

PMR 2202 – Projeto 2 - Estampagem

Os ensaios de fabricação avaliam características intrínsecas do material em produção. Geralmente processos de conformação mecânica de materiais metálicos exigem o conhecimento do comportamento do material durante processamento, para que se obtenha sucesso no mesmo. Os tipos mais comuns de materiais a serem conformados são fitas ou chapas finas para estampagem, ou barras e placas para dobramento de um determinado produto final.

Os ensaios de fabricação procuram avaliar as condições de conformação que evitem defeitos como rugas, trincas de bordas (no caso da estampagem de copos), entre outros. E também são úteis para determinar os esforços envolvidos entre a ferramenta de conformação e o material de trabalho nas diferentes situações existentes em um processo (vide figura 1). No caso de dobramento, ensaios são muito importantes na determinação do retorno de curvatura devido às deformações elásticas do material, permitindo obter-se valores físicos precisos sobre o ajuste necessário ao ângulo para o qual uma determinada curva seja obtida. Enfim, estes ensaios são amplamente aplicados na indústria de produtos que utilizam a conformação plástica como meio de processamento.

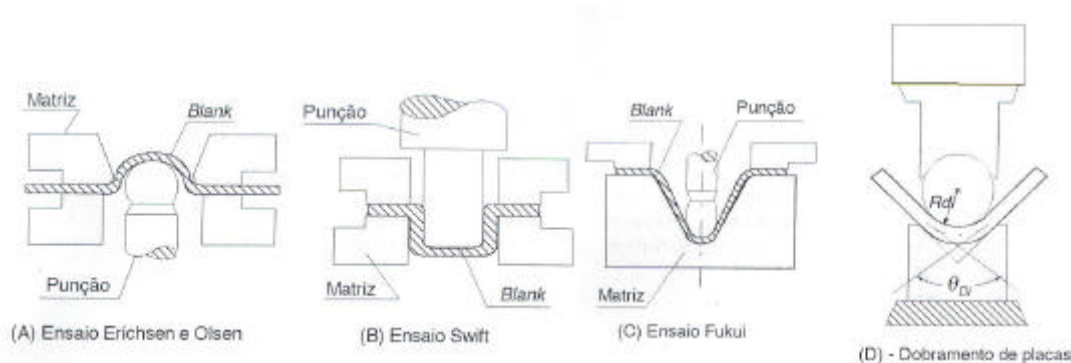


Figura 1: Esboço dos principais ensaios de fabricação, onde (A) e (C) são ensaios de embutimento, e (B) e (D) de dobramento.

O objetivo dos ensaios estudados até o momento é verificar o comportamento de materiais sujeitos a esforços específicos e os limites físicos destes tipos de esforços na estrutura e estabilidade destes materiais. Além disso, os ensaios permitem determinar características mecânicas inerentes ao material como módulo de elasticidade, tensões

limite de tração e compressão, dureza superficial, vida e limite de resistência à fadiga entre outros.

Os ensaios de fabricação já objetivam determinar comportamento dos materiais envolvidos diretamente na fabricação, nos processos que envolvem a conformação mecânica de chapas, tubos entre outros materiais metálicos. Seus resultados permitem determinar ou alterar os processos e seus equipamentos envolvidos. Os processos de fabricação visam conferir à peça a forma e dimensões finais antes de sua aplicação direta nos fins para os quais foi projetada.

Ensaio de embutimento

O ensaio de embutimento tem como objetivo avaliar a estampabilidade de chapas e/ou tiras metálicas, relacionando características mecânicas e estruturais da peça com as máximas deformações possíveis de ser realizadas sem que ocorra ruptura [ASTM E643-84]. Existem diversos tipos de ensaio para essa forma de avaliação, descritos em seguida e esquematizados na figura 2.

- Ensaio Erichsen: consiste na deformação de uma tira metálica (blank, corpo-de-prova) presa em uma matriz com um punção na forma esférica. Mede-se a máxima penetração do punção para a qual não tenha ocorrido a ruptura da tira;
- Ensaio Olsen: é semelhante ao ensaio Erichsen, com algumas alterações nas dimensões do equipamento;
- Ensaio Swift: consiste na deformação de um disco metálico (blank) preso em uma matriz com um punção na forma cilíndrica. Nesse caso, o resultado é obtido por meio da relação entre o diâmetro máximo do disco e o diâmetro do punção que provoca a ruptura da peça. Desse modo, esse método de ensaio exige a utilização de diversos corpos-de-prova, sendo muito utilizado para análise de casos de estampagem profunda (deep.drawing).
- Ensaio Fukui: este tipo de ensaio consiste em conformar um disco metálico como um cone com vértice esférico. Exige a utilização de diversos corpos-de-prova, e é usado também para análise de estampagem profunda.

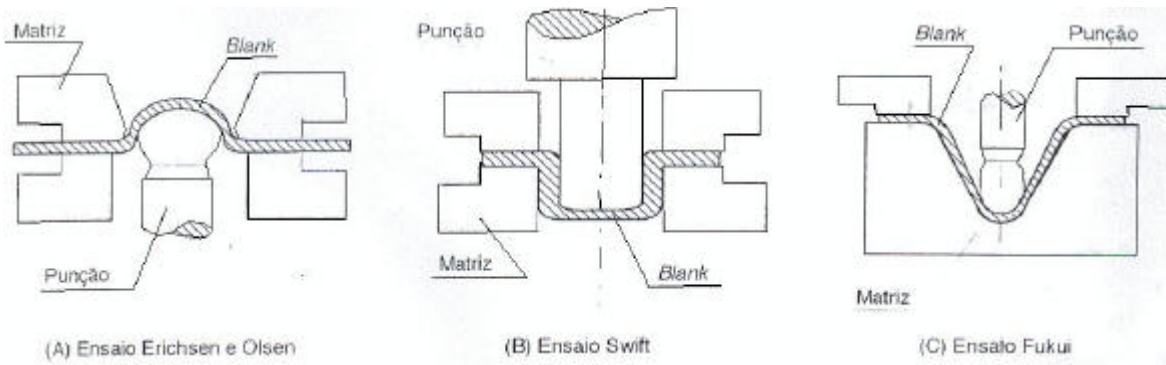


Figura 2: esquemas dos tipos de ensaio de embutimento.

Estampagem profunda ou Ensaio Swift

Na estampagem profunda, um disco metálico (blank) é colocado sobre uma matriz e é comprimido para o seu interior através de um punção, geralmente de forma cilíndrica. O objetivo da análise da estampagem profunda é determinar as relações geométricas entre o máximo diâmetro do disco e o mínimo diâmetro do punção possível para se conformar um copo cilíndrico sem que ocorra ruptura ou falhas superficiais. A figura 3 mostra um esboço do ensaio Swift.

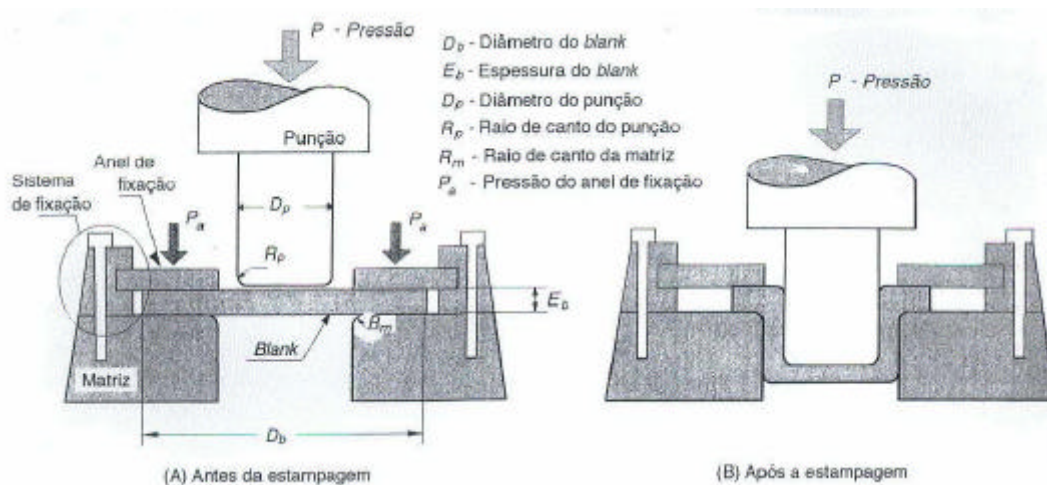


Figura 3: Ensaio de estampagem profunda (Swift).

Ao longo do processo de estampagem, o blank é submetido a diferentes tipos de deformação, até atingir a forma final, conforme pode ser observado na figura 4.

Na conformação, à medida que o punção avança sobre o blank, o metal em contato com o punção, acomoda-se em torno do seu perfil, reduzindo a espessura da chapa. Essa região, que será o fundo do copo após a conformação, estará sujeita a um estado biaxial (radial) de tensões de tração, conforme ilustra a figura 4E.

O metal situado ao redor da base do punção é deformado radialmente para o interior da matriz, reduzindo assim, seu diâmetro original D_b até o diâmetro de conformação, que corresponde ao do punção D_p . Assim, o metal sofre esforços de compressão na direção circunferencial, e tração na direção radial (vide figura 4A). Nesta região é necessário cuidado para que não haja enrugamento na borda da peça, o que é feito por um sistema de pressão no anel de fixação. Se ocorrer enrugamento, as rugas serão transmitidas da borda para o interior da matriz, o que pode formar e propagar trincas, rompendo a lateral do copo. À medida que o material caminha em direção à matriz, ele é dobrado e depois desdobrado devido ao esforço trativo que ocorre na lateral do copo (figura 4B). Nesta região ocorre deformação plana; além disso, em geral, essa região é responsável pela homogeneização da espessura da parede pelo estiramento uniforme, conforme ilustra a figura 4C. Além de todos os esforços representados na figura 4, deve se considerar ainda o efeito do atrito que ocorre entre o blank e o punção, ou e a matriz.

Na região de formação do copo no interior da matriz, empregam-se comumente folgas da ordem de 10 a 20% da espessura do blank, além da utilização de lubrificação especificada em norma.

A força total do punção para a deformação completa do copo corresponde à somatória de todos os esforços envolvidos na deformação da peça, inclusive o atrito. O esforço para deformação ideal aumenta continuamente devido ao efeito do encruamento na conformação plástica. A força global de atrito é basicamente composta pelo atrito entre o blank e o anel fixador, na borda do copo, que parte de um pico de esforço (atrito estático para o atrito dinâmico) e diminui continuamente devido à diminuição da área de material sob o anel de fixação. Caso não exista folga entre punção/blank/matriz, o atrito deve se estabilizar em um valor mínimo diferente de zero. A uniformização da espessura da parede ocorre ao final de processo, após toda a área do blank estar contida no interior da matriz. A figura 5 ilustra um esboço dos esforços envolvidos na estampagem e a força global do punção.

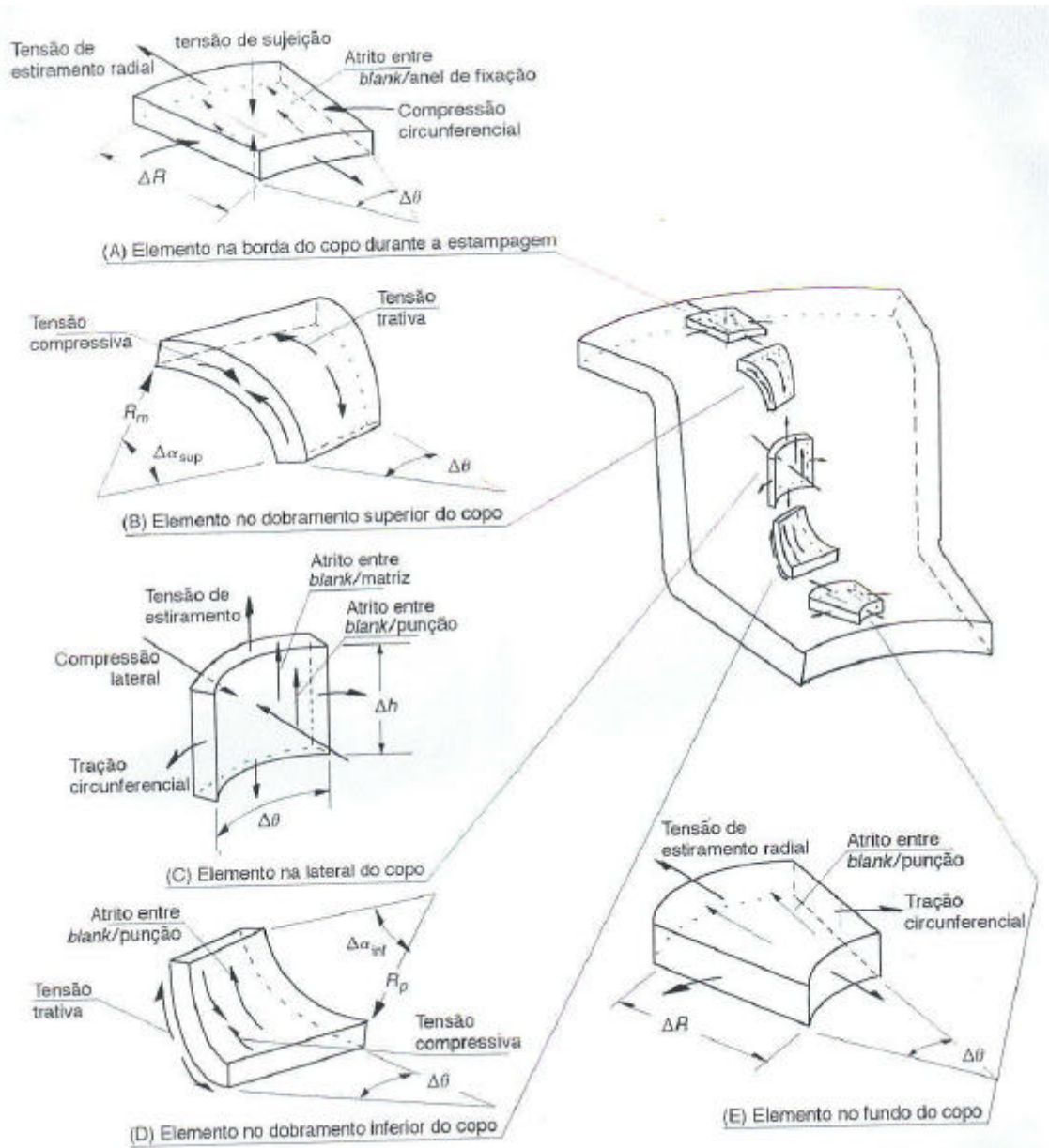


Figura 4: tipos de deformação que ocorrem na estampagem profunda.



Figura 5 : tipos de esforços envolvidos na estampagem profunda.

Segundo estudos teóricos, a carga total do punção pode ser aproximada pela seguinte equação:

$$F_p = \left[p \cdot D_p \cdot t \cdot (1,1 \cdot \sigma_0) \cdot \ln \left(\frac{D_0}{D_p} \right) + m \cdot \left(2 \cdot F_a \cdot \left(\frac{D_0}{D_p} \right) \right) \right] \cdot \exp \left(\frac{m \cdot p}{2} \right) + B \quad (1)$$

onde:

F_p = carga total no punção (N);

D_p = diâmetro do punção (mm);

t = espessura do blank (mm);

σ_0 = Tensão de escoamento média do blank (MPa);

D_0 = diâmetro inicial do blank (mm);

μ = coeficiente de atrito;

F_a = força do anel fixador (prensa chapas) (N);

B = esforço gasto para dobrar e endireitar o blank (N).

A estampabilidade de um material corresponde à razão entre o diâmetro inicial do blank D_0 , e o diâmetro do copo estampado, ou D_p , Como se observa na figura 6. Deve-se observar que existe um diâmetro mínimo de copo possível de ser conformado em uma etapa única, ou seja, sem nenhum processo de recozimento ou recuperação e sem que ocorra ruptura.

Estudos teóricos mostram que o diâmetro mínimo possível de ser conformado, é dado aproximadamente por:

$$D_p \cong D_0 \cdot \exp(-\eta) \quad (2)$$

onde η corresponde à eficiência do processo, considerando as perdas por atrito, sendo $0 < \eta < 1$.

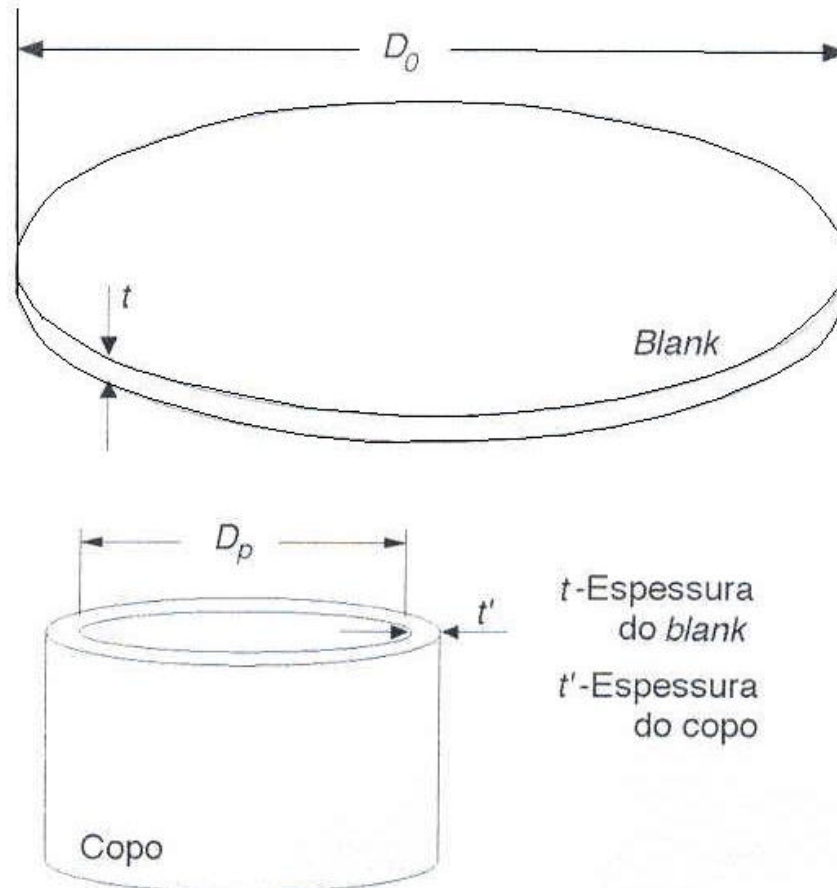


Figura 6: Blank e peça após a estampagem.

Exemplo 1:

Para um blank com 150 mm de diâmetro e $\eta = 0,8$, tem-se que o mínimo diâmetro do copo será de 67 mm, independente da ductilidade que o material apresentar. Dessa forma, caso deseje um copo com altura muito superior ao seu diâmetro, deve-se realizar diversas etapas de estampagem, sendo que entre elas será necessário recozer o material pré-conformado.

BIBLIOGRAFIA: Livro texto

KALPAKJIAN, S. & SCHMIDT – Manufacturing Engineering and Technology 4th ed. Ed. Prentice Hall – capítulo 16 – item 16-8 e 16.9 – pp. 416-420.

GARCIA, A. et al. – Ensaio de Materiais

Alem das instruções do primeiro texto, no relatório do experimento, deverão constar as seguintes informações :

- tipo de material
- espessura do blank
- método de determinação do fim do ensaio
- numero de elementos do ensaio
- tipo de lubrificação usado
- método de avanço do punção (constante ou proporcional)
- variação da força no punção (se for um parâmetro conhecido)

Para maiores detalhes ver livro texto.