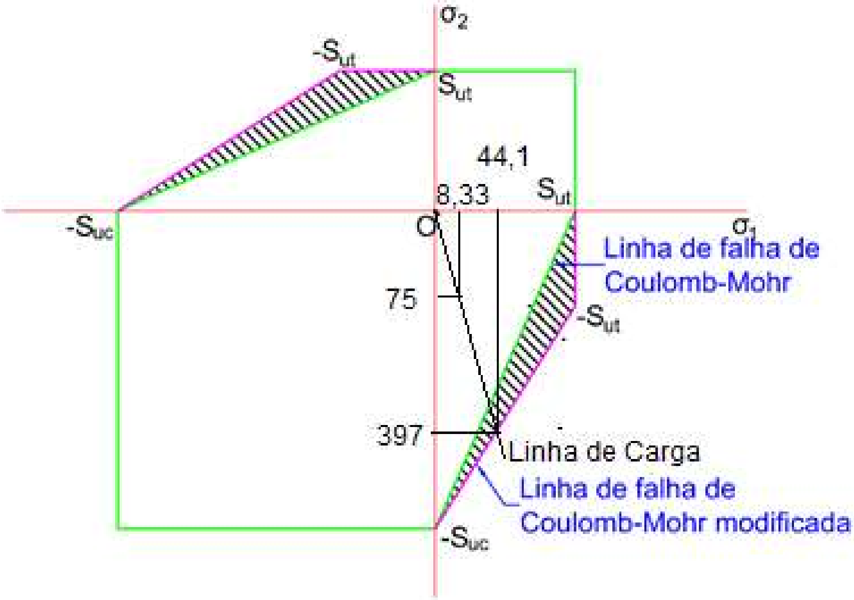
Para esse problema as tensões se encontram no 4º quadrante.

A equação da linha de carga é $\sigma_2 = -75/8{,}33\sigma_1$.

A equação da linha de falha para a TCMM é $\sigma_2 = 571{,}9/151{,}6(\sigma_1 - 151{,}6)$.

Igualando as duas equações (intersecção entre a linha de carga e a TCMM) encontra-se o limite da TCMM para σ_1 *e* σ_2*, ou seja, 44,1 e 397 MPa.*

$$n_{TCMM} = \frac{44{,}1}{8{,}33} = \frac{397}{75} = 5{,}29$$



σ2
-Sut
Sut
44,1
8,33
Sut
-Suc
O
σ1
Linha de falha de
Coulomb-Mohr
75
-Sut
397
Linha de Carga
Linha de falha de
Coulomb-Mohr modificada
-Suc

10.3 – Uma peça de aço AISI 1020 possui o limite de resistência ao escoamento de 380 MPa. Determine o fator de segurança para as três teorias de falha estática para materiais dúcteis, considerando os seguintes estados de tensão:

a) σ_x *= 100 MPa e* τ_{xy} *= 62 MPa;*

b) σ_x *= 100 MPa e* σ_y *= -52 MPa;*

c) σ_x *= 100 MPa,* σ_y *= -52 MPa e* τ_{xy} *= 62 MPa.*

Solução

a)	b)
$\sigma = \frac{100}{2} \pm \sqrt{(\frac{100}{2})^2 + 62^2}$	$\sigma = \frac{100-52}{2} \pm \sqrt{(\frac{100+52}{2})^2 + 0}$
$\sigma_1 = 129{,}6\,MPa \qquad \sigma_2 = -29{,}6\,MPa$	$\sigma_1 = 100\,MPa \qquad \sigma_2 = -52\,MPa$
$\tau = \sqrt{(\frac{100}{2})^2 + 62^2} = 79{,}6\,MPa$	$\tau = \sqrt{(\frac{100+52}{2})^2 + 0} = 76{,}0\,MPa$
$n_{TNM} = \frac{S_{esct}}{\sigma_1} = \frac{380}{129{,}6} = 2{,}93$	$n_{TNM} = \frac{S_{esct}}{\sigma_1} = \frac{380}{100} = 3{,}8$
$n_{TCM} = \frac{S_{esc}}{2\tau} = \frac{380}{2(79{,}6)} = 2{,}39$	$n_{TCM} = \frac{S_{esc}}{2\tau} = \frac{380}{2(76)} = 2{,}5$
$\sigma\,' = (129{,}6^2 - 129{,}6.(-29{,}6) + (-29{,}6^2))^{\frac{1}{2}} = 146{,}6\,MPa$	$\sigma\,' = (100^2 - 100.(-52) + (-52^2))^{\frac{1}{2}} = 133{,}8\,MPa$
$n_{TED} = \frac{S_{esc}}{\sigma\,'} = \frac{380}{146{,}6} = 2{,}59$	$n_{TED} = \frac{S_{esc}}{\sigma\,'} = \frac{380}{133{,}8} = 2{,}84$

c)

$$\sigma = \frac{100-52}{2} \pm \sqrt{(\frac{100+52}{2})^2 + 62^2}$$

$$\sigma_1 = 122{,}1\,MPa \qquad \sigma_2 = -74{,}1\,MPa$$

$$\tau = \sqrt{(\frac{100+52}{2})^2 + 62^2} = 98{,}1\,MPa$$

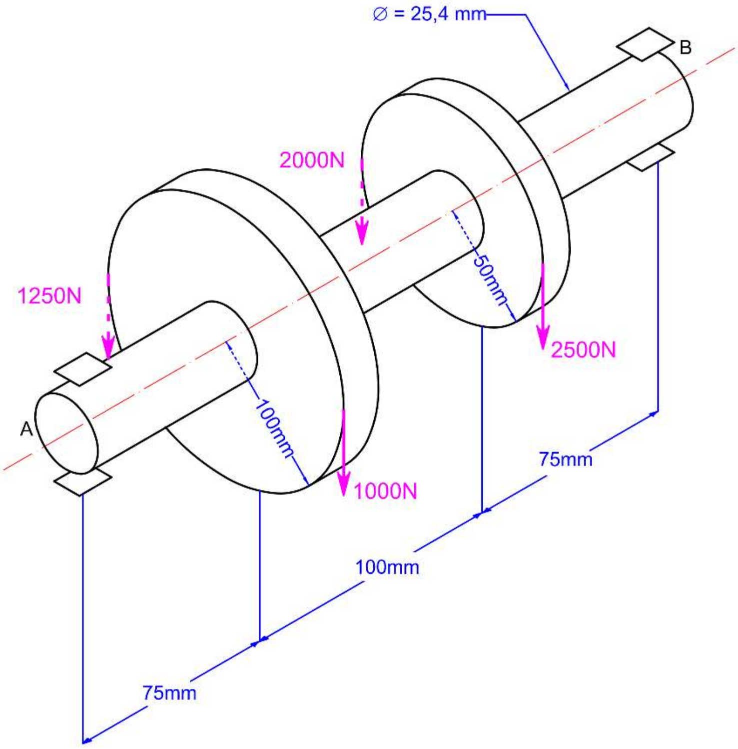
$$n_{TNM} = \frac{S_{esct}}{\sigma_1} = \frac{380}{122{,}1} = 3{,}11$$

$$n_{TCM} = \frac{S_{esc}}{2\tau} = \frac{380}{2(98{,}1)} = 1{,}94$$

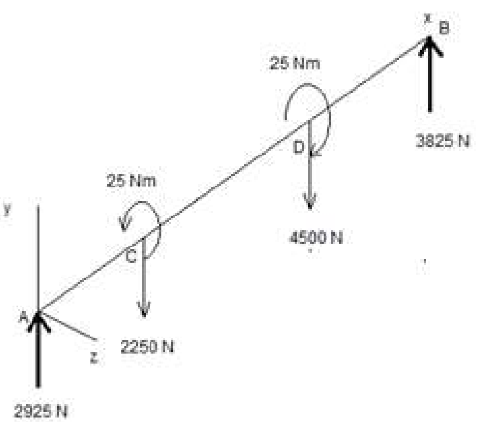
$$\sigma' = (122{,}1^2 - 122{,}1.(-74{,}1) + (-74{,}1^2))^{\frac{1}{2}} = 171{,}6\ MPa$$

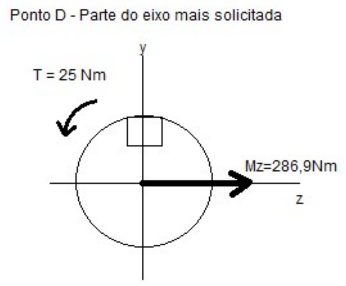
$$n_{TED} = \frac{S_{esc}}{\sigma'} = \frac{380}{171{,}6} = 2{,}21$$

10.4 - No eixo da figura estão acopladas duas polias com os carregamentos indicados. Além disso, sabe-se que o eixo foi fabricado de aço AISI 1020 com limite de resistência ao escoamento de 380 MPa. Para a seção de maior solicitação do eixo, determine o fator de segurança aplicado contra falhas estáticas para os critérios da tensão cisalhante máxima e para o critério da máxima energia de distorção.



<u>Solução</u>





$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{286{,}9\left(\frac{0{,}0254}{2}\right)}{\frac{\pi}{64}0{,}0254^2} = 178{,}3\ MPa$$

$$\tau_{xz} = \frac{Tr}{J} = \frac{25\left(\frac{0{,}0254}{2}\right)}{\frac{\pi}{32}0{,}0254^4} = 77{,}7\ MPa$$

$$\sigma = \frac{178{,}3}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{178{,}3}{2}\right)^2 + 77{,}7^2}$$

$\sigma_1 = 207{,}4\ MPa \qquad \sigma_2 = -29{,}2\ MPa$

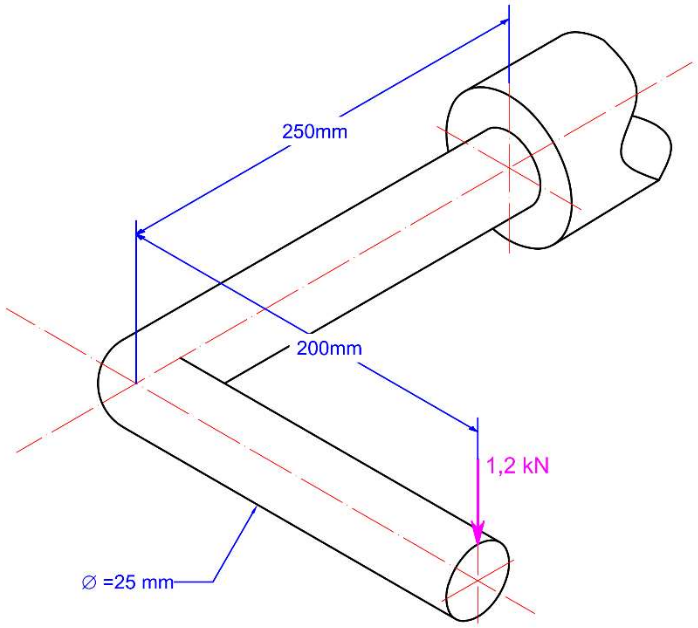
$$\tau = \sqrt{\left(\frac{178{,}3}{2}\right)^2 + 77{,}7^2} = 118{,}3MPa$$

$$n_{TCM} = \frac{S_{esc}}{2\tau} = \frac{380}{2(118{,}3)} = 1{,}61$$

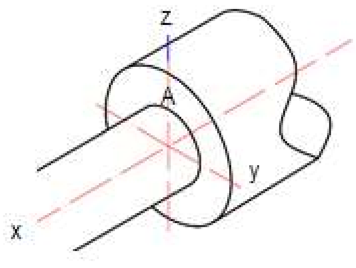
$$\sigma' = (207{,}4^2 - 207{,}4.(-29{,}2) + (-29{,}2^2))^{\frac{1}{2}} = 223{,}4\ MPa$$

$$n_{TED} = \frac{S_{esc}}{\sigma'} = \frac{380}{223{,}4} = 1{,}70$$

10.5 - A barra da figura é fabricada de aço com limite de resistência ao escoamento de 340 MPa. Para a região de maior solicitação, determine o fator de segurança aplicado contra falhas estáticas para os critérios da tensão cisalhante máxima e para o critério da máxima energia de distorção.



Solução



Momentos atuantes em A $\rightarrow$ $Mx = T = -240\ Nm \qquad My = 300\ N.m$

Para um elemento infinitesimal localizado no ponto A, as tensões atuantes são:

$$\sigma_x = \frac{M_y c}{I} = \frac{300\left(\frac{0{,}025}{2}\right)}{\frac{\pi}{64}0{,}025^2} = 195{,}6\ MPa$$

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{240\left(\frac{0{,}025}{2}\right)}{\frac{\pi}{32}0{,}025^4} = 78{,}2\ MPa$$

$$\sigma = \frac{195,6}{2} \pm \sqrt{(\frac{195,6}{2})^2 + 78,2^2}$$

$\sigma_1 = 223\ MPa \qquad \sigma_2 = -27,4\ MPa$

$$\tau = \sqrt{(\frac{195,6}{2})^2 + 78,2^2} = 125,2MPa$$

$$n_{TCM} = \frac{S_{esc}}{2\tau} = \frac{340}{2(125,2)} = 1,35$$

$$\sigma\,' = (223^2 - 223.(-27,4) + (-27,4^2))^{\frac{1}{2}} = 237,9\ MPa$$

$$n_{TED} = \frac{S_{esc}}{\sigma\,'} = \frac{340}{237,9} = 1,43$$

10.6 - Determine os fatores de segurança contra falha estática para um pino de aço 1045 trefilado à quente de 6,35 mm de diâmetro, quando o mesmo estiver submetido a um carregamento axial de tração de 4,0 kN e uma torção de 8 N.m. Para os carregamentos aplicados, calcule o fator de segurança para as três teorias de falha estática para materiais dúcteis. As propriedades do pino são: S_{ut} = 570 MPa e S_{esc} = 310 MPa.

Solução

$$\sigma_x = \frac{F}{A} = \frac{4000}{\frac{\pi}{4}.6{,}35^2} = 126{,}3\ MPa$$

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{8.(\frac{0{,}00635}{2})}{\frac{\pi}{32}0{,}00635^4} = 159{,}1\ MPa$$

$$\sigma = \frac{126{,}3}{2} \pm \sqrt{(\frac{126{,}3}{2})^2 + 159{,}1^2}$$

$$\sigma_1 = 234{,}4\ MPa \qquad \sigma_2 = -108\ MPa$$

$$\tau = \sqrt{(\frac{126{,}3}{2})^2 + 159{,}1^2} = 171{,}2MPa$$

$$n_{TNM} = \frac{S_{esct}}{\sigma_1} = \frac{310}{234{,}4} = 1{,}32$$

$$n_{TCM} = \frac{S_{esc}}{2\tau} = \frac{310}{2(171{,}2)} = 0{,}9$$

$$\sigma\,' = (234{,}4^2 - 234{,}4.(-108) + (-108^2))^{\frac{1}{2}} = 303{,}2\ MPa$$

$$n_{TED} = \frac{S_{esc}}{\sigma\,'} = \frac{310}{303{,}2} = 1{,}02$$

10.7 - Um eixo de aço 1045 temperado e revenido possui S_{ut} = 725 MPa e dureza de 225 HB. Pede-se: a) estime o limite de resistência à fadiga para um corpo de prova de uma viga rotativa polida para 10^6 ciclos; b) estime o limite de resistência à fadiga para uma viga rotativa polida que atinge, ao romper-se, 10^5 ciclos; c) estime a vida esperada se for aplicada uma tensão alternada de 530 MPa ao corpo de prova.

<u>Solução</u>

a) $S_e^{'} = 0{,}504\, S_{ut} = 0{,}504.725 = 365\, MPa$

b) Para 10^5 ciclos

S_{ut} = 725 MPa → f = 0,835 (Figura 2.10)

$a = \frac{(f \cdot S_{ut})^2}{S_e} = \frac{(0{,}835 \times 725)^2}{365} = 1004$

$b = -\frac{1}{3} log \left[\frac{f \cdot S_{ut}}{S_e}\right] = -1/3 \log \frac{0{,}835 \times 725}{365} = -0{,}0732$

$S_f = aN^b = 1004 \times (10^5)^{-0{,}07} \quad = 432\, MPa$

c) Para uma tensão alternada de 530 MPa

$530 = aN^b = 1004 \times (N)^{-0{,}073} \rightarrow N = 13680\, ciclos$

10.8 - Determine o limite de resistência a fadiga para vida infinita considerando uma confiabilidade de 99% para uma peça de aço 4340 retificada de 32 mm de diâmetro sob torção pura. As propriedades do aço são: dureza de 243 HB e limite de resistência a tração de 825 MPa.

<u>Solução</u>

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e' = 0{,}893 \times 0{,}856 \times 0{,}59 \times 1 \times 0{,}814 \times (0{,}504 \times 825) = 152{,}6\ MPa$$

10.9 - Estime a vida de um eixo torneado de 1 polegada de diâmetro sob uma flexão alternada de 250 MPa considerando uma confiabilidade de 90%. O eixo é fabricado com aço carbono 1045 temperado e revenido com limite de resistência a tração igual a 700 MPa e possui um entalhe, o qual fornece um fator de concentração de tensões de 0,8.

Solução

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' = 0{,}795 \times 0{,}877 \times 1 \times 1 \times 0{,}897 \times 0{,}8 \times (0{,}504 \times 700)$$
$$= 176{,}5\ MPa$$

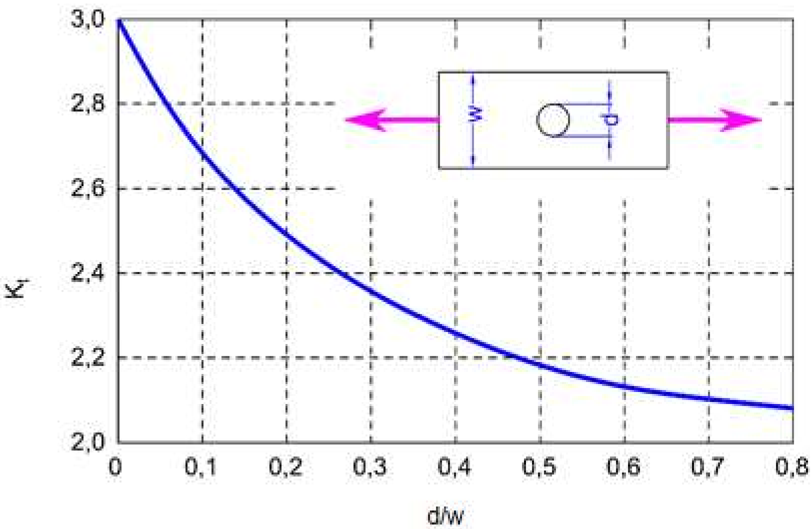
S_{ut} = 700 MPa → f = 0,843 (Figura 2.10)

$$a = \frac{(f \cdot S_{ut})^2}{S_e} = \frac{(0{,}843 \times 700)^2}{176{,}5} = 1972{,}9$$

$$b = -\frac{1}{3} log\left[\frac{f \cdot S_{ut}}{S_e}\right] = -1/3 \log \frac{0{,}843 \times 700}{176{,}5} = -0{,}174$$

$$S_f = aN^b = 1972{,}9 \times (N)^{-0{,}174} \rightarrow 250 = 1972{,}9 \times (N)^{-0{,}174} \rightarrow N = 1{,}43.10^5 ciclos$$

10.10 - Determine o limite de resistência à fadiga, desejando uma confiabilidade de 95%, de uma barra retangular de aço 1020 laminada à frio sob carregamento axial totalmente reverso. A barra possui secção transversal de 25,4 x 4,2 mm, S_{ut} = 380 MPa e S_{esc} = 210 MPa. Sabe-se que a barra possui um furo de diâmetro 4,0 mm na sua metade e que sua temperatura é de 50°C durante a aplicação do carregamento reverso.

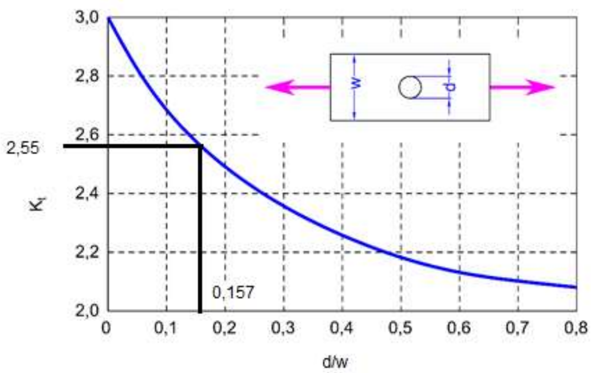


Solução

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' = 0{,}934 \times 0{,}988 \times 0{,}85 \times 1{,}01 \times 0{,}868 \times (0{,}504 \times 380)$$
$$= 131{,}69\,MPa$$

$$d_e = 0{,}808(hb)^{\frac{1}{2}} = 0{,}808(25{,}4 \times 4{,}2)^{\frac{1}{2}} = 8{,}34\,mm$$

$$k_b = 1{,}24d^{-0{,}107} = 1{,}24(8{,}34)^{-0{,}107} = 0{,}988$$

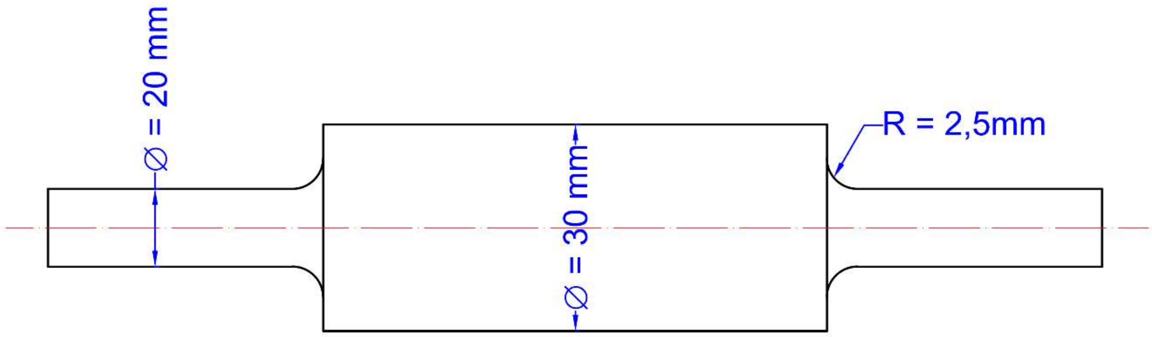


$$k_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0{,}70(2{,}55 - 1) = 2{,}085$$

Aplicando k_f ao limite de resistência a fadiga tem-se:

$$S_e = \frac{131{,}69}{2{,}085} = 63{,}2\,MPa$$

10.11 - O eixo da figura está sob flexão alternada de 50 MPa. Determine a tensão máxima atuante sob o mesmo sabendo que seu S_{ut} = 550 MPa.



Solução

$r/d = 2{,}5/20 \ = 0{,}125$

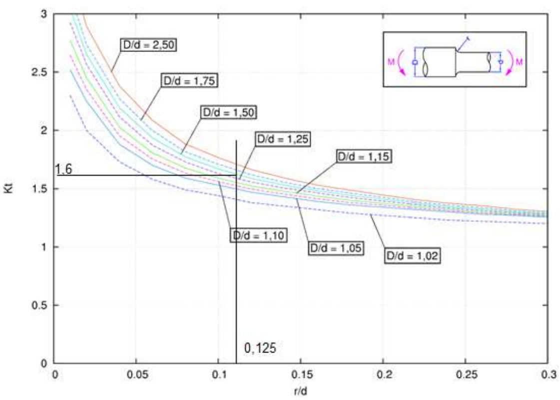
$D/d = 30/20 \ = \ 1{,}5$

$K_t = 1{,}6$

$q = 0{,}8 \ (Fig. 2{,}13)$

$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0{,}80(1{,}6 - 1) = 1{,}48$

$\sigma_{max} = K_f \sigma_o = 1{,}48 \times 50 \ = 74 \ MPa$



10.12 – Uma barra retangular de ferro fundido cinzento ASTM nº20 (S_{ut} = 152 MPa e S_{uc} = 572 MPa) está submetida a um carregamento axial totalmente alternado de 50 MPa. Determine a máxima tensão atuante na barra sabendo tem dimensões de 100 x 25 mm e que no meio da mesma existe um furo de 25 mm de diâmetro.

Solução

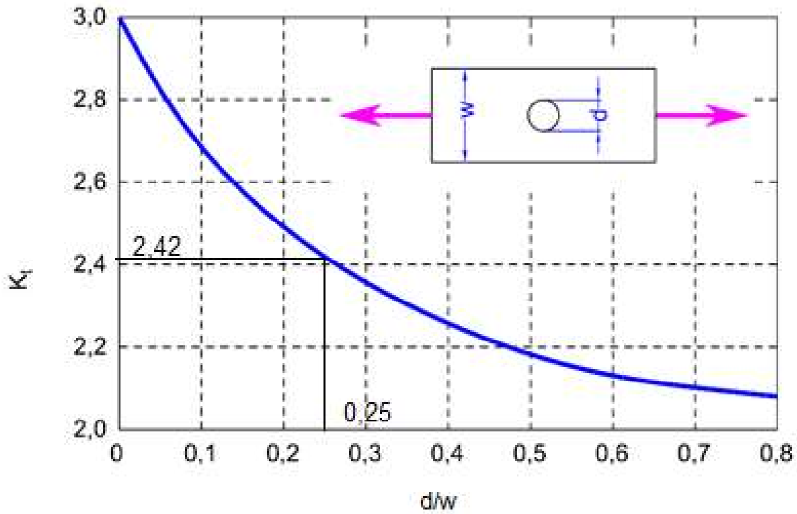
$d/w = 25/100 = 0,25$

$K_t = 2,42 \rightarrow Fig.\ 2.12$

$q = 0,2 \rightarrow ferros\ fundidos$

$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0,2(2,42 - 1) = 1,284$

$\sigma_{max} = K_f \sigma_o = 1,284 \times 50 = 64,2\ MPa$



10.13 - Uma barra de aço de 25 mm de diâmetro possui as seguintes propriedades: S_{esc} = 360 MPa e S_e = 162 MPa. Essa barra deve suportar um carregamento flutuante que varia entre -10 e 50 kN. Determine o fator de segurança utilizando o critério de falha de Soderberg aplicado no dimensionamento da barra, sabendo que sobre a mesma existe um entalhe que produz um fator de concentração de tensões de 1,75.

Solução

$$\sigma_{max} = \frac{50000}{\frac{\pi}{4}.25^2} = 102\ MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{-10000}{\frac{\pi}{4}.25^2} = -20{,}4\ MPa$$

$$\sigma_{mo} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 40{,}8\ MPa$$

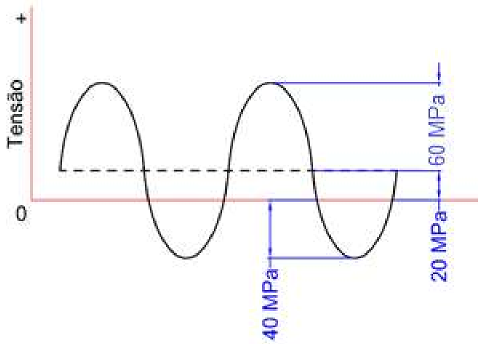
$$\sigma_{ao} = \left|\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}\right| = 61{,}1\ MPa$$

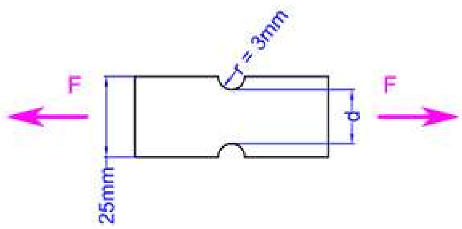
$$\sigma_m = K_f \sigma_{mo} = 1{,}75(40{,}8) = 71{,}4\ MPa$$

$$\sigma_a = K_f \sigma_{ao} = 1{,}75(61{,}1) = 106{,}9\ MPa$$

Aplicando Soderberg $\rightarrow \frac{\sigma_a}{S_e/n} + \frac{\sigma_m}{S_{esc}/n} = 1 \rightarrow \frac{106{,}9}{162/n} + \frac{71{,}4}{360/n} \rightarrow n = 1{,}16$

10.14 - Uma barra retangular é fabricada de aço com S_{ut} = 400 MPa e S_{esc} = 320 MPa e possui as seguintes dimensões: largura de 25 mm e espessura de 4 mm. A barra laminada à frio suporta as tensões indicadas em figura. Para uma confiabilidade de 90%, determine o fator de segurança aplicado a barra de acordo com o critério de falha de Soderberg.





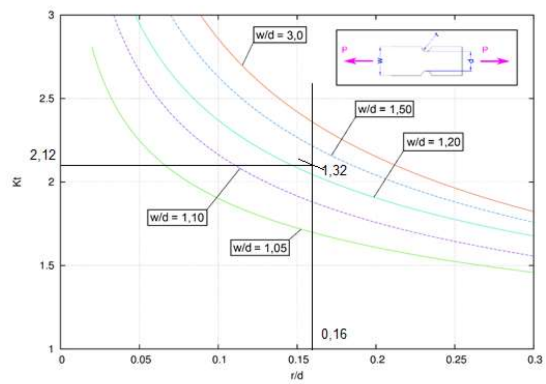
<u>Solução</u>

$$\sigma_{max} = 80\ MPa$$

$$\sigma_{min} = -40\ MPa$$

$$\sigma_{mo} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 20\ MPa$$

$$\sigma_{ao} = \left|\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}\right| = 60\ MPa$$

$q = 0{,}77\ (Fig. 2.13)$ $r/d = 3/19 = 0{,}16$ $w/d = 25/19 = 1{,}3$ $K_t = 2{,}12$ $K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0{,}77(2{,}12 - 1) = 1{,}862$	

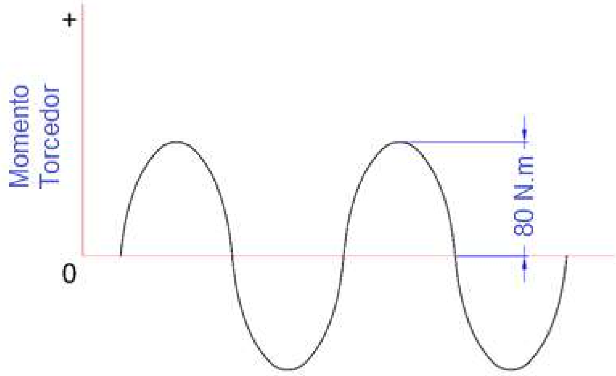
$$\sigma_m = K_f \sigma_{mo} = 1{,}862(20) = 37{,}2\ MPa$$

$\sigma_a = K_f \sigma_{ao} = 1{,}862(60) = 112\ MPa$

$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e' = 0{,}921 \times 0{,}992 \times 0{,}85 \times 1 \times 897 \times (0{,}504 \times 400) = 140{,}4 MPa$

Aplicando Soderberg $\rightarrow \frac{\sigma_a}{S_e/n} + \frac{\sigma_m}{S_{esc}/n} = 1 \rightarrow \frac{112}{140{,}4/n} + \frac{37{,}2}{320/n} \rightarrow n = 1{,}1$

10.15 – Um eixo de aço carbono está sob torção totalmente reverso de acordo com o gráfico da sequência. Para esse eixo deve ser aplicado um fator de concentração de tensões corrigido para vida infinita de 1,6. Determine o diâmetro necessário para que o mesmo suporte o carregamento mostrado aplicando um fator de segurança de 1,75. As propriedades do aço são: S_{ut} = 780 MPa, S_{esc} = 690 MPa e S_e = 200 MPa.



__*Solução*__

$$\frac{\tau_a}{S_e/n}+\frac{\tau_m}{S_{esc}/n}=1\rightarrow\frac{\tau_a}{200/1{,}75}+\frac{0}{S_{esc}/n}=1\rightarrow\tau_a=114{,}3\ MPa$$

$$\tau_a=K_{fs}\tau_{ao}\rightarrow 114{,}3=1{,}6\tau_{ao}\rightarrow\tau_{ao}=71{,}42\ MPa$$

$$\tau_{ao}=\frac{Tr}{J}\rightarrow\tau_{ao}=\frac{T\frac{d}{2}}{\frac{\pi}{32}d^4}\rightarrow d=\sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_{ao}}}=\sqrt[3]{\frac{16(80)}{\pi.71{,}42.10^6}}\rightarrow d=0{,}0179\ m$$

10.16 – Uma barra de secção circular com diâmetro de 38,1 mm está sendo solicitada por um carregamento de flexão flutuante que varia entre 40 e 130 kN.m. A barra é feita de aço laminado à frio com S_{ut} = 470 MPa e S_{esc} = 390 MPa. Determine os fatores de segurança contra falha por fadiga para uma confiabilidade de 99% através dos seguintes critérios: Soderberg, Goodman Modificado, Gerber e ASME Elíptico.

Solução:

$$\sigma_{max} = \frac{130000}{\frac{\pi}{4}38{,}1^2} = 114\,MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{40000}{\frac{\pi}{4}38{,}1^2} = 35{,}1\,MPa$$

$$\sigma_{mo} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 74{,}6\,MPa$$

$$\sigma_{ao} = \left|\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}\right| = 39{,}4\,MPa$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e' = 0{,}883 \times 0{,}934 \times 1 \times 1 \times 0{,}814 \times (0{,}504 \times 470) = 159\,MPa$$

a) Soderberg

$$\frac{\sigma'_a}{S_e/n_S} + \frac{\sigma'_m}{S_{esc}/n_S} = 1 \Rightarrow \frac{39{,}4}{159/n_S} + \frac{74{,}6}{390/n_S} \Rightarrow n_S = 2{,}27$$

b) Goodman modificado

$$\frac{\sigma'_a}{S_e/n_{GM}} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}/n_{GM}} = 1 \Rightarrow \frac{39{,}4}{159/n_{GM}} + \frac{74{,}6}{470/n_{GM}} = 1 \Rightarrow n_{GM} = 2{,}45$$

c) Gerber

$$\frac{\sigma'_a}{S_e/n_G} + \left(\frac{\sigma'_m}{S_{ut}/n_G}\right)^2 = 1 \Rightarrow \frac{39{,}4}{159/n_G} + \left(\frac{74{,}6}{470/n_G}\right)^2 = 1 \Rightarrow n_G = 3{,}07$$

d) ASME elíptico

$$\left(\frac{\sigma'_a}{S_e/n_A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{S_{esc}/n_A}\right)^2 = 1 \Rightarrow \left(\frac{39{,}4}{159/n_A}\right)^2 + \left(\frac{74{,}6}{390/n_A}\right)^2 = 1 \Rightarrow n_A = 3{,}19$$