

MODELAGEM E SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE PRENSAS MULTIPUNÇÃO HEXAÉDRICAS

José Mauro Peixoto Mendes^a

Joël Frelat^b

^aUniversidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília DF

^bUniversité de Paris VI - Pierre et Marie Curie, Laboratoire de Modélisation en Mécanique, 75.015, Paris, França

Resumo

As prensas multipunção hexaédricas foram desenvolvidas para atingir pressões hidrostáticas de até 30 GPa. Elas são utilizadas principalmente para a pesquisa básica em geociências e ciência dos materiais. Foi realizada a modelagem e simulação numérica de uma prensa hexaédrica através do método dos elementos finitos. O objetivo desta simulação é compreender a distribuição das tensões na base da prensa onde problemas de projeto são comumente evidenciados. Com base nos resultados foram dadas algumas recomendações para a melhoria dos seus respectivos projetos.

Palavras-chave: Altas Pressões, Prensas multipunção, Elementos Finitos, Contato Unilateral

1. INTRODUÇÃO

As técnicas de altas pressões vêm sendo desenvolvidas desde os anos 60, sendo utilizadas inicialmente para a pesquisa básica em química e física (Sherman & Stadtmuller, 1987). O surgimento das prensas multipunções trouxe progressos consideráveis às geociências sobretudo no conhecimento da Terra Profunda (Chervin & Peyronneau, 1997).

Entretanto, grande parte dos conhecimentos adquiridos no projeto, construção e uso destes equipamentos vem da sua própria aplicação experimental (Eremets, 1996). Estudos de modelização mecânica e de simulação numérica ainda são incipientes.

A compreensão do comportamento mecânico facilita, evidentemente, a melhor utilização destes equipamentos em todas as suas potencialidades. E permite prever as tensões e deformações que não são evidenciadas experimentalmente.

O objetivo deste trabalho é fazer a modelagem e simulação de uma prensa multipunção cúbica (ou hexaédrica), e de discutir os problemas mecânicos e computacionais envolvidos.

Os resultados são utilizados como base para recomendações quanto ao projeto e construção das mesmas.

1.1 Descrição das prensas

Prensas multipunções constituem-se obviamente de vários punções que se movem segundo os eixos de um poliedro sólido. Os punções são movidos simultaneamente comprimindo o corpo de prova e gerando pressões de até 30 GPa (Chervin & Peyronneau, 1997).

A prensa hexaédrica possui seis punções independentes que formam um espaço cúbico onde é colocado o material a ser estudado. Normalmente, utiliza-se um único pistão que move um conjunto de três punções apoiados sobre uma base, como mostra a figura 1.

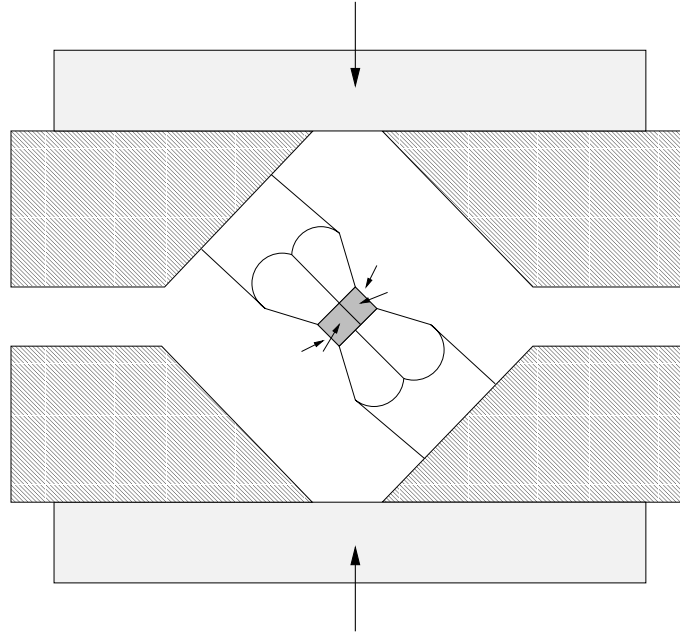


Figura 1. Representação esquemática do sistema cúbico.

Este tipo de prensa foi inicialmente desenvolvido por Kawai e Endo (Kawai & Endo, 1970). Atualmente existem vários modelos concebidos de maneira a otimizar três características básicas: geração de pressões as mais altas possíveis; a geração de pressões altamente homogêneas; e a provisão de um volume de trabalho amplo.

Um dos problemas mecânicos envolvidos durante o funcionamento deste tipo de sistema é o contato unilateral. Como a prensa é formada por diversas partes móveis, a compreensão e modelagem do contato entre estas partes, e dos esforços gerados durante estes contatos, é de vital importância para a determinação das pressões exercidas sobre o corpo de prova.

A simulação do comportamento mecânico da prensa hexaédrica foi realizada através do método dos elementos finitos. Esta abordagem, que hoje em dia pode ser chamada de clássica, permite diminuir sensivelmente os custos de projeto, sobretudo na parte de pré-dimensionamento.

O ponto de partida deste trabalho foram problemas surgidos em prensas instaladas em Clermont-Ferrand (França). Elas foram inutilizadas após poucos experimentos devido à plastificação das bases e dos blocos que apoiam os conjuntos de punções.

2. MODELAGEM

O modelo adotado obedece às equações da elasticidade linear clássica sujeita à hipótese das pequenas deformações. O contato unilateral é imposto através do método dos multiplicadores de Lagrange.

Os problemas de contato entre estruturas elásticas, mesmo na hipótese das pequenas deformações, são caracterizados por relações não lineares entre deslocamentos, ou taxas de deslocamentos, e forças, em uma parte da superfície de contorno destas estruturas (Raous et al., 1988).

No caso deste trabalho será considerado apenas o contato unilateral sem fricção pois as partes em contato são lubrificadas e os deslocamentos não são muito grandes.

O ponto principal da modelagem de problemas de contato é evitar a interpenetração (Rebello, 1988). Considerando, por exemplo, duas estruturas diferentes com pelo menos uma delas deformável. A posição relativa entre as superfícies dos corpos deve ser positiva ou nula. Nas regiões onde ela é positiva, não está havendo o contato e assim não existe nenhuma força sendo transmitida. No momento em que uma superfície ameaça penetrar a outra, deve surgir uma força contrária a fim de evitar a interpenetração. Esta força existirá apenas quando a distância entre as superfícies for nula.

A figura 2 abaixo representa dois corpos deformáveis em contato. Os corpos são representados pelos conjuntos A e B . As superfícies de contato são representadas pelas linhas Sa e Sb .

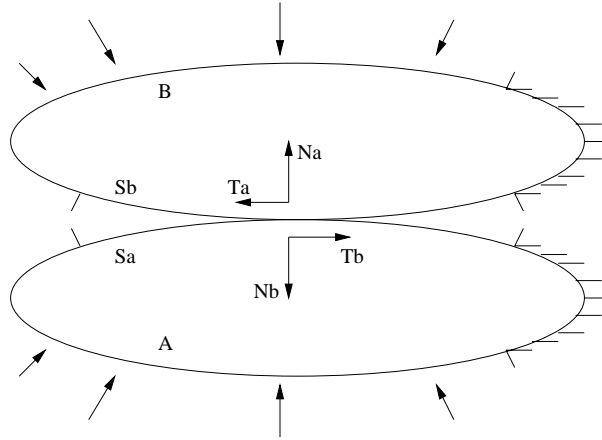


Figura 2. Problema de contato entre dois corpos deformáveis.

As condições de contato unilateral são dadas pelas relações descritas abaixo, conhecidas como condições de Kuhn-Tucker.

$$u_N^A + u_N^B \geq 0, \quad F_N^A = F_N^B, \quad F_N^B \geq 0, \quad (u_N^A + u_N^B) \cdot F_N = 0 \quad (1)$$

2.1 Método dos Multiplicadores de Lagrange

O método dos multiplicadores de Lagrange foi utilizado para o contato unilateral sem fricção. Neste método introduzem-se vetores multiplicadores de Lagrange λ na matriz de rigidez do problema a fim de impor a restrição ao deslocamento gerada pelo contato.

Em termos da discretização em elementos finitos, o problema original pode ser escrito pelas equações abaixo:

$$\text{Minimize} \quad \frac{1}{2} \mathbf{U}^T \mathbf{K} \mathbf{U} - \mathbf{U}^T \mathbf{F}, \quad \text{com} \quad \mathbf{B} \mathbf{U} > \mathbf{b}, \quad (2)$$

Sendo \mathbf{U} o campo de deslocamentos, \mathbf{B} a matriz de tensões de contato, \mathbf{b} o vetor de carregamentos prescritos e \mathbf{K} a matriz de rigidez.

O problema inicial passa a ser um problema de sela equivalente, descrito a seguir:

$$\max_{\lambda \geq 0} \left(\min_U L(u, \lambda) \right), \text{ com } L(u, \lambda) = \frac{1}{2} U^T K U - U^T F - (B U - b)^T \lambda \quad (3)$$

A derivada de $L(u, \lambda)$ com relação a U^T deve ser igual a zero. Desta forma o problema pode ser colocado em função dos multiplicadores de Lagrange:

$$\min_{\lambda \geq 0} \varphi(\lambda) = \frac{1}{2} \lambda^T A \lambda + \lambda^T C + D \quad (4)$$

Onde: $A = B K^{-1} B^T$; $C = B K^{-1} F - b$; e $D = \frac{1}{2} F^T K^{-1} F$

Este método é muito eficiente e dá bons resultados em várias aplicações industriais (Courtois & Ricard, 1988).

3. SIMULAÇÃO NUMÉRICA

A simulação numérica foi realizada com base no método dos elementos finitos. Como a prensa apresenta simetrias é suficiente fazer o cálculo para apenas a sexta parte da estrutura completa. Os elementos finitos são cúbicos com oito nós. Os cálculos foram realizados pelo programa Castem2000 (CEA/França).

Como condições de contorno fixa-se a base na direção em que a prensa funciona e efetua-se o carregamento através do deslocamento do corpo de prova. Além disso, fixam-se as laterais dos outros componentes para o deslocamento tangencial, para que o resultado represente o comportamento da prensa completa.

A figura 3 representa a malha utilizada. Pode-se observar o corpo de prova na parte superior do desenho. O punção está localizado ao centro. Ao lado esquerdo do punção existe o espaçador (ou espaçor), responsável por manter o alinhamento do sistema. A parte exterior representa o bloco e logo abaixo pode-se ver a base de apoio, onde o pistão irá atuar.

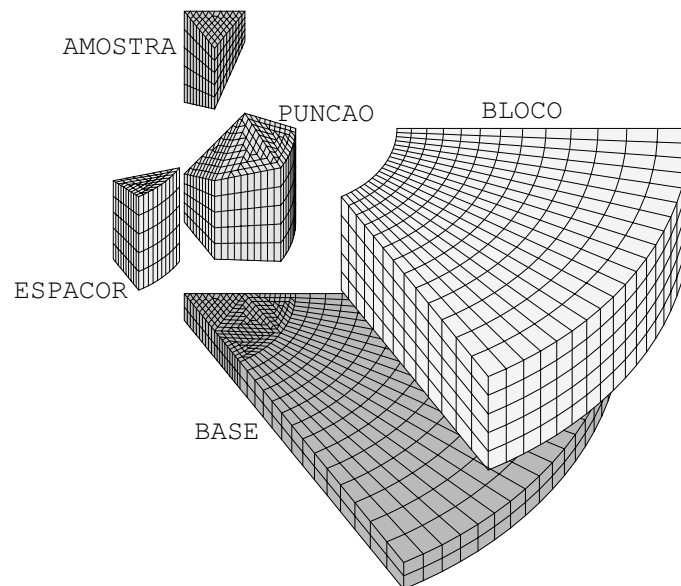


Figura 3. Malha expandida com 1/6 da estrutura, mostrando os componentes do sistema.

Os materiais foram considerados isotrópicos com as seguintes propriedades listadas na tabela 1.

Tabela 1. Dados dos materiais para a simulação.

Elemento	E (GPa)	ν
Punção	210	0,3
Base	210	0,3
Amostra	210	0,3
Espaçador	21	0,3

3.1 Resultados

O resultado é apresentado nas figuras 4a e 4b a seguir. Elas representam a distribuição de tensões de Mises na base e no bloco da prensa, respectivamente. Através destes resultados pode-se observar as áreas onde o sistema sofre o maior carregamento.

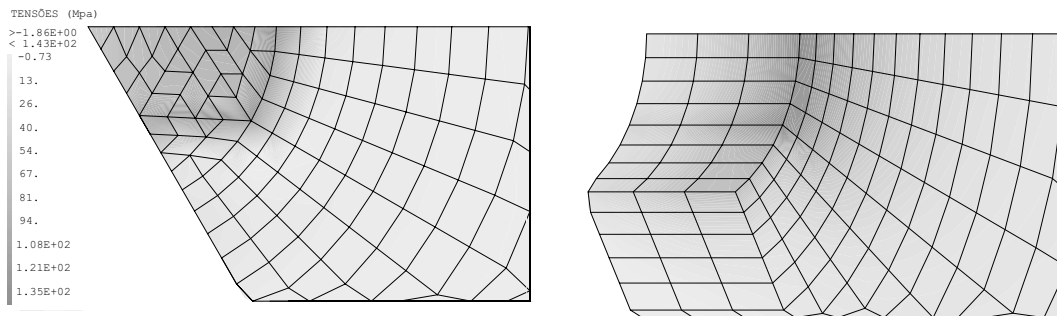


Figura 4. Tensões de Mises na base (a) e no bloco (b) da prensa.

As regiões onde a tensão é maior são exatamente as que estão em contato com as bordas do punção. São nestas áreas que problemas de plastificação aparecem e podem danificar o equipamento, impedindo que as tensões almejadas sejam atingidas.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A simulação numérica da prensa apresenta resultados qualitativamente próximos aos verificados durante a sua utilização. A base da prensa e o bloco são as partes mais vulneráveis já que, devido as suas dimensões, são construídas com materiais que apresentam propriedades mecânicas inferiores aos punções.

As áreas de maior pressão são facilmente observadas através dos resultados numéricos. Com base nestes resultados pode-se melhorar o projeto aumentando as propriedades nestas áreas, para que resistam às pressões exigidas.

Uma das recomendações pode ser o tratamento térmico ou mecânico apenas nestas áreas. O custo seria então otimizado e os problemas sanados.

O cálculo computacional tridimensional possui custo elevado. Como a geometria do bloco e da base é axisimétrica pode-se tentar o cálculo bidimensional axisimétrico com o auxílio das séries de Fourier para decomposição do sistema interno (Mendes, 2000).

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro da CAPES e da Comunidade Européia através do programa de cooperação ALFA (Rede Sinus π m).

7. REFERÊNCIAS

- Chervin J. C., Peyronneau J., 1997, 1er Forum de Technologie des Hautes Pressions - Preface.
- Courtois P., Ricard A., 1988, “Finite element analysis of industrial friction contact problems”; Journal de Mécanique théorique et appliquée, supplément spécial 1 au vol.7, p. 264.
- Eremets M., 1996, “High Pressure Experimental Methods”. Oxford Science Publications.
- Kawai N., Endo S., 1970, “The generation of Ultrahigh Hydrostatic Pressures by a Split Sphere Apparatus”; Rev. Sci. Instrum., Vol. 41, p. 1178.
- Mendes J. M. P., 2000 “Modelagem e Simulação Numérica de Prensas à Altíssimas Pressões”; Tese de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.
- Raous M., Chabrand P., Lebon F., 1988 “Numerical methods for frictional contact problems and applications”; Journal de Mécanique théorique et appliquée, supplément spécial 1 au vol.7.
- Rebelo N., 1988, “Development of contact algorithms for a general purpose finite element program”; Journal de mécanique théorique et appliquée, supplément spécial 1 au vol.7.
- Schimidt M., Petitet J. P., 1997, “Les systèmes multi-enclumes”, 1er Forum de Technologie des Hautes Pressions, p. 47.
- Sherman W. F., Stadmuller A. A., 1987, “Experimental techniques in high pressure research”. Wiley, Chichester.