



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PIERRE BRENO NUNES DE ASSIS

**ANÁLISE DE TENSÃO E ESTABILIDADE EM MOLAS DE COMPRESSÃO PELO
MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

RUSSAS

2022

PIERRE BRENO NUNES DE ASSIS

ANÁLISE DE TENSÃO E ESTABILIDADE EM MOLAS DE COMPRESSÃO PELO
MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro

RUSSAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catálogo, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M885e Assis, Pierre Breno Nunes de
Análise de tensão e estabilidade em molas de compressão pelo método dos elementos finitos / Pierre Breno Nunes de Assis. – 2022.
97 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro.
1. Mola de compressão. 2. Concentração de tensão. 3. Elementos finitos. 4. Flambagem I. Título.

CDD 620.1

PIERRE BRENO NUNES DE ASSIS

ANÁLISE DE TENSÃO E ESTABILIDADE EM MOLAS DE COMPRESSÃO PELO
MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: 06/12/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cândido Jorge de Sousa Lobo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ms. Tiago de Oliveira Nogueira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Pedro e Elza, por ajudar a tornar tudo isso possível e à toda minha família, amigos e professores pelo apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sobretudo a Deus, que tem me sustentado e proporcionou todos os meios para isso ser possível, abençoando a minha vida pessoal e profissional de maneira a permitir esta vitória.

Agradeço aos meus pais, pois conseguiram tornar isso possível, onde não mediram esforços para eu poder ter toda a educação que tive. Também agradeço ao restante da minha família, em especial meu tio Ênio Nunes por todo o apoio e incentivo durante essa jornada de crescimento pessoal e intelectual.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Pedro Helton, e professor, Ms. Ramón Rudá, pelo incentivo e auxílio prestado ao decorrer do trabalho, pois ele foi crucial para que este estudo se tornasse possível.

Agradeço à Universidade Federal do Ceará, a todos os professores e servidores que fizeram parte da minha formação acadêmica, pois eles conseguiram auxiliar o cumprimento deste objetivo.

Agradeço a todos os colegas e amigos que conheci ao longo destes 5 anos, onde pude criar vínculos mais fortes de amizade e conseguiram tornar esta árdua jornada mais leve.

RESUMO

As molas helicoidais de compressão, quando carregadas, sofrem tensões de cisalhamento transversal e de torção. Devido à curvatura das espiras, as tensões nas regiões internas são amplificadas. Resultados para as molas cilíndricas de fio circular e quadrado são conhecidos. Analogamente às colunas, molas helicoidais de compressão podem falhar por flambagem. Assim, o objetivo deste trabalho consiste em realizar, através do método dos elementos finitos, a determinação do fator que correlaciona os efeitos do cisalhamento direto e de concentração de tensão devido à curvatura das espiras para as molas cilíndricas, cônicas, barril e ampulheta; efetuar análises de estabilidade relacionadas à flambagem em molas cilíndricas com fio de seção circular e quadrada e determinar a aplicabilidade dos resultados existentes para as molas cônicas, barril e ampulheta. As análises apresentaram resultados em consonância com os estudos anteriores para mola cilíndrica de fio quadrado e circular (desvio relativo médio máximo de 2,168%). Para as molas cônica, barril e ampulheta de fio circular pudemos concluir que fator de Wahl descreve bem o estado de tensão em toda a mola (desvio relativo médio máximo de 1,582%). Para as molas cônica barril e ampulheta de fio quadrado obtivemos resultados similares às de fio circular, exceto pela mola cônica que apresentou grande divergência entre os resultados existentes. Esse fato se deveu ao elevado ângulo de hélice. Os resultados de flambagem mostram que o fio quadrado melhora a estabilidade em decorrência do seu maior momento polar de inércia.

Palavras-chave: mola de compressão; concentração de tensão; elementos finitos; flambagem.

ABSTRACT

Compression helical springs, when loaded, undergo transverse shear and torsional stresses. Due to the curvature of the turns, the stresses in the inner regions are amplified. Results for circular and square wire cylindrical springs are known. Similar to columns, helical compression springs can fail due to buckling. Thus, the objective of this work is to carry out, through the finite element method, the determination of the factor that correlates the effects of direct shear and stress concentration due to the curvature of the turns for cylindrical, conical, barrel and hourglass springs; perform stability analyzes related to buckling in cylindrical wire springs of circular and square section and determine the applicability of existing results for conical, barrel and hourglass springs. The analyzes showed results in line with previous studies for square and circular wire cylindrical springs (maximum mean relative deviation of 2.168%). For conical, barrel and circular wire hourglass springs, we were able to conclude that the Wahl factor describes well the state of tension in the entire spring (maximum mean relative deviation of 1.582%). For the conical barrel and hourglass springs with square wire, we obtained results similar to those with circular wire, except for the conical spring, which presented a great divergence between the existing results. This fact was due to the high helix angle. The buckling results show that the square wire improves stability due to its higher polar moment of inertia.

Keywords: compression spring; stress concentration; finite element; buckling.