

ESTUDO ESTATÍSTICO DE PROBLEMAS DE CONTATO EM ELEMENTOS FINITOS APLICADOS À CONFORMAÇÃO MECÂNICA DOS METAIS

Arnaldo Alves Garcia Júnior, Sala FEMEC-CIMNE, arnaldo.ag.junior@hotmail.com
Sonia Aparecida Goulart de Oliveira, Sala FEMEC-CIMNE, sgoulart@mecanica.ufu.br

Resumo. Na simulação de processos de conformação mecânica dos metais pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) o contato entre os corpos é uma das principais características que influenciam no resultado da solução numérica. A resolução dos problemas de contato é caracterizada pela busca dos contatos produzidos seguida da aplicação de restrições cinemáticas que satisfazem a condição de impenetrabilidade entre os corpos, para aplicação dessas restrições é utilizado por exemplo o Método da Penalidade. Neste método a qualidade da solução é altamente dependente do valor do parâmetro de Penalidade Normal. O estudo proposto tem como objetivo principal obter uma formulação que permita estimar o parâmetro de Penalidade Normal na resolução de problemas de contato considerando as propriedades mecânicas dos materiais, qualidade da malha utilizada, características do processo e configurações do algoritmo de contato. A máxima penetração dos nós de um corpo em outro é a resposta analisada no estudo, e é função dos parâmetros escolhidos devendo ser minimizada para obter a convergência da solução. Devido à alta complexidade matemática e não linearidade dos problemas de contato, são utilizadas ferramentas estatísticas para analisar a resposta do problema obtida a partir de experimentos numéricos de um modelo definido para análise. São realizados um experimento fatorial a dois níveis fracionário, análise das variáveis de influência na resposta, aplicação da técnica de superfície de resposta, otimização da função objetivo e definição dos parâmetros, inclusive a Penalidade Normal, que minimizam a resposta analisada e garantam a convergências da solução dos modelos em geral.

Palavras chave: Método dos Elementos Finitos, Conformação mecânica, Contato, Método da Penalidade.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de conformação mecânica de metais são largamente utilizados nas indústrias em geral, a principal característica desses processos é o campo de tensões provocado pelo contato das ferramentas no sólido deformável que provoca um campo de deformações plásticas resultando em uma peça com formato diferente do inicial. O *software* Stampack®, desenvolvido pela Quantech ATZ, é um programa para simulação de conformação mecânica de metais pelo MEF explícito que possui uma interface gráfica amigável e recursos específicos para modelagem e análise desses processos.

A modelagem matemática do contato entre corpos possui alta complexidade, alta não linearidade da resposta e pode ser escrita como um problema de otimização com restrições. Essas restrições dizem respeito à impenetrabilidade entre os corpos. Para garantir essas restrições há várias modelagens matemáticas que são implementadas computacionalmente como o Método da Penalidade.

Para problemas cujo modelo matemático é altamente complexo são utilizadas ferramentas estatísticas que avaliam os parâmetros mais importantes de um fenômeno e então são caracterizados por funções mais simples como as polinomiais de baixa ordem, por exemplo.

O presente trabalho pretende estudar um modelo de conformação mecânica pelo MEF explícito através de uma metodologia que utiliza experimentos numéricos para avaliar uma série de parâmetros que garantirá a qualidade dessas análises.

2. PROBLEMAS DE CONTATO EM ELEMENTOS FINITOS

2.1. Introdução

Em situações que uma região do contorno de um corpo entra em contato com outra região de contorno dele mesmo ou de outro corpo é caracterizado um problema de contato. As condições de contorno aplicadas aos problemas de contato caracterizam a alta não linearidade da solução e devem existir restrições cinemáticas que impeçam a penetração de um contorno no outro, denominadas condições de impenetrabilidade (BELYTSCHKO, 2000). Inerente ao contato o atrito é fundamental na modelagem do problema de contato onde geralmente é utilizada a Lei de Coulomb, baseada nas teorias clássicas do atrito.

A análise do contato é realizada em duas fases, primeiramente com a busca e identificação dos pontos de contato produzidos, e posteriormente aplicando a formulação do problema pela análise do MEF para verificar as condições de impenetrabilidade, assegurando que não produzam penetrações entre as regiões envolvidas no contato. Há várias modelagens matemáticas para introduzir as restrições cinemáticas nos problemas como o Método de Penalidade, Método de Multiplicadores de Lagrange e Lagrange Aumentado.

Em um estudo realizado por Weyler et al. (2012) o autor chegou à conclusão que o método de penalidade apresenta maior sensibilidade em relação ao método de Multiplicadores de Lagrange na convergência dos modelos estudados e que para a convergência do método de Penalidade é fundamental que o parâmetro de penalidade normal seja bem ajustado.

Do ponto de vista computacional, nos problemas de contato os aspectos mais importantes são: a eficácia dos algoritmos de busca e detecção dos contatos e a implementação dos algoritmos que realizam as restrições cinemáticas.

2.2. Algoritmo de contato do *software* Stampack®

Na solução dos problemas de contato por EF é essencial definir um corpo como mestre e outro como escravo, para que o algoritmo monitore a penetração dos nós escravos no corpo mestre e então aplique as condições de impenetrabilidade pelo Método da Penalidade.

O Método da Penalidade consiste na aplicação de uma força em cada nó proporcional à sua penetração normal e ao parâmetro de penalidade normal, portanto este parâmetro age como a rigidez de uma mola linear e é função das propriedades do material e da dimensão da malha utilizada no corpo escravo.

O algoritmo de contato do Stampack® ainda permite ao usuário especificar a frequência de busca dos potenciais segmentos mestres de contato para um dado nó escravo e o *Cut-off*, parâmetro utilizado para evitar a instabilidade nos modelos que elimina do algoritmo de contato os nós escravos que penetram demasiadamente no corpo mestre (Quantech ATZ, 2011).

3. METODOLOGIA

O trabalho consiste em realizar uma série de experimentos em um modelo de Elementos Finitos estabelecido e avaliar os seguintes parâmetros e suas interação na resposta do problema, máxima penetração dos nós escravos nos corpos mestres:

- Penalidade Normal (K_N)
- *Cut-off* (C)
- Frequência de busca (f)
- Coeficiente de atrito dinâmico (μ)
- Área dos elementos escravos (d)
- Massa específica (ρ)
- Módulo de Elasticidade (E)
- Coeficiente de Poisson (ν)
- Tensão de Escoamento (S_{yt})
- Constante de Encruamento (K)
- Coeficiente de Encruamento (n)

Primeiramente é realizado um experimento fatorial a dois níveis juntamente com a análise de variância (ANOVA) e um teste de hipótese irá verificar quais parâmetros e suas interações são importantes na resposta do problema estudado. Os onze parâmetros escolhidos necessitam de 2048 experimentos em um experimento fatorial a dois níveis completo, portanto será realizado um experimento fracionário com 512 experimentos com alta resolução para que as interações de alta ordem não apresentem confundimento entre elas.

Para aplicar a técnica de superfície de resposta são necessários experimentos fatoriais de ordem superior a dois, uma forma de aproveitar os experimentos realizados anteriormente com menor esforço experimental é realizando o planejamento composto central.

A técnica de superfície de resposta permitirá a obtenção de uma função matemática que será minimizada a fim de obter a convergência dos modelos em EF de conformação mecânica dos metais.

A função obtida deve apresentar valores mínimos para que a solução dos problemas de contato seja satisfatória, então é necessário aplicar uma técnica de otimização para minimizá-la e finalmente obter os valores ótimos dos parâmetros que o fazem.

No processo de otimização será considerado como variáveis apenas os parâmetros que são ajustados pelo usuário, portanto para cada material existirá valores ótimos dos parâmetros ajustáveis, inclusive o de Penalidade Normal.

Finalmente serão realizadas simulações numéricas com outros modelos encontrados na literatura para validação da metodologia adotada no trabalho e os resultados obtidos por ela, ou seja, serão empregados os valores ótimos encontrados em e comparado os resultados.

4. CONCLUSÃO

O trabalho propõe a utilização de ferramentas estatística para a formulação e compreensão dos problemas de contato que utiliza o Método da Penalidade para aplicação de restrições em EF explícito.

A metodologia empregada permitirá compreender e quantificar como os parâmetros e suas interações influenciam na solução dos problemas de contato, auxiliando os usuários do *software* Stampack® a obter convergência e melhoria de suas simulações de processos de conformação mecânica dos metais.

5. REFERÊNCIAS

Belytschko, T.; Wing, K. L.; Moran, B.; 2000; “Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures”; John Wiley & Sons Ltda.
Quantech ATZ, 2011. “Simulation Guide – Stampack V.6.2.5”.
Weyler, R.; Oliver, J.; Cante, J.C.; 2012; On the contact domain method: A comparison of penalty and Lagrange Multiplier implementations; Elsevier.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.