

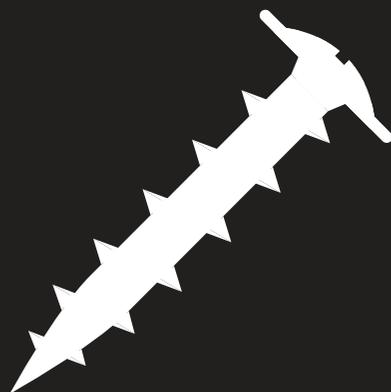
REVISTA DO

PARAFUSO

 The Fastener Brazil Magazine | Junho / Julho 2020 - Ano 14 - Nº 82

**ARTIGOS: UMA ANÁLISE TEÓRICA
DE TENSÕES DISTRIBUIDAS EM
CARCAÇA DE MATRIZ DE FORJAMENTO**

A FRIO - PARTE FINAL



**ESPECIAL: UM BALANÇO
SOBRE A EXPORTAÇÃO E
IMPORTAÇÃO DE FIXADORES**

**DÖRKEN MANTÉM EXPANSÃO
COM INAUGURAÇÃO
DUPLA NA ALEMANHA**

ENTREVISTA: VOLKER LEDERER, DA ASSOCIAÇÃO EUROPEIA DOS DISTRIBUIDORES DE FIXADORES

Análise teórica de tensões distribuídas em carcaça de matriz de forjamento a frio - Parte Final

Autor conclui estudo que busca elevar a eficiência na fabricação de fixadores por meio da ampliação da longevidade do ferramental

A teoria da energia de distorção (DE) - von Mises

O mecanismo de deformação é atualmente entendido como sendo causado pelo deslizamento de planos dentro de sua estrutura cristalina, devido a tensão de cisalhamento e é acompanhado pela distorção na forma da peça (Norton, 2013).

A teoria da energia de distorção prediz que o escoamento ocorre quando a energia de deformação por distorção em unidade de volume alcança ou excede a energia de deformação por distorção por unidade de volume no escoamento sob tração ou compressão simples do mesmo material.

(Budynas, R. G. Nisbetl, J. K. 2011, p. 234).

No caso de tração simples o escoamento ocorre quando a tensão equivalente é igual ou excede a tensão de escoamento do material ($\sigma \geq \sigma_e$).

Logo, para o estado geral de tensão, a tensão equivalente é usualmente chamada de tensão de von Mises (σ'). Assim o escoamento é previsto quando $\sigma' \geq \sigma_e$.

A tensão de von Mises é expressa por:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (10)$$

No qual $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ são tensões principais.

Para o caso de tensão biaxial, para um cilindro pressurizado ou carcaça matriz, onde σ_1 e σ_2 são as tensões principais não nulas, a eq. (10) se resume a eq. (11), apresentada por Billigmann e Feldmann (1979, p. 326), como tensão de solitação do material (σ_v), onde as tensões tangencial e radial assumem as tensões principais.

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_r^2} = \sigma_t \times \sigma_r \quad (11)$$

O fator de segurança para esta teoria pode ser expresso como:

$$FS = \frac{\sigma_e}{\sigma'}$$

Onde:

FS = Fator de segurança [adimensional]

σ_e = Tensão de escoamento do material de análise [MPa]

σ' = Tensão de von Mises [MPa]



Genival Gonçalves Santos

METODOLOGIA

O presente estudo abordou duas formas distintas para avaliar as tensões na carcaça da matriz, sendo simulação por meio de FEA (análise por elementos finitos), com o auxílio do software SolidEdge, e o cálculo analítico baseado na teoria de Lamé para cilindros de parede grossa.

No desenvolvimento do cálculo foi considerado o processo de recalque do *blank* da bucha cilíndrica, com comprimento inicial de ~17,5 mm e diâmetro inicial de 18,62 mm, conformado até o comprimento final de 13 mm e diâmetro de 21,60 mm.

A carcaça da matriz apresenta diâmetro externo de 130,18 mm e diâmetro interno de 45,50 mm. O núcleo/matriz tem diâmetro externo de 46 mm, conforme eq. (3), e diâmetro interno de 21,77 mm, antes da montagem. A interferência de montagem do conjunto, necessária ao forjamento da bucha foi definida conforme eq. (5).

A figura 5 ilustra esse processo, as composições químicas e propriedades mecânicas dos materiais envolvidos serão abordados nas seções a seguir.

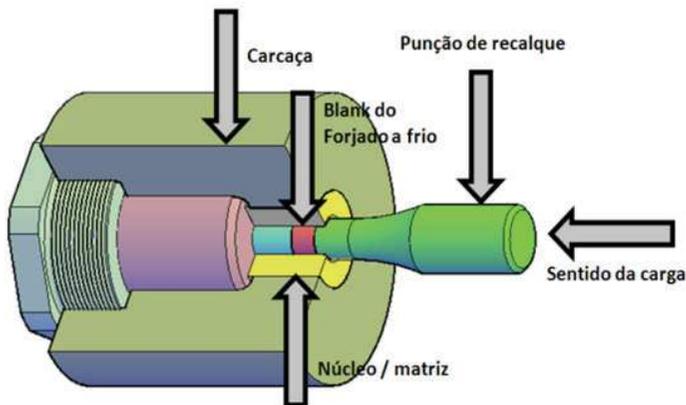


Figura 5: forjamento de uma bucha cilíndrica (autor, 2020)

Materiais de análise

O material adotado para o conformado (bucha) foi o AISI 5120 recozido, apontado por Button (1999, p.55) como aço de boa conformabilidade a frio. Sua resistência à deformação (kf) foi definida a partir do grau de deformação (φ) envolvido no processo e sua curva de fluência, baseado no exposto em Billigmann e Feldmann (1979, p. 526).

Sua composição química é exibida na tabela 1.

C	Mn	Si
0,17 - 0,22	1,10 - 1,40	0,40
P máx.	S máx.	Cr
0,035	0,035	1,00 - 1,30

Tabela 1: composição química do aço AISI 5120 (Favorit, 2020).

Quanto ao ferramental, foi adotado o aço AISI H13 na dureza de 46 HRC para a carcaça e VWM2 na dureza de 60 HRC para o núcleo/matriz.

Suas composições químicas assim como as propriedades mecânicas são expostas a seguir.

C	Si	Mn
0,39	1,0	0,4
Cr	Mo	V
5,3	1,3	0,9

Tabela 2: composição química do aço AISI H13 (Yildiz, 2016).

Líder Mundial em elementos de fixação e sistemas de montagem!

Fixadores metálicos, plásticos, especiais e itens normalizados.

ECOSIT®
Economic supply in time

Serviço logístico e entrega sequenciada na linha de montagem.

Benefícios para clientes:

- Sistema automatizado de fornecimento de peças
- Utilização de soluções inovadoras como RFID
- Transparência de dados, relatórios e rastreamento dos produtos
- Redução da base de fornecedores com uma única fonte
- Soluções logísticas e de suprimentos personalizadas
- Entrega do produto diretamente no ponto de uso

Certificados:

ABNT NBR
ISO 9001:2015

ABNT NBR
ISO 14001:2015

IATF
16949:2016

Böllhoff Service Center Ltda.
Av. Arquimedes, 500 CEP 13211-840 Jundiá, SP - Brasil

Fone: 00 55 (11) 2136-2500 . (11) 2136-2566 . (11) 2136-2637
SAC: 0800 707 5051
e-mail: vendas.sp@bollhoff.com | <http://www.bollhoff.com.br/>

Densidade [kg/m³]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Tensão de Escoamento [MPa]
7,8	210	1.330
Limite de Resistência a tração [MPa]	Coefficiente de Poisson	
1.450	0,30	

Tabela 3: propriedades mecânicas do aço AISI H13 com dureza de 46 HRC (Yıldız, 2016).

C	Cr	Mo
0,89	4,20	4,90
W	V	
6,20	1,80	

Tabela 4: composição química do aço VWM2 (Villares, 2019).

Densidade [kg/m³]	Módulo de Elasticidade [GPa]
7,81	217
Tensão de Escoamento [MPa]	Coefficiente de Poisson
2.281	0,28

Tabela 5: propriedades mecânicas do aço VWM2 com dureza de 60 HRC (Gomes, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando a operação de recalque a frio do *blank* da bucha cilíndrica eq. (1), e o coeficiente de atrito igual a 0,10, a tensão de recalque ou pressão interna "Pi" necessária a conformação é apresentada abaixo.

$$\sigma_r = K_f \left(1 + \frac{2}{3} \mu \cdot \frac{h_0}{h_1} \right) = 800,96 \text{ MPa}$$

Os cálculos desenvolvidos com base nas eq. (4), eq. (5) e eq. (7), estabelecem a pressão de contato atuante na interface matriz-carcaça, no valor de 972,51 MPa.

Considerando a carcaça da matriz como cilindro internamente pressurizado (pressão externa nula), os valores

obtidos para as tensões radial, tangencial e equivalente, eq. (8), eq. (9) e eq. (11), assim como os fatores de segurança eq. (12), são apresentados na tabela 6. Os resultados apresentados foram obtidos a partir da divisão da parede da carcaça em dez diâmetros equivalentes, figura 6.

Na simulação em *software* foi adotada a mesma pressão de contato (972,51 MPa), mesmas características geométricas, físicas e mecânicas para a carcaça, os valores de tensão equivalente, juntamente com os fatores de segurança alcançados neste teste são apresentados na figura 7.

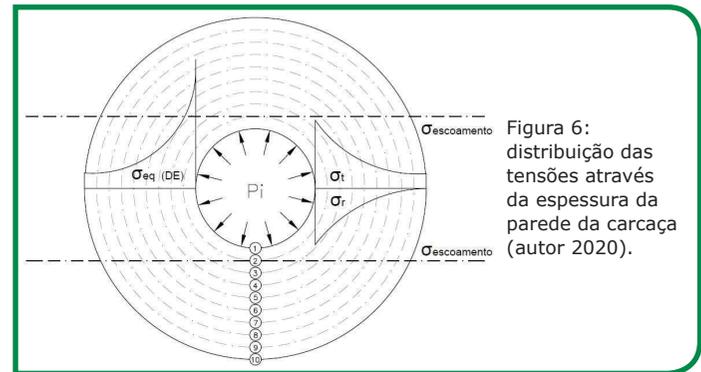


Figura 6: distribuição das tensões através da espessura da parede da carcaça (autor 2020).

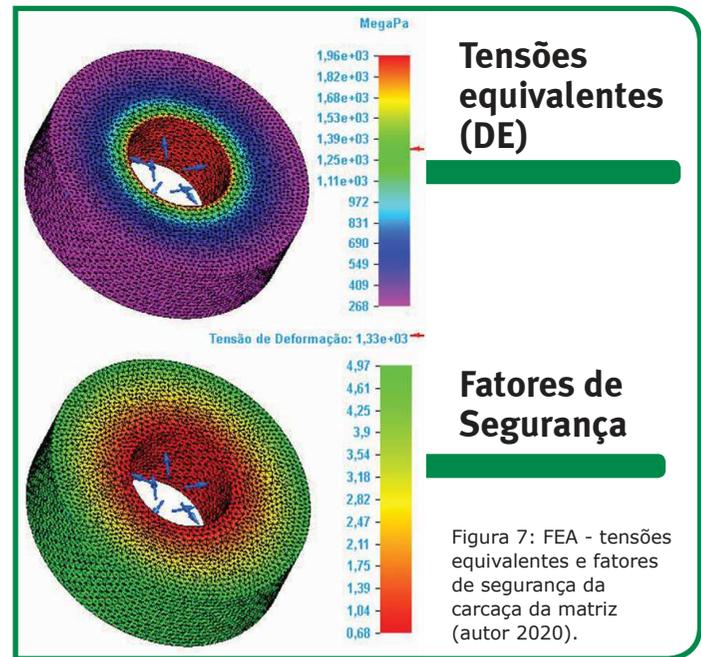


Figura 7: FEA - tensões equivalentes e fatores de segurança da carcaça da matriz (autor 2020).

Índice	Diâmetros Equivalentes [mm]	Tensões [MPa]			Fator de Segurança
		Tangencial	Radial	Equivalente	
1	∅ 45,50	1243,18	-972,51	1923,61	0,69
2	∅ 54,91	896,04	-625,37	1324,51	1,00
3	∅ 64,32	689,76	-419,09	969,78	1,37
4	∅ 73,73	557,28	-286,61	743,25	1,79
5	∅ 83,14	467,18	-196,50	590,48	2,25
6	∅ 92,54	403,13	-132,46	483,17	2,75
7	∅ 101,95	355,98	-85,31	405,43	3,28
8	∅ 111,36	320,27	-49,60	347,74	3,82
9	∅ 120,77	292,58	-21,91	304,13	4,37
10	∅ 130,18	270,67	0	270,67	4,91

Tabela 6: resultados das tensões e fatores de segurança distribuídos através da parede da carcaça.

CONCLUSÃO

A partir da simulação e dos cálculos desenvolvidos, foi possível observar que na montagem e operação do ferramental em questão as tensões são máximas no diâmetro equivalente ao furo da carcaça, com valores que ultrapassam o limite elástico do material.

Na análise, a carcaça foi dividida em dez diâmetros equivalentes. Na interface de montagem foi observada a maior tensão equivalente, na ordem de 1900 MPa, reduzindo a aproximadamente 270 MPa no diâmetro externo da carcaça. Os fatores de segurança apresentaram comportamento inverso, apresentando valor mínimo de 0,69 na interface de montagem e 4,91 no diâmetro externo da carcaça.

Comparando os métodos de análise foi possível verificar variação aproximada de 2% tanto nas tensões equivalentes, quanto nos fatores de segurança, em seus extremos.

A partir dos valores dos coeficientes de segurança encontrados é possível observar que 20% da parede da carcaça falha por escoamento, enquanto o restante permanece dentro de valores aceitáveis com os coeficientes de segurança aumentando ao passo que o ponto de análise se afasta do furo da carcaça.

Como a pressão máxima ocorre na interface de montagem, ali também surgem altas tensões tangenciais, resistivas a tensão radial, favorecendo o surgimento de micro trincas na face interna da carcaça, logo este deve ser o ponto de maior atenção durante o processo de montagem.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos professores da faculdade Una de Contagem, em especial ao MSc. Bruno Costa Chaves e a Dra. Fernanda Christina Teotônio Dias Troysi, pela orientação neste trabalho.

Agradece ainda aos amigos Wevilei Silva, Cássio Figueiredo, Saulo Fernandes, Hércules Lima, Sandro Aparecido, Celso Luís Coelho Bordignon, Anderson Rezende, Júlio Cesar dos Reis, Douglas Roberto Alves Fernandes, Crézio Alves da Silva, Raul Dangelis Marques e José Carlos Benatti, por contribuir e acreditar na realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- SUSKI, C. A.: "Conformação mecânica de múltiplos estágios", Florianópolis, SC, 2015.
- PYTEL, Andrew; SINGER, L. Ferdinand: "Resistencia de Materiales", 4ª ed., México, Editora Harla, 1977.
- COLLINS, J. A.: "Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas - Uma Perspectiva de Prevenção da Falha", 1ª ed., Editora LTC, 2002.
- JUVINALL, R. C.: "Stress, Strain and Strength", McGraw-Hill, Book Company, New York, 1967.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K.: "Elementos de Máquinas de Shigley", 8ª ed., Porto Alegre, Editora Bokman, 2011.
- NORTON, L. R. "Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada", 4ª ed., Porto Alegre, Editora Bookman, 2013.
- BILLIGMANN, J.; FELDMANN, H. D.: "Estampado y prensado a máquina", Editora Reverté, Barcelona, 1979.
- BRAGA, A.: "Cilindros de Paredes Grossas: Solução de Lamé", Departamento de Engenharia Mecânica, PUC - Rio de Janeiro, disponível em <http://abraga.usuarios.rdc.puc-rio.br/mecsol2/cilindros.pdf> (acesso em 5 de outubro de 2019).
- GOMES, L. S.: "Estudo comparativo entre o aço AISI M2 e o aço DIN 50 NICR13 no processo de conformação a frio", Universidade Presbiteriana Mackenzie, SP, 2019.
- "Catálogo de Aços para Construção Mecânica - Villares Metals, 2019", disponível em <http://www.villaresmetals.com.br/pt/Produtos/Acos-Rapidos/VWM2> (acesso em 30 de dezembro de 2019).
- Yildiz, H.: "A case study for improving tool life in cold forging: Carbon fiber composite reinforced dies", research on Engineering Structures & Materials, disponível em <http://jresm.org/archive/resm2016.24me2902.pdf> (acesso em 21 de fevereiro de 2020).
- BUTTON, S. T.: "Planejamento do processo e projeto de ferramentas para o forjamento a frio", São Paulo, SP, Unicamp, 1999.
- "Aços Construção Mecânica – Favorit Aços Especiais", disponível em <http://www.favorit.com.br/produtos/acosconstrucao-mecanica/aco-din-20-mn-cr5-5120> (acesso em 11 de abril de 2020).

Genival Gonçalves Santos

Técnico mecânico, graduando em engenharia mecânica | Faculdade UNA (Contagem, MG), o autor atua há mais de 17 anos na indústria de fixadores, 15 deles na Acument Brasil Sistemas de Fixação S.A., especificamente na planta industrial de Contagem, MG. Nessa empresa ele acumulou 11 anos de trabalho em ferramentaria, com produção e montagem de matrizes para fabricação de fixadores.

genivalgoncalves@hotmail.com