

4

Corpos-de-prova melhorados com mínima concentração de tensão

4.1. Introdução

O entidade americana conhecida como *American Standard for Testing Materials* (ASTM) padronizou muitos ensaios mecânicos, como por exemplo, o ensaio de fadiga axial de amplitude constante (E 466-96), ensaio de fadiga controlado pela deformação (E 606-92) e o ensaio de fadiga axial-torcional de corpos-de-prova (CDP) tubulares de paredes finas (E 2207-02). As amostras para ensaios possuem entalhes que conectam sua seção de teste uniforme com suas cabeças maiores necessárias para segurá-los. A prática usual é especificar entalhes com maior raio constante possível, uma vez que eles podem ser facilmente fabricados por tradicionais máquinas ferramentas. Entretanto, um entalhe com raio variável especificado corretamente pode ter um fator de concentração de tensão menos severo que o de raio constante. O objetivo deste capítulo é analisar a distribuição de tensão nestes CDPs usando o método dos elementos finitos e quantificar as melhorias na concentração de tensão, otimizando os entalhes de raio variável nos CDPs do tipo tração-compressão, flexão rotativa e flexão alternada, através da modificação de sua geometria sem modificar suas dimensões globais.

4.2. Corpos de prova de fadiga

Este estudo tem como objetivo avaliar a distribuição de tensão em CDPs padrão de fadiga, bem como encontrar maneiras de melhorar sua geometria, a fim de reduzir os efeitos de concentração de tensão nos filetes. Os CPDs de fadiga estudados estão numerados de I até V, conforme mostrado na figura 4.1. Os CPDs I até IV são corpos-de-prova padrão da ASTM e o CDP V é um corpo-de-prova genérico utilizado para ensaio de fadiga de flexão. Suas dimensões estão descritas na tabela 4.1.

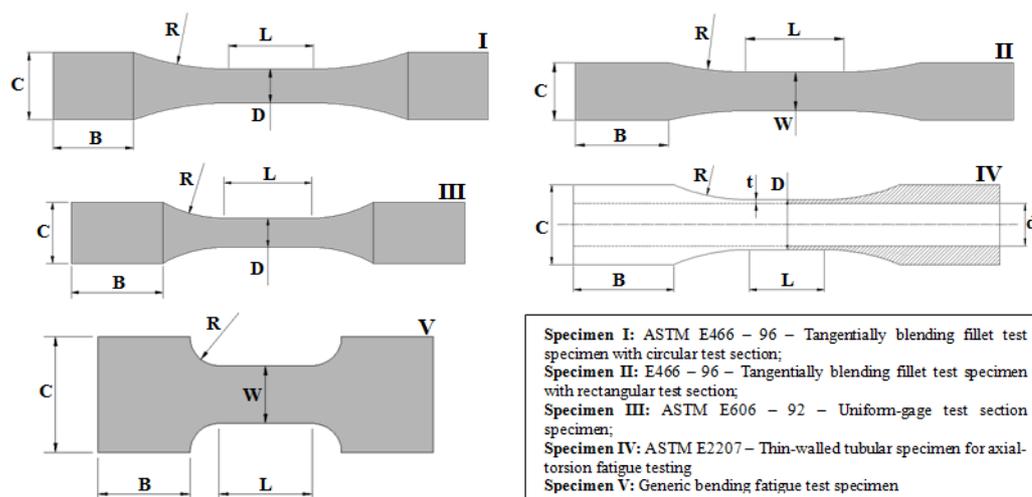


Figura 4.1 – Corpos-de-prova [49, 50, 51]

Tabela 4.1 – Dimensões dos corpos-de prova

Dimensão (mm)	Descrição	Corpo-de-prova de fadiga				
		I	II	III	IV	V
L	Comprimento da porção reta no meio do CPD	76.20	63.50	19.05	42.00	10.16
R	Raio de transição	203.20	203.20	50.80	89.60	3.18
D	Diâmetro da seção de ensaio	25.40	NA	6.35	28.00	NA
W	Largura da seção de ensaio	NA	25.40	NA	NA	6.35
C	Diâmetro/Largura externo(a)	50.80	NA	12.70	44.80	12.70
B	Comprimento da pega	60.00	60.00	19.05	56.0	10.00
di	Diâmetro interno do tubo	NA	NA	NA	23.80	NA
t	Espessura do tubo	NA	NA	NA	2.00	NA

Os CPDs foram modelados em APDL ANSYS versão 12 sob condições de tensão plana, usando elementos triangulares de seis nós e doze graus de liberdade. Devido à sua simetria geométrica, apenas um quarto do CPD foi modelados. A figura 4.2 mostra os modelos de elementos finitos para cada um dos cinco CPDs estudados. Os modelos I e III possuem perfis circulares e sua geometria e carga são axissimétricas ao longo do eixo y, o modelo II tem um perfil retangular simétrico ao longo do eixo y; o modelo IV tem um perfil tubular axissimétrico ao longo do eixo y e o modelo V tem um perfil retangular antisimétrico ao longo do eixo y devido as suas condições de carga de flexão.

4.3. Resultados

CPDs de fadiga padronizados usam o tradicional arco circular para conectar a seção uniforme com a sua cabeça, necessária para prendê-los nas máquinas de

ensaio. Seus filetes são especificados com generosos raios de curvatura constante que diminuem, mas não minimizam seu FCT. A figura 4.3 mostra o FCT de cada um dos modelos de elementos finitos para os CPDs padrões descritos na seção anterior. O FCT foi obtido dividindo-se a tensão de pico (na raiz entalhe) pela tensão nominal. É interessante observar como as tensões variam ao longo do perfil dos entalhes.

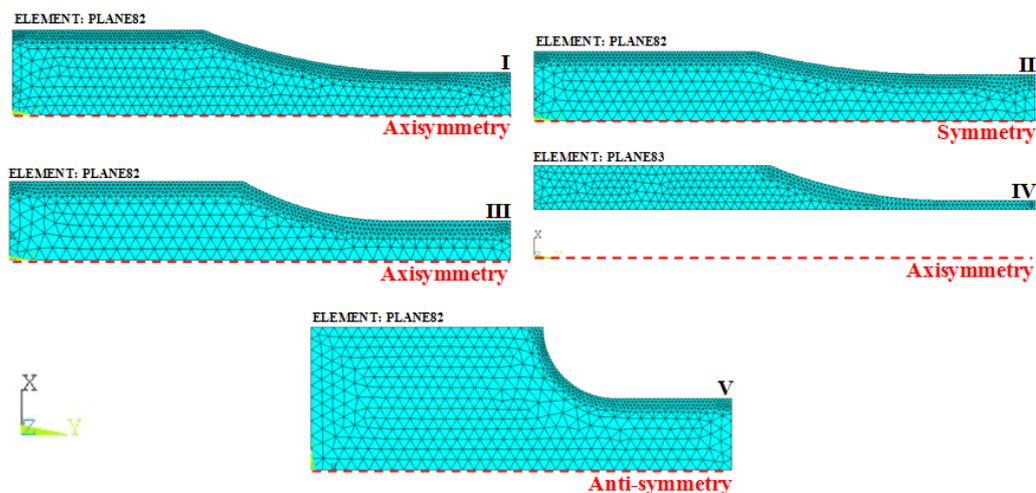


Figura 4.2 – Modelo de elementos finitos dos corpos-de-prova padrão

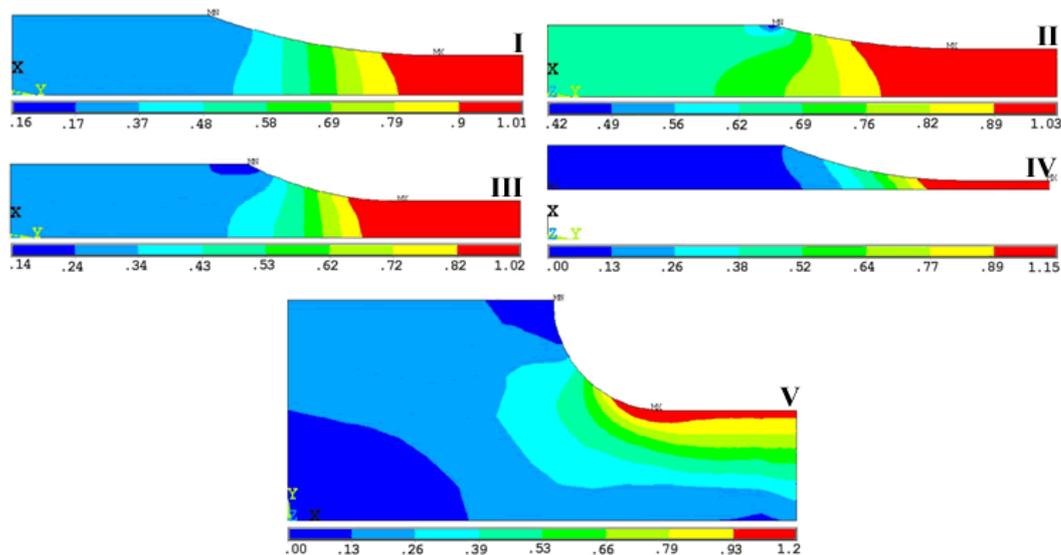


Figura 4.3 – FCT para os corpos-de-prova padrão

A figura 4.4 mostra o FCT para os filetes otimizados com geometrias de raios variáveis. É interessante notar como a tensão é mais suave nesses perfis melhorados.

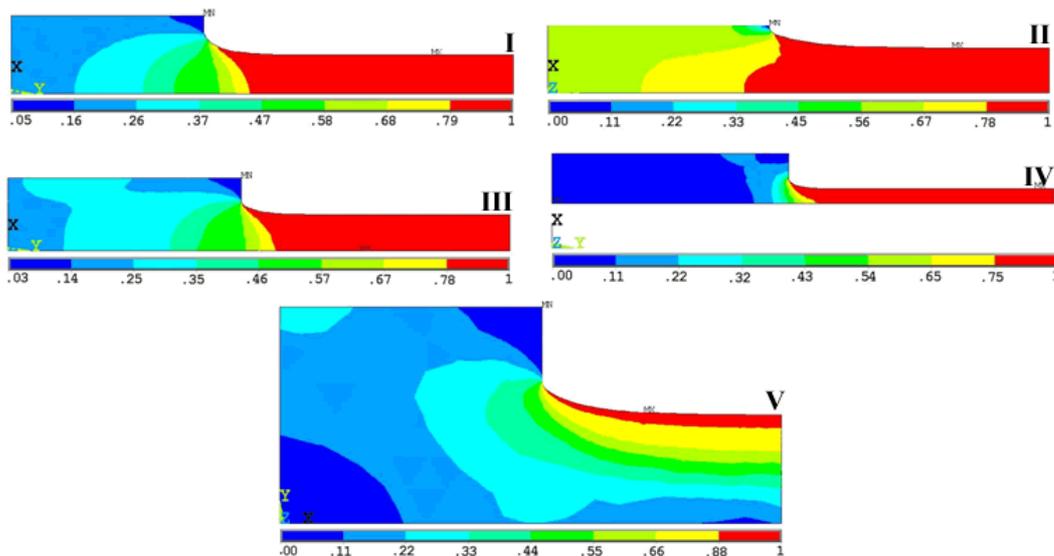


Figura 4.4 – FCT para os corpos-de-prova melhorados

A figura 4.5 mostra o FCT ao longo do filete para cada um dos CPDs, comparando os filetes originais e otimizados. Embora o FCT seja quase o mesmo, a distribuição de tensão ao longo da curva otimizada é praticamente constante.

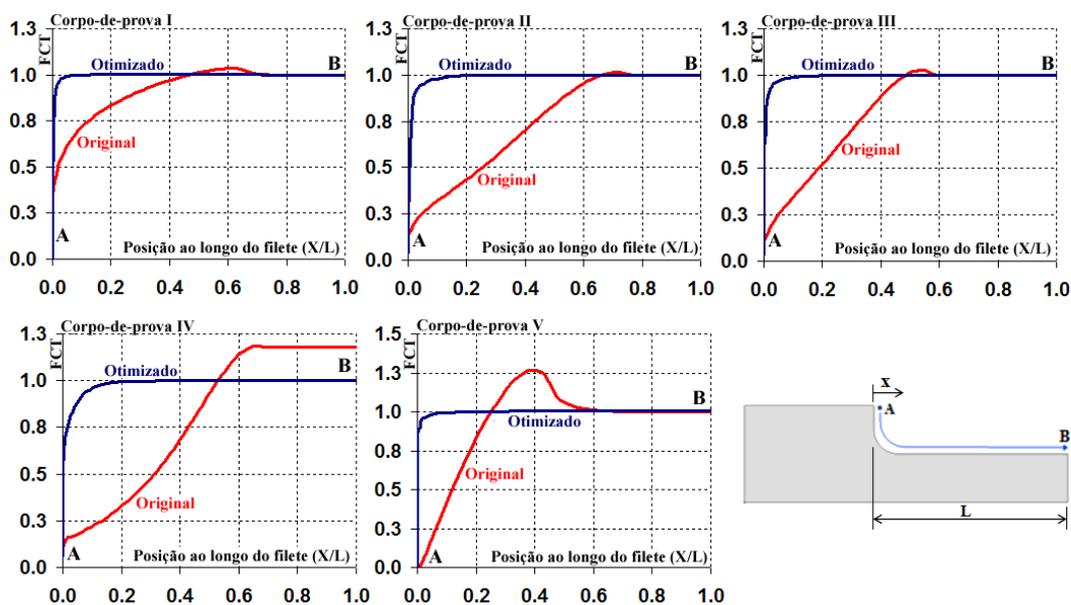


Figura 4.5 – FCT ao longo do filete

A figura 4.6 mostra um gráfico que compara sete diferentes filetes hipotéticos, cada um deles com uma relação diferente entre o seu raio (R) e largura da seção de teste (W), a fim de mostrar a influência de relação R/W sobre o FCT para o CPD 466 da ASTM (modelo II), que tem uma baixa relação de C/W .

Como pode ser visto, para o filete com $R/W = 0,25$, o FCT atinge um valor de cerca de 1,8. À medida que a relação R/W aumenta, o FCT reduz consideravelmente, até quase atingir a unidade quando $R/W \cong 8$, o que explica porque a ASTM especifica isso como o raio de concordância. Isso mostra claramente que o tradicional filete está longe de ser a melhor escolha para ser usado como a geometria de transição. No entanto, como o aumento do raio, o comprimento total (RL) necessário do CDP também aumenta.

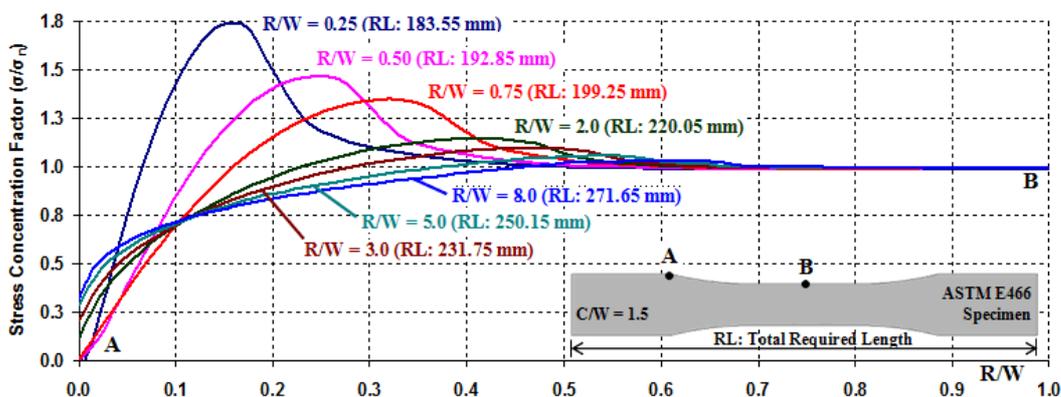


Figura 4.6 – Influência da relação R/W no FCT

CPDs com baixa relação C/W , como exemplificado na figura 4.6, geralmente possuem um grande raio de transição, a fim de reduzir o FCT. CPDs padrão da ASTM possuem baixas relações C/W , assim eles precisam ter um comprimento grande. Isso não é bom, não apenas porque eles exigem mais material, mas principalmente porque eles são menos resistentes a flambagem do que os CPDs mais curtos. CPDs otimizados podem ter o mesmo FCT com comprimentos muito menores. Na verdade, o algoritmo de otimização é definido por restrição geométrica, como limitações de comprimento.

A figura 4.7 mostra a distribuição do FCT ao longo de curvas otimizadas para o mesmo CDP da figura 4.6, com R/W , também variando de 0,25 a 8. Como pode ser visto, o processo de otimização é bastante eficiente para baixas relações R/W ; no entanto, sua eficácia se reduz à razão de R/W aumenta. A figura 4.8 apóia esta afirmação comparando o FCT original e otimizado do CDP 466 da ASTM, considerando relações de R/W , variando de 0,25 a 8 e mostrando o comprimento necessário do CDP para cada relação R/W . Embora o FCT reduza quase 80% do

$R/W = 0,25$ até $R/W = 8$, o espaço necessário para um filete maior e mais suave é 1,5 mais.

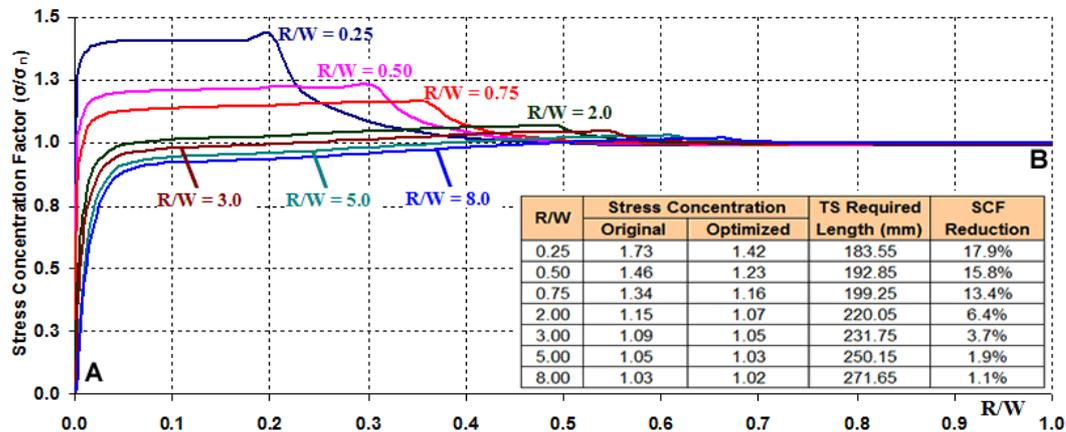


Figura 4.7 – Redução do FCT em relação a R/W

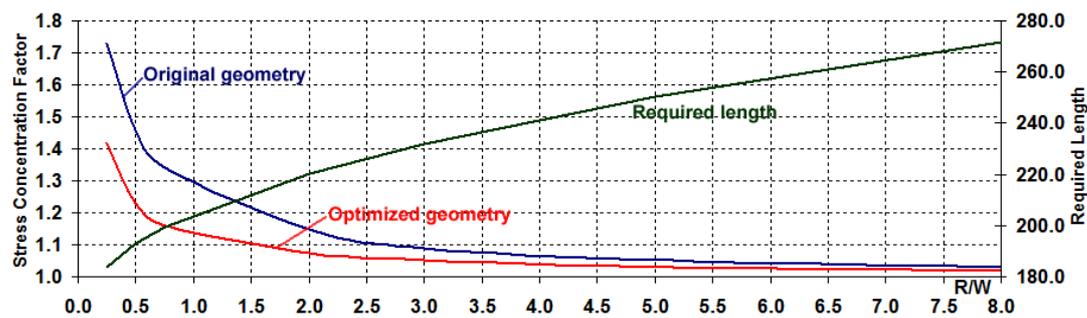


Figura 4.8 – Redução do FCT para as geometrias originais e otimizadas

Este procedimento de otimização resulta em uma tensão tangencial bastante uniforme ao longo do filete, conseqüentemente reduzindo o FCT quase que para o menor valor possível. A otimização pode ser aplicada eficientemente para componentes onde a tensão varie consideravelmente ao longo do filete, por exemplo, quando as relações R/W são baixas e em alguns casos, quando não é possível usar um raio grande devido a limitações de espaço. Em vez de se procurar uma solução academicamente ideal, pode ser mais interessante encontrar um modelo melhorado, econômico e viável. Portanto, de acordo com a figura 4.8, é possível encontrar um filete melhorado que reduz tanto o FCT quanto o comprimento total. Considerando uma relação de $R/W = 1,5$, por exemplo, e utilizando a curva de geometria otimizada, o FCT é apenas 1.1 e o comprimento total necessário é de cerca de 212.95 mm, 21% menor CDP com relação $R/W = 8$,

que não só resulta em uma considerável economia de material, mas também aumenta a resistência a flambagem. Outras ASTM amostras (I, III, IV e V) consideradas neste estudo seguem esse mesmo padrão.