

Finite element modeling of sheet-metal blanking operations with experimental verification

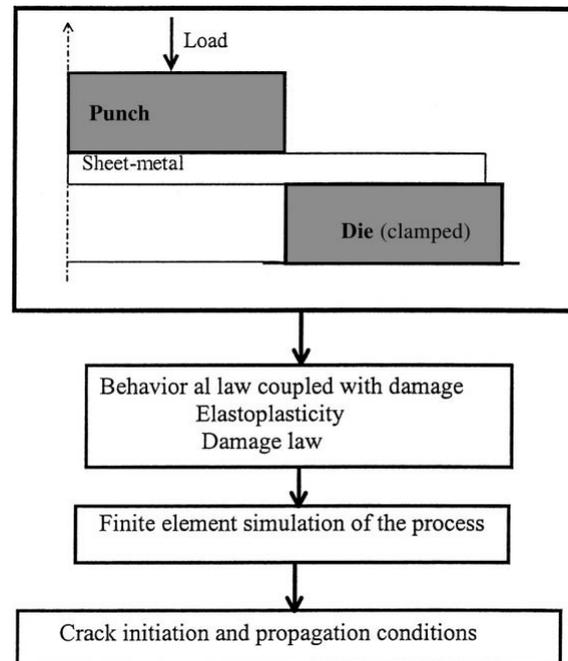
Autores: Ridha Hambli, Alain Potiron

Journal of Materials Processing Technology

- O trabalho em chapa metálica por mecanismos de corte de material é um dos processos mais utilizados na indústria;
- Diferentemente das operações de dobramento e embutimento onde o objetivo é deformar plasticamente, o puncionamento tem como objetivo a ruptura total da chapa;
- À medida que o processo é executado, o material cujo comportamento não é linear, é submetido a um estado de tensão e deformação complexos;
- Antes da ruptura completa, o material é submetido a alguns fenômenos de propagação de trincas;
- O objetivo deste trabalho é fornecer uma análise por elementos finitos que permita a simulação numérica de todo o processo de estampagem;

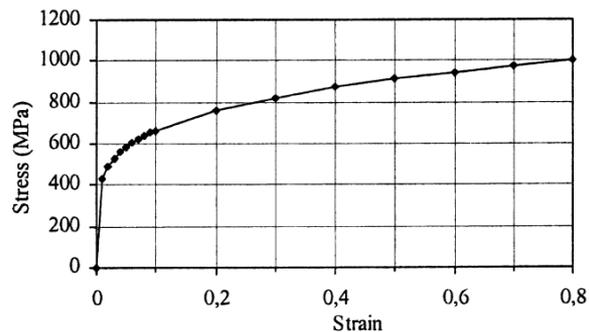
- Diversos trabalhos desenvolveram modelos numéricos usando o MEF para simular os processos de corte em chapa metálica;
- Considera-se que o material é isotrópico, linearmente elástico, endurecido linearmente e que segue Von Mises yield criterion;
- Um critério de fratura foi introduzido para incluir o passo inicial das trincas. Os autores postularam que uma trinca é iniciada em qualquer ponto da chapa quando a tensão efetiva atinge a tensão de ruptura do material;
- A partir deste estudo, pode-se observar que:
 - a) Para simular o contato entre o punção, matriz e chapa, os autores aplicaram condições de contorno que são consideradas estáveis à medida que o cálculo é realizado, negligenciando a flexão da chapa;
 - b) O fenômeno do dano não foi contabilizado e a ruptura final não foi simulada.

- A lei que descreve o comportamento material deve permitir a descrição das diferentes etapas do processo observado experimentalmente a partir do estado elástico e terminando na ruptura final da chapa;
- Para isso, uma lei comportamental, incluindo fenômenos de danos e falhas, deve ser escolhida;
- Segundo os estudos, não existe um critério de falha universal que permita a descrição de qualquer processo de conformação mecânica, onde o estudo de cada caso deve ser considerado.

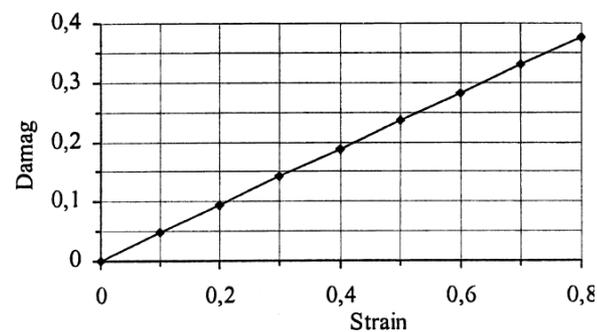


- Os algoritmos geralmente implementados nos códigos dos elementos finitos para a integração das equações constitutivas em uma forma incremental são os chamados algoritmos de retorno radial;
- O método de Newton é usado para resolver as equações de equilíbrio global não-lineares, bem como as equações locais não-lineares obtidas pela integração implícita total das equações constitutivas;
- Em comparação com o uso do módulo padrão analítico, o módulo consistente leva a uma taxa de convergência mais rápida quando o algoritmo de Newton é usado para executar iterações nas equações de equilíbrio;

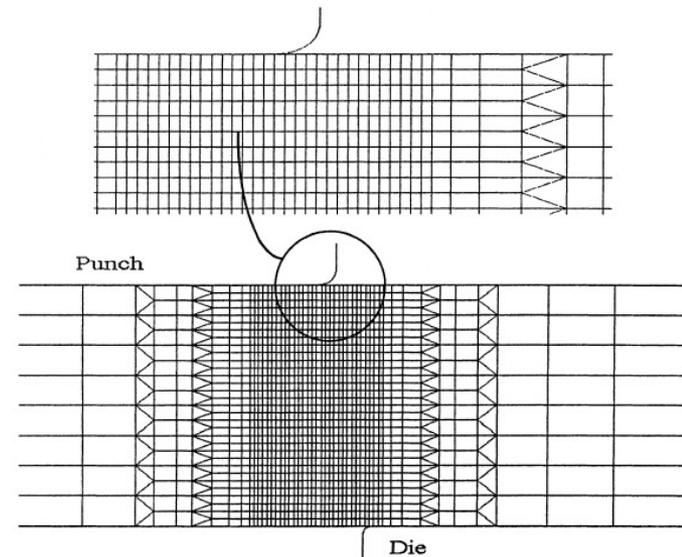
- Uma simulação simplificada do processo foi realizada negligenciando danos;
- O valor do dano é ajustado para zero, é possível simular a penetração do punção até 100% da espessura da folha, onde apresenta uma grande distorção de malha;
- Quando o dano material é levado em consideração, com a mesma penetração do punção, mas com um tempo de computação cerca de 1,7 vezes maior;
- Esse aumento no tempo de computação é causado pela convergência numérica que é mais difícil de obter, uma vez que o dano atinge o valor crítico em que os elementos finitos danificados irão quebrar;



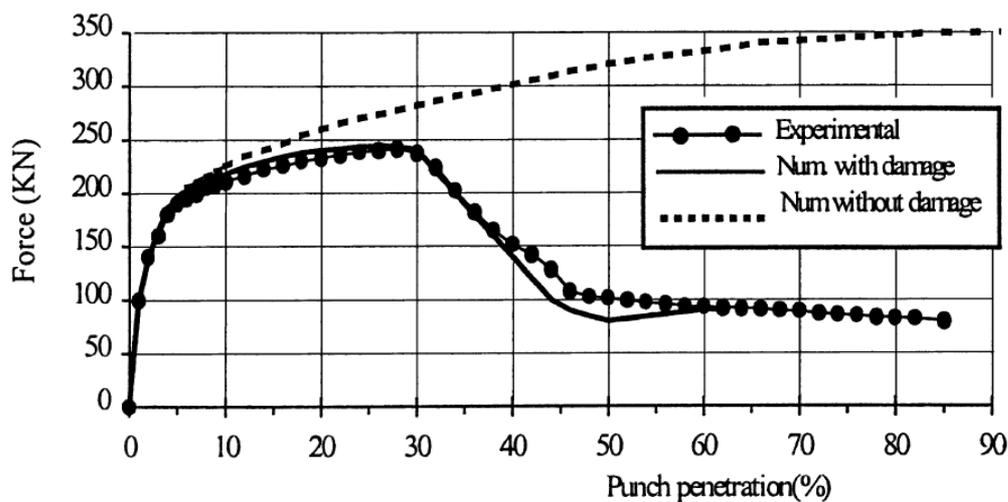
-a- Strain hardening law



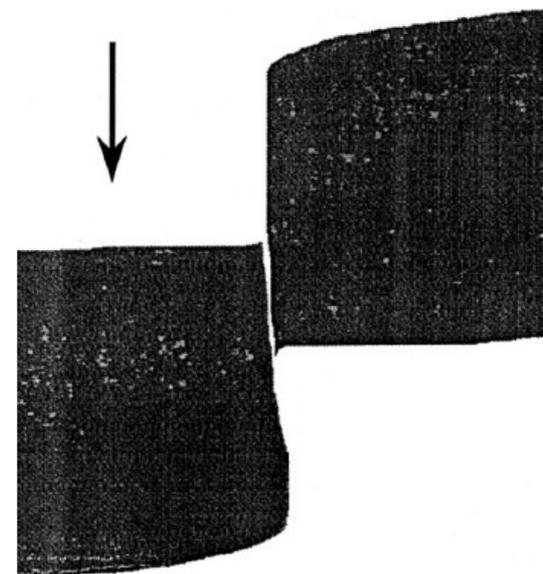
-b- Damage law

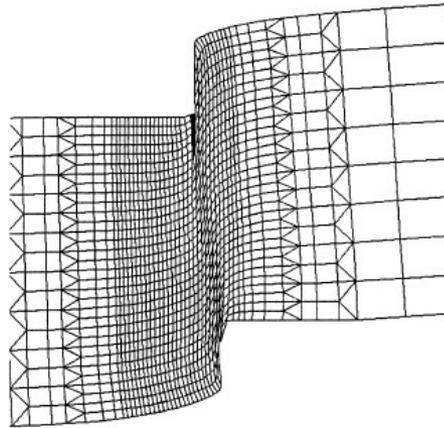


- A partir da utilização de uma folga relativa ótima de 10% da espessura da chapa, são desenhadas três curvas;
- Pode-se ver que a descrição mais realista do processo corresponde ao modelo que inclui danos, conseqüentemente, pode-se concluir que, para prever-se com precisão o processo de supressão é necessário considerar o dano do material;
- A falha da chapa é obtido em um deslocamento de penetração do punção de cerca de 70% da espessura da chapa. Os dados do MEF correspondem aos experimentais.

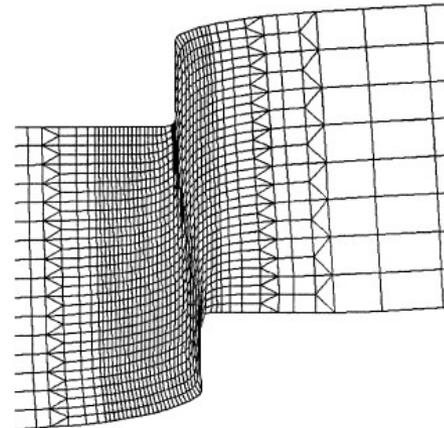


Punching forces against punch travel.

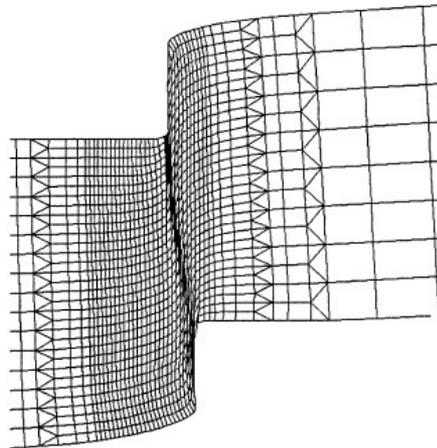




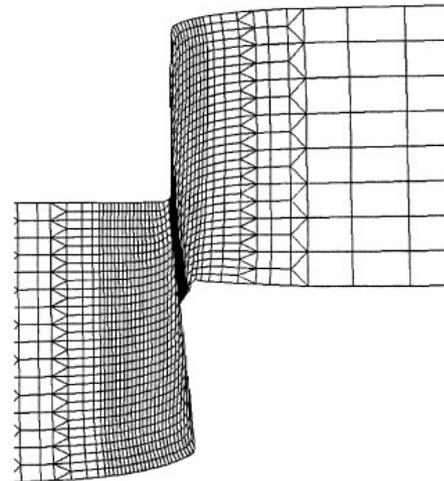
-a- Punch penetration = 28%



-b- Punch penetration = 33%

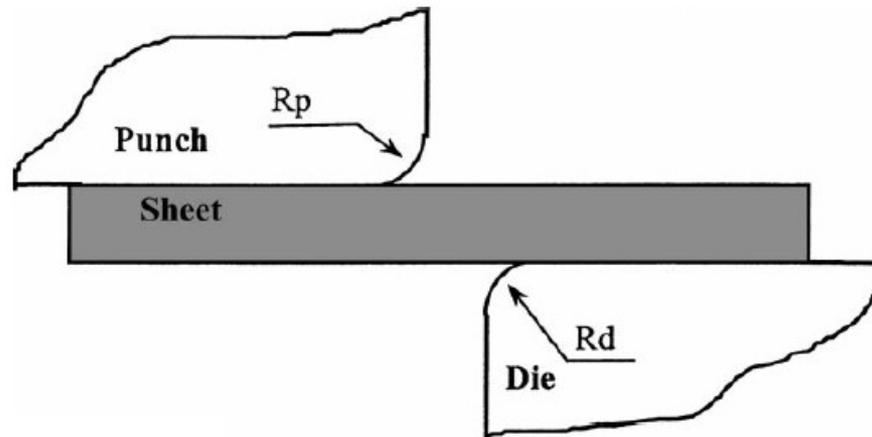


-c- Punch penetration = 42%

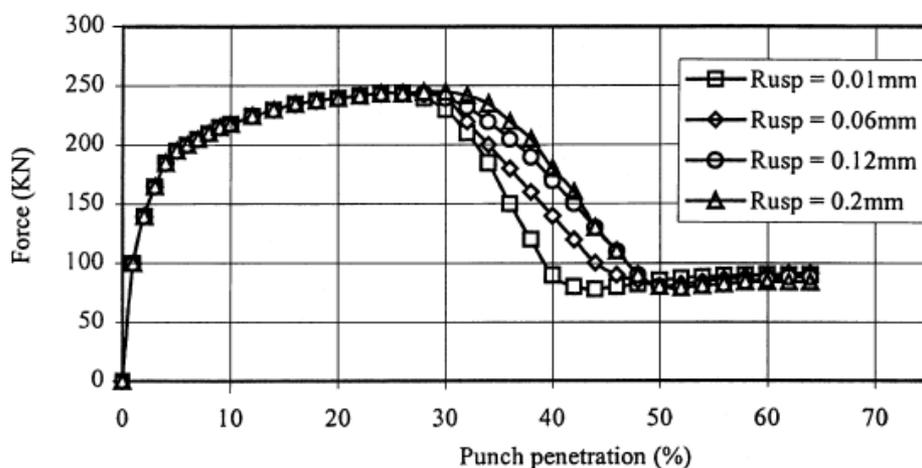


-d- Punch penetration = 70%

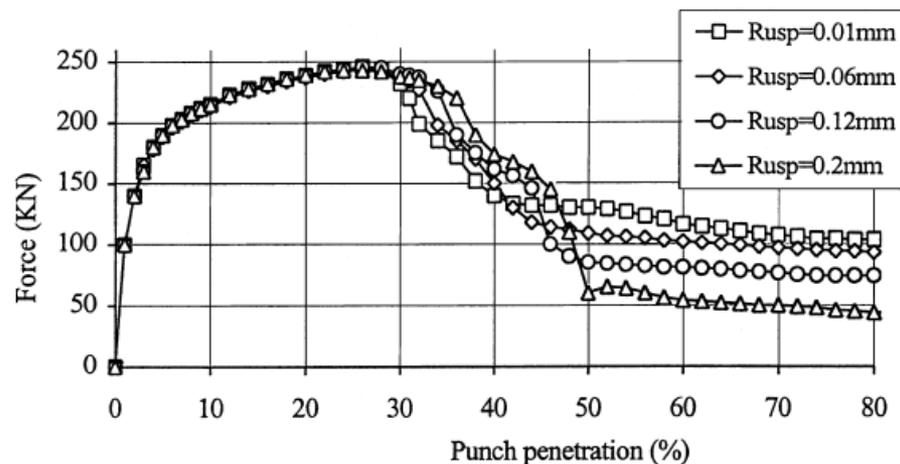
- A influência do desgaste da ferramenta na força de puncionamento e na evolução dos perfis cortados foi explicada pela alteração dos valores dos raios de borda R_p e R_d ;
- Foram escolhidas quatro formas geométricas da ferramenta correspondentes a:
 - a) Nova matriz com raio R_d 0,01 mm,
 - b) Novo punção com raio R_p 0,01 mm,
 - c) Três punções com diferentes raios R_p 0,06, 0,12 e 0,2 mm;



- Os experimentos mostram que, para os vários estados de desgaste do punção, não há diferença entre as cargas máximas puncionamento, no entanto, a penetração do punção correspondente ao início da trinca no material aumenta conforme o desgaste do punção ocorre pois apresenta um aumento relativo na área de contato entre o punção e a chapa.

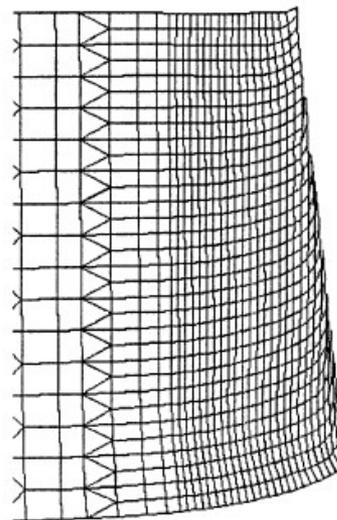


-a- Simulation.

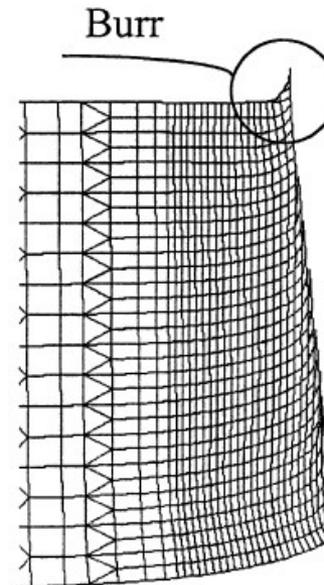


-b- Experiment.

- Do ponto de vista de competitividade industrial, a melhor qualidade das peças deve ser obtida com custos mínimos. Portanto, a atenção também se concentrou na qualidade geométrica;
- Como pode ser esperado, conforme o desgaste da ferramenta aumenta, pior é a qualidade da peça estampada.
- O método numérico mostra que o raio no ferramental apresenta rebarbas na peça estampada.

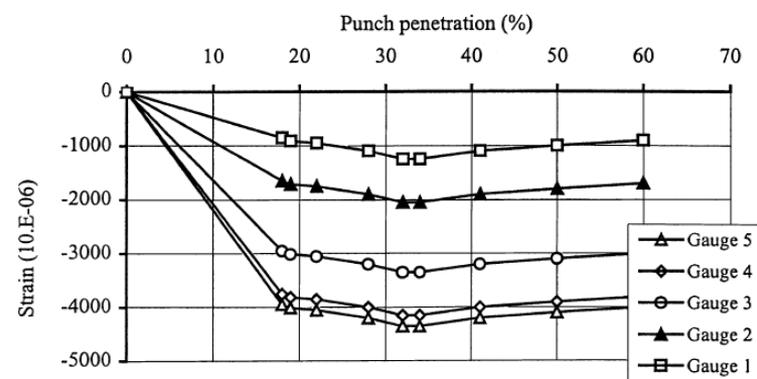


-a- New punch : $R_p = 0.01$ mm.

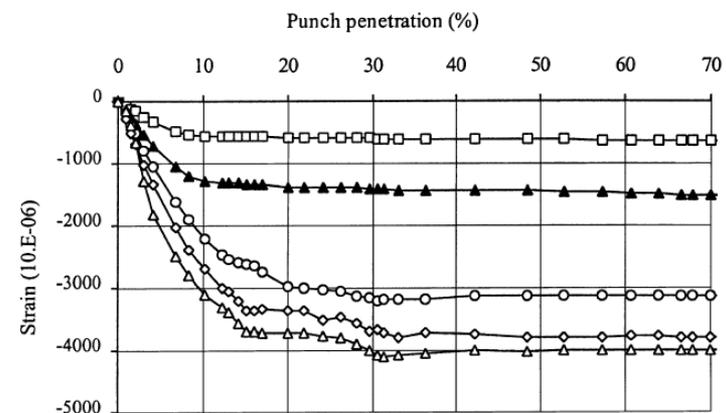


-b- Used punch $R_p = 0.2$ mm.

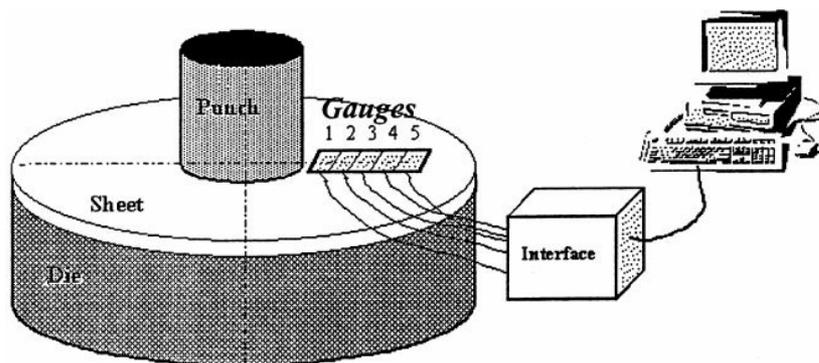
- O fluxo de material causado pela penetração do punção na chapa foi investigado;
- A fim de detectar as deformações ortorradiais dos corpos de prova durante a operação de puncionamento, cinco medidores de tensão foram ligados na superfície em distâncias radiais variando de 2 a 10 mm da aresta de corte;
- Pode-se observar que, quanto mais próximo do indicador do cisalhamento da chapa, maior a amplitude da deformação;
- O acordo entre os resultados numéricos e os experimentais confirma a confiabilidade do algoritmo FEM ao descrever o fluxo do material da folha durante o processo.



-a- Simulation.



-b- Experiment.



- Foi demonstrado nesse artigo que uma simulação precisa do processo leva a uma ótima seleção de parâmetro de conformação;
- O comportamento material deve ser conhecido com precisão, especialmente na avaliação da evolução do dano e ruptura;
- O início e a propagação da trinca pode ser previsto com precisão sem divergência computacional desde o momento da iniciação da trinca até a ruptura completa da chapa;
- Os resultados obtidos por meio do ABAQUS apresentam bons resultados em comparação com os experimentais;