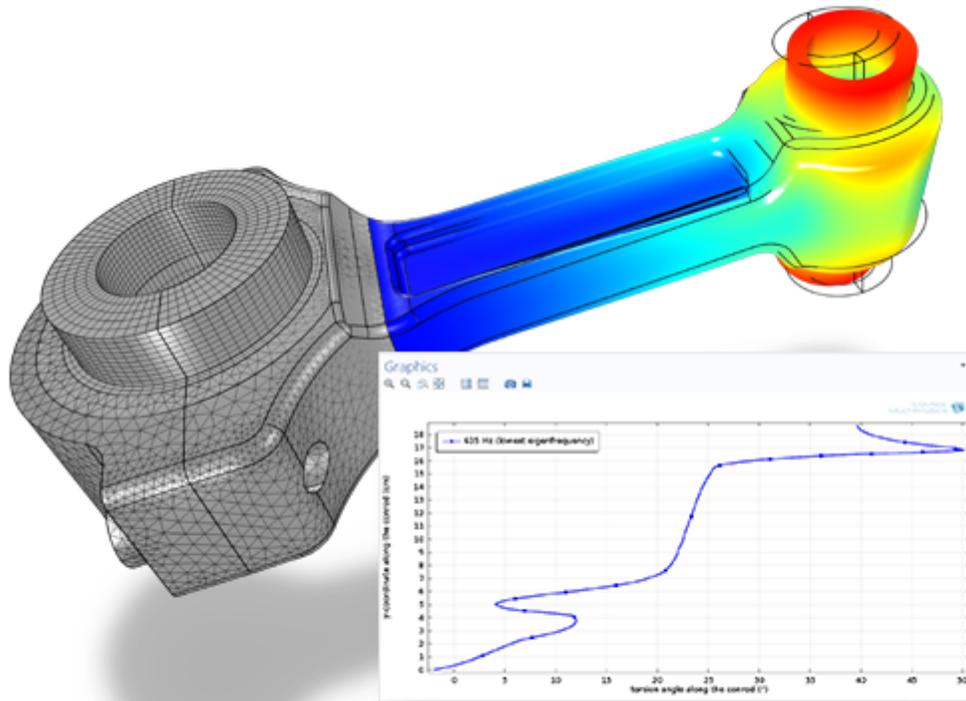


Perform Mechanical Analyses with the Structural Mechanics Module



Análise modal de uma biela ilustrando o ângulo de torção ao longo da biela na menor frequência natural.

Análise estrutural estática, transitória e no domínio da frequência

O *Structural Mechanics Module* é dedicado à análise de estruturas mecânicas sujeitas a cargas estáticas ou dinâmicas. Pode-se usá-lo para uma ampla gama de tipos de análise, incluindo, estacionária, transiente, modal, paramétrica, quasiestática, de resposta em frequência, de flambagem e pré-tensionamento.

Módulos Complementares Expandem e Complementam as Análises Estruturais

O *Structural Mechanics Module* proporciona interfaces de usuário para análise em sistemas de coordenada em 2D, 2D axissimétrico e 3D para sólidos, cascas (3D), placas (2D), treliças (2D, 3D), membranas (2D axissimétrico, 3D) e vigas (2D, 3D). Essas permitem a análise de grandes deformações com não linearidade geométrica, contato mecânico, deformação térmica, materiais piezelétricos e interação fluido-estrutura (FSI). Para fazer uma análise de materiais não lineares, há dois produtos complementares disponíveis: o [Nonlinear Structural Materials Module \(/nonlinear-structural-materials-module\)](#) e o [Geomechanics Module \(/geomechanics-module\)](#). Para avaliação da vida de fadiga, pode-se utilizar o complemento [Fatigue Module \(/fatigue-module\)](#), ao passo que, para modelar a dinâmica de corpos flexíveis e rígidos, o complemento [Multibody Dynamics Module \(/multibody-dynamics-module\)](#) é o correto. O *Structural Mechanics Module* também trabalha em conjunto com o [COMSOL Multiphysics \(/comsol-multiphysics\)](#) e os outros módulos de aplicação específica para acoplar análise estrutural a uma ampla gama de fenômenos multifísicos, inclusive a interação de estruturas mecânicas com campos eletromagnéticos, escoamentos e reações químicas.

Modelos de Material

Os modelos constitutivos do *Structural Mechanics Module* incluem modelos de materiais elásticos e viscoelásticos lineares, bem como materiais ortotrópicos e materiais com amortecimento. O conjunto de modelos de materiais incluído pode ser expandido adicionando-se o [Nonlinear Structural Materials Module \(/nonlinear-structural-materials-module\)](#) e o [Geomechanics Module \(/geomechanics-module\)](#), os quais permitem a análise de grandes deformações plásticas, materiais hiperelásticos, plasticidade, fluência, viscoplasticidade, rochas, concreto e solo. Há grande flexibilidade para se introduzir materiais definidos pelo usuário, que é onde as amigáveis interfaces de usuário para equações do COMSOL entram em jogo. Para a grande maioria dos casos, a abordagem tradicional usando-se sub-rotinas do usuário pode ser

substituída simplesmente pela digitação das equações constitutivas diretamente na interface gráfica, na forma expressões matemáticas nas variáveis de campo, invariantes de tensão e deformação, e quantidades derivadas. O módulo de Young, por exemplo, não precisa ser uma constante, pode ser uma função de qualquer variável de campo e suas derivadas. As propriedades dos materiais podem variar no espaço ou no tempo, ou ser descritas usando expressões numéricas envolvendo números complexos.

Cargas, Restrições e Ferramentas de Modelagem Especializadas de Alto Desempenho

Uma grande variedade de cargas e restrições é disponibilizada. Estão inclusas força total, cargas de pressão, cargas seguidoras, molas e amortecedores, massa adicionada, deslocamento prescrito, velocidade e aceleração. Para modelar peças elásticas finas, pode-se usar a interface especial Thin Elastic Layer. Além disso, as condições especiais Domínio Rígido e Contorno Rígido são disponibilizadas para misturar estruturas rígidas e flexíveis com mais recursos oferecidos pelo [Multibody Dynamics Module \(/multibody-dynamics-module\)](#). Ao modelar uma estrutura menor embutida, ou situada no topo de um grande substrato de material elástico, uma propriedade de designar como domínio de elemento infinito é disponibilizada. Essa simula a absorção de tensão que decai lentamente e permite simular um domínio menor truncado sem perda de precisão, ao mesmo tempo em que permite simulações altamente eficientes da estrutura maior.

Mecânica dos Sólidos

As interfaces de Mecânica dos sólidos do Structural Mechanics Module definem as quantidades e características para análise da tensão e mecânica lineares e não lineares em geral, resolvendo os deslocamentos. O material elástico linear é o modelo de material padrão. Outros modelos de materiais são modelos de materiais hiperelásticos (requer o Nonlinear Structural Materials Module) e viscoelásticos lineares. Além disso, o modelo de material elástico pode ser incrementado com recursos de expansão térmica, amortecimento, e tensão e deformação iniciais. Deformações inelásticas em geral podem ser facilmente definidas inserindo-as como deformações iniciais adicionais, inclusive, podem ser em função de quaisquer outros campos da física desde eletromagnetismo até escoamento de fluídos. A descrição de materiais elásticos no módulo inclui materiais isotrópicos, ortotrópicos e totalmente anisotrópicos. Cada coeficiente de material pode ser descrito por uma constante, variáveis, tabelas e expressões compostas e não lineares que podem variar no espaço e no tempo. O COMSOL Multiphysics tem a capacidade de interpretar toda e qualquer expressão, o que permite permanecer no ambiente COMSOL Desktop® para tarefas de modelagem avançadas, sem recorrer à programação.

Grandes Deformações e Contato Mecânico

O Structural Mechanics Module permite modelar grande deformação com cargas geométricas não lineares e seguidoras. As cargas podem ser distribuídas e também podem depender de outras físicas, como forças eletromagnéticas ou de escoamento. Evidentemente, o contato mecânico é disponibilizado e habilitado para multifísica. Pode-se, por exemplo, permitir o fluxo de calor (requer o Heat Transfer Module) ou correntes elétricas (requer o AC/DC Module) através de contornos que estão em contato e fazer uso de tensões de contato para simular a extensão da corrente ou transferência térmica.

Cascas, Placas e Membranas

Cascas, com base na fórmulação de Mindlin-Reissner, são disponibilizadas para a análise estrutural de estruturas com paredes finas, onde deformações transversais por cisalhamento são levadas em conta para que você também possa simular cascas espessas. Também é possível prescrever um deslocamento na direção normal a uma superfície selecionada. A interface Shell também inclui outros recursos como amortecimento, expansão térmica, e tensões e deformações iniciais. Os estudos predefinidos disponíveis são os mesmos que para a interface Solid Mechanics. Semelhante à interface Shell, a interface Plate atua em um único plano, mas usualmente somente com carregamentos para fora do plano.

A interface Membrane modela elementos de tensão plana curvados em 3D, que têm a possibilidade de deformar nas direções do plano e na direção para fora do plano. A diferença entre uma casca e uma membrana é que a membrana não possui nenhuma rigidez à curvatura. Essa interface é adequada para modelar estruturas como filmes finos e tecidos.

Vibrações, Acústica e ondas Elásticas

Diversos recursos são disponibilizados para análise de vibrações opcionalmente acoplados à acústica com o [Acoustics Module \(/acoustics-module\)](#). Ao combinar o Structural Mechanics Module e o Acoustics Module, ganha-se acesso a uma ferramenta dedicada para interações acústica-casca. O Acoustics Module possui interfaces físicas adicionais para interações sólido-acústica e piezoacústicas. Para ondas elásticas se propagando em um material, o Structural Mechanics Module oferece contornos de baixa reflexão e camadas perfeitamente compatibilizadas onde ondas elásticas emitidas são simuladas como sendo absorvidas. Essa funcionalidade facilita a modelagem de ondas que se propagam para fora de uma estrutura vibratória em meios relativamente grandes ou infinitos.

Avaliação da Fadiga

Adicionando o Fatigue Module às análises de mecânica estrutural, pode-se realizar cálculos da vida de fadiga estrutural. Tanto os métodos para fadiga de alto ciclo, quanto os de baixo ciclo e dano acumulado estão disponíveis. O Fatigue Module é fortemente integrado ao Mechanics Module e não é preciso sair do ambiente do COMSOL Desktop® para simular mecânica estrutural e fadiga. O Fatigue Module pode ser usado junto com as interfaces Solid Mechanics, Shell, Plate e Multibody Dynamics, bem como com as interfaces físicas que simulam tensões térmicas, aquecimento por efeito Joule junto com dilatação térmica, e dispositivos piezelétricos.

Vigas e Treliças

Elementos de viga no Structural Mechanics Module destinam-se à análise de estruturas delgadas (vigas) que podem ser descritas plenamente por propriedades transversais, como áreas e momentos de inércia. Eles simulam estruturas tanto planas quanto em 3D, e podem ser acoplados a outros tipos de elemento, como para analisar reforços de estruturas sólidas e de casca. A interface Beam inclui uma biblioteca para seções transversais de vigas retangulares, quadradas, circulares, tubulares, com perfil em H, com perfil em U e com perfil em T. Outros recursos incluem amortecimento, expansão térmica, e tensões e deformações iniciais. Uma interface física em 2D distinta, chamada de Beams Cross Section, pode ser usada a fim de avaliar propriedades transversais de seções transversais em 2D arbitrárias para uso como entradas em análises de vigas.

A interface Truss pode ser usada para modelar estruturas delgadas que só podem sustentar forças axiais. As treliças permitem a especificação de pequenas deformações, bem como de grandes deformações. Exemplos de estrutura em treliça são os trabalhos em treliça com bordas retas e cabos expostos a forças gravitacionais (cabos catenários). Outros recursos incluem amortecimento, expansão térmica, e tensões e deformações iniciais.

Tensão Térmica

Ao mesmo tempo que o Structural Mechanics Module trabalha junto com o COMSOL Multiphysics e pode ser integrado a outros módulos complementares para modelar diferentes aplicações multifísicas, ele inclui várias interfaces multifísicas específicas. Por exemplo, a interface Thermal Stress é semelhante à interface Solid Mechanics com a adição de um modelo de material elástico linear térmico. Essa pode ser usada em

conjunto com várias interfaces de transferência de calor para acoplar o campo de temperatura à dilatação de uma estrutura (material). Uma interface multifísica especial Thermal Stress and Joule Heating combina tensões térmicas com o aquecimento por efeito Joule e descreve a condução da corrente elétrica em uma estrutura, o subsequente aquecimento elétrico causado por perdas ôhmicas na estrutura e as tensões térmicas induzidas pelo campo de temperatura.

Recursos Adicionais de Modelagem Mecânica em Outros Módulos

O [MEMS Module \(/mems-module\)](#) oferece ferramentas dedicadas para simulações estruturais específicas para sistemas micromecânicos. São oferecidas interfaces físicas para piezorresistividade, deflexão eletromecânica, vibração termoelástica e ferramentas de modelagem mais avançadas para analisar dispositivos piezelétricos. De uma perspectiva de análise mecânica, o [Acoustics Module \(/acoustics-module\)](#) cobre a vibração estrutural junto com ondas de pressão acústica e propagação de ondas elásticas e poroelásticas. O [Subsurface Flow Module \(/subsurface-flow-module\)](#) melhora a interface Solid Mechanics acrescentando as funcionalidades de poroelasticidade escoamento em meios porosos.

CAD e Otimização

O [CAD Import Module \(/cad-import-module\)](#) possibilita importar uma variedade de tipos de arquivo CAD padrão comuns na indústria, possibilita operações de limpeza e reparo de geometria para preparação dos modelos CAD para a geração de malha e simulações. O CAD Import Module também oferece o kernel geométrico Parasolid® para operações com sólidos mais avançadas do que as suportadas pelo e kernel nativo do COMSOL. Para a simulação mecânica de estruturas eletrônicas, o [ECAD Import Module \(/ecad-import-module\)](#) oferece importação de layout eletrônico. Ao analisar uma peça ou montagem mecânica, é vital manter o modelo paramétrico do CAD nativo para que estudos de parâmetro e otimização possam ser realizados sem ter que reconstruir os parâmetros do modelo. Isso é possível usando os produtos LiveLink™ disponibilizados para vários sistemas CAD, em destaque: [SOLIDWORKS® \(/livelink-for-solidworks\)](#), [Inventor® \(/livelink-for-inventor\)](#), [AutoCAD® \(/livelink-for-autocad\)](#), [PTC® Creo® Parametric™ \(/livelink-for-creo-parametric\)](#), [PTC® Pro/ENGINEER® \(/livelink-for-proengineer\)](#) e [Solid Edge® \(/livelink-for-solid-edge\)](#). Esses produtos oferecem atualizações simultâneas da geometria e parâmetros no sistema CAD e no COMSOL e permitem varreduras paramétricas e a otimização de vários parâmetros de modelagem diferentes. Ao incluir o [Optimization Module \(/optimization-module\)](#), é possível realizar a otimização automática de dimensões geométricas, carregamentos nos contornos ou propriedades de materiais.

Dispositivos Piezelétricos

A interface Piezoelectric Devices combina os recursos de modelagem de Mecânica dos Sólidos e de Eletrostática do COMSOL em uma ferramenta totalmente acoplada para modelagem de materiais piezelétricos. O acoplamento piezelétrico pode ser na forma de carga por tensão ou carga por deformação com cálculo totalmente acoplado de varredura de frequência, análise modal e transientes. Todas as funcionalidades de mecânica dos sólidos e eletrostática são acessíveis através dessa interface física para modelar os sólidos elásticos lineares ou domínios de ar circundantes, bem como camadas dielétricas, por exemplo.

Interações Fluido-Estrutura (FSI)

A interface multifísica Fluid-Structure Interaction (FSI) combina escoamento com a mecânica dos sólidos para captar a interação entre o fluido e a estrutura sólida. As interfaces Solid Mechanics e Laminar Flow modelam o sólido e o fluido, respectivamente. Os acoplamentos FSI ocorrem nos limites entre o fluido e o sólido e podem incluir a pressão do fluido e as forças viscosas, bem como a transferência de momento do sólido para o fluido de modo bidirecional – FSI. O método usado para FSI é conhecido como método Lagrangiano-Euleriano arbitrário (ALE).

Recursos do Produto

- Interação acústico-estrutura ¹
- Vigas
- Biomecânico
- Flambagem e pós-flambagem
- Simulação de contatos
- Avaliação de fadiga ²
- Interação fluido-estrutura (FSI)
- Não-linearidade geométrica
- Grandes deformações

- Lubrificação e elastohidrodinâmica ³

- Membranas
- Análise modal
- Dinâmica de Multicorpos ⁴
- Materiais não-lineares ⁵
- Dispositivos Piezoelétricos
- Poroelasticidade ⁶
- Estruturas Pré-tensionadas
- Rotodinâmica

- Cascas
- Sólidos
- Efeito tensão-óptica
- Fricção e contato estrutural
- Otimização estrutural ⁷
- Vibração estrutural
- Tensões térmicas
- Treliças
- Viscoelasticidade

¹Juntamente com o [Acoustics Module \(/acoustics-module\)](#)

²Juntamente com o [Fatigue Module \(/fatigue-module\)](#)

³Juntamente com o [CFD Module \(/cfp-module\)](#)

⁴Juntamente com o [Multibody Dynamics Module \(/multibody-dynamics-module\)](#)

⁵Juntamente com o [Nonlinear Structural Materials Module \(/nonlinear-structural-materials-module\)](#) e [Geomechanics Module \(/geomechanics-module\)](#)

⁶Juntamente com o [Subsurface Flow Module \(/subsurface-flow-module\)](#)

⁷Juntamente com o [Optimization Module \(/optimization-module\)](#)