

CADERNOS DA
ASSISTÊNCIA TÉCNICA



ACESITA

ACESITA S.A. ASSOCIADA À ARCELOR

Caderno 02

Julho/2004

CONFORMAÇÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

“Comportamento dos Aços Inoxidáveis em Processos de Estampagem por Embutimento e Estiramento”

Roberto Bamenga Guida
Assistente Técnico Aço Inoxidável

1 – Estampagem

A estampagem pode ser definida como um conjunto de operações com as quais, sem produzir cavacos, submetemos uma chapa plana a uma ou mais transformações, para obter uma peça com forma geométrica própria, plana ou não, usando-se um punção, uma matriz e um prensa-chapas. Muitas vezes as deformações e tensões que ocorrem durante o processo de conformação são complexas e de difícil avaliação.

Em geral os processos de estampagem são altamente eficientes, assegurando uniformidade do produto, além de um alto índice de aproveitamento da matéria prima e principalmente uma alta produtividade.

Existem vários processos de estampagem de chapas finas de metal, entre os quais podemos citar o dobramento, a estampagem profunda e o estiramento. Nos processos gerais de estampagem, dois tipos de deformação estão presentes. No primeiro caso, quando uma variação de espessura é provocada, denomina-se estiramento, e no segundo caso, quando há uma pequena variação de espessura, é comum designa-la como operação de embutimento.

1.1 - Estiramento

A estampagem por estiramento é caracterizada por um estado biaxial de deformação. O blanque é fixado pelo prensa-chapas com pressão suficiente para impedir o seu arraste, garantindo que a chapa seja submetida somente ao esforço de tração. Em muitos casos são utilizados prensa-chapas ranhurados para garantir que o material não flua para dentro da matriz, ou seja, para que haja a deformação por estiramento.

Desta forma, um material para ter bom comportamento em processos de estiramento deve distribuir as deformações de forma homogênea, retardando ao máximo o início da estricção, que o levará à ruptura.

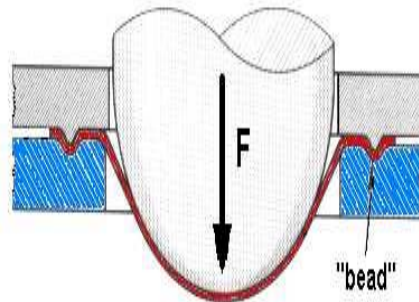


Figura 1 – Esquema de Estampagem por Estiramento

1.2 - Embutimento

O processo de embutimento implica simultaneamente em deformações de tração e compressão. Neste processo, a pressão do prensa-chapas ou anti-rugas é regulada de maneira a permitir a alimentação constante de material para dentro da matriz. Porém, a pressão ajustada deve ser suficiente para impedir o enrugamento do flange.

A embutibilidade é melhorada reduzindo a deformação na espessura e portanto, aumentando a deformação na largura. Esta relação poderá ser melhor compreendida no item 3.2.

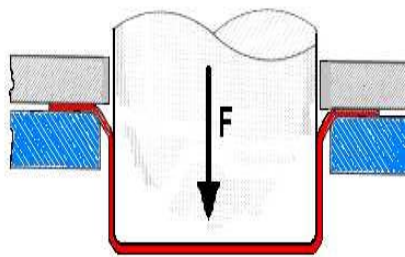


Figura 2 – Esquema de Estampagem por Embutimento

Porém, na maioria dos processos de estampagem a chapa é submetida a uma combinação de esforços de embutimento e estiramento. Na FIG. 3 mostra-se as regiões com predominância de embutimento, estiramento e ambos simultaneamente.

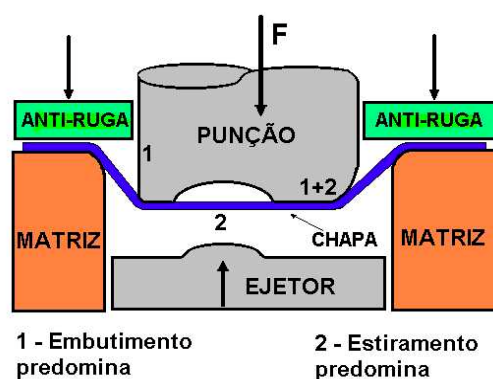


Figura 3 – Estampagem Combinada

2 - Principais características dos aços inoxidáveis na estampagem

2.1- Aços Inoxidáveis Austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos apresentam uma estrutura cristalina cúbica de face centrada, ou CFC (FIG. 4) e, quando submetidos a algum tipo de conformação a frio, tem a capacidade de alterar sua estrutura cristalina, promovendo a formação de uma estrutura martensítica.

Esta alteração estrutural ocorre em todos os aços inoxidáveis austeníticos quando submetidos a deformação a frio, porém a taxa de formação da martensita varia em função da estabilidade da austenita apresentada em cada liga. Os aços inoxidáveis que apresentam menor estabilidade possuem elevadas taxas de formação de martensita, o que acarreta em muitos casos uma perda de sua capacidade de estiramento. Em função desta perda aços inoxidáveis austeníticos de maior estabilidade vem sendo desenvolvidos, através de adições de certos elementos de liga. Estes aços de maior estabilidade apresentam uma taxa de formação de martensita induzida por deformação a frio mais adequada para produção de estampas mais profundos e complexos.

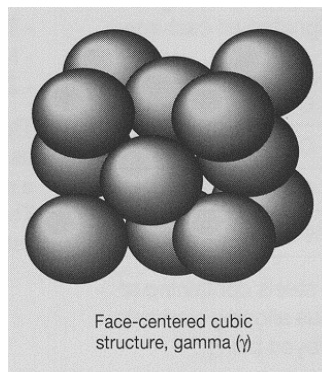


Figura 4 – Arranjo Estrutural CFC

2.2 – Aços Inoxidáveis Ferríticos

Os aços inoxidáveis ferríticos apresentam uma estrutura cristalina do tipo cúbica de corpo centrado, ou CCC (FIG 5). Diferentemente dos aços inoxidáveis austeníticos esta família de aços inoxidáveis não possui alteração de sua estrutura cristalina decorrente de processos de conformação a frio, o que confere a estes aços uma forte dependência de sua textura cristalográfica para se deformarem. Esta dependência fica mais evidente para processos de estampagem onde há o predomínio do embutimento.

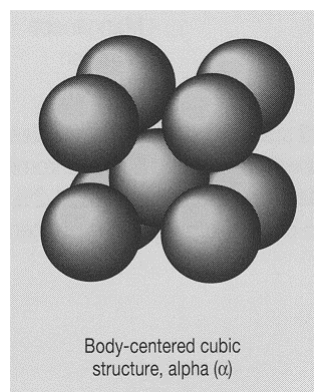


Figura 5 – Arranjo Estrutural CCC

3 - Propriedades Fundamentais x Estampabilidade

A influência das propriedades mecânicas do material na estampagem depende do modo de conformação. Com esta afirmação pretende-se dizer que algumas propriedades têm um efeito muito mais pronunciado em um determinado modo de conformação do que em outro. Por exemplo, o valor de anisotropia normal tem um efeito muito pronunciado no embutimento, enquanto o alongamento uniforme tem um efeito nítido no estiramento e menos pronunciado no embutimento.

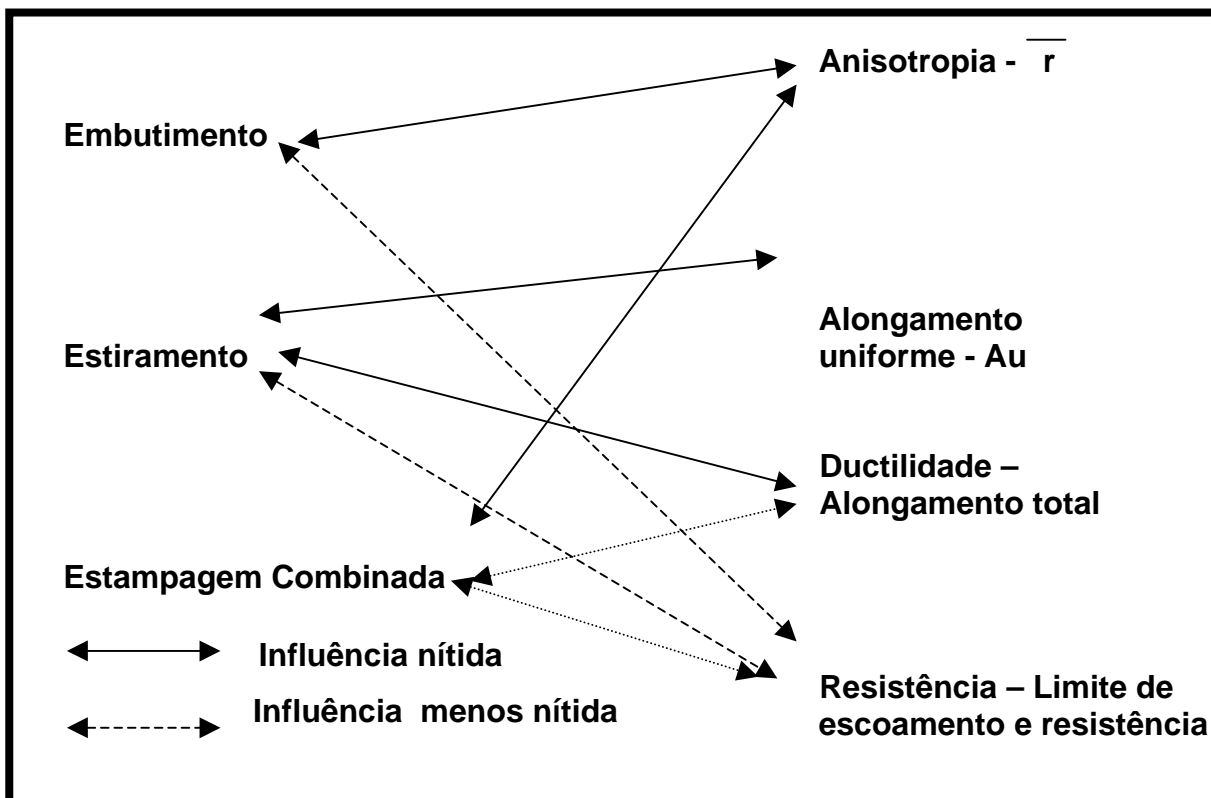


Figura 6 - Propriedades Fundamentais X Modo de Conformação

3.1 - Efeito do alongamento uniforme na estampabilidade

O modo de estampagem por estiramento implica no aumento da área do blankue situada sob o raio do punção, através de um estado biaxial de tração. O que significa que haverá necessariamente redução de espessura. Então a capacidade do material resistir a perda de espessura sem que ocorra instabilidade plástica ou seja, estrição, vai determinar a altura da peça estampada sem fratura e, de acordo com a teoria da plasticidade, quanto maior for o valor do alongamento uniforme maior será a possibilidade de se obter uma peça de maior profundidade / complexidade.

O alongamento uniforme pode ser obtido facilmente através da curva tensão x deformação (FIG. 7) que é obtida a partir do ensaio de tração. Este ensaio consiste em submeter um corpo de prova padronizado a uma força trativa uniaxial, aumentando-a gradualmente até a ruptura do material. (FIG. 7)

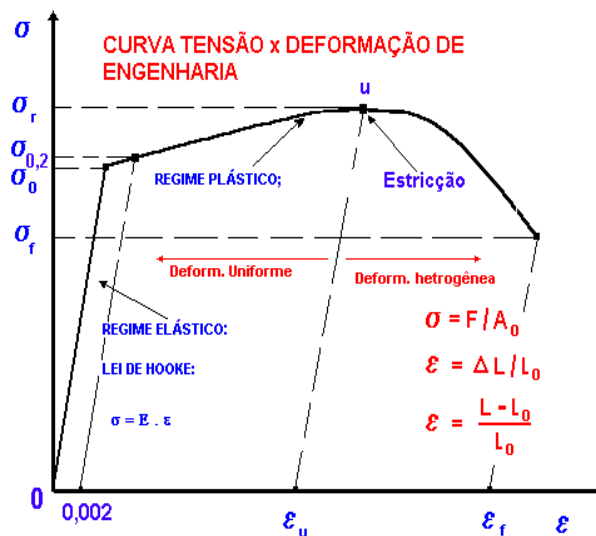


Figura 7 – Curva Tensão x Deformação

Já na FIG. 8 pode-se verificar a diferença das curvas Tensão x Deformação entre os aços inoxidáveis ferríticos e austeníticos. Nota-se que o limite de resistência dos aços inoxidáveis austeníticos é bem superior ao dos aços inoxidáveis ferríticos, implicando na necessidade de prensas de maior capacidade para sua estampagem. Outra importante informação que pode-se tirar da FIG.8 é a grande diferença de alongamento uniforme entre as duas famílias de aços inoxidáveis, fato que explica o melhor desempenho dos aços inoxidáveis austeníticos em processos de estampagem por estiramento.

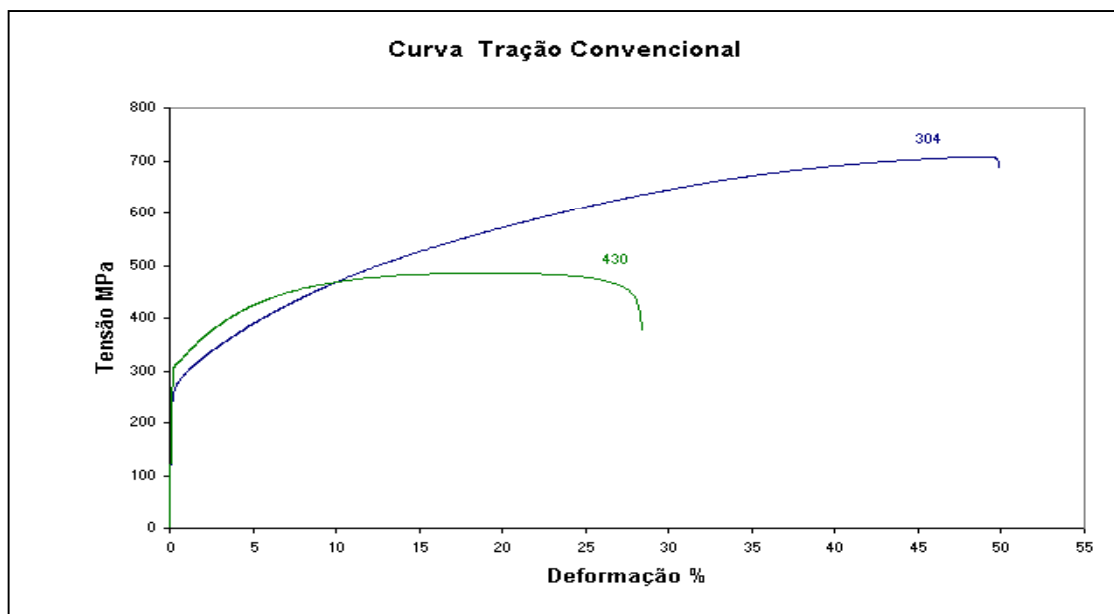


Figura 8 – Diferença entre a Curva Tensão x Deformação dos aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos.

Na tabela I são apresentados os valores típicos de alongamento uniforme de cada aço, relacionando-o com sua capacidade de estiramento. Quanto maior o valor de alongamento uniforme melhor será a característica deste material em processos de estiramento.

Tabela I – Efeito do Alongamento Uniforme no Estirabilidade do Material

| AÇO | C | Ni | Nb | Ti | Cu | Au (%) | At (%) | ESTIRABILIDADE |
|-------|-------|------|-------|-------|------|--------|--------|----------------|
| 304 A | 0,047 | 8,06 | - | - | - | 58 | 63 | ↑↑↑ ↑↑ |
| 304 D | 0,018 | 8,38 | - | - | - | 53 | 60 | ↑↑↑ ↑ |
| 304 N | 0,030 | 8,10 | - | - | 1,56 | 61 | 66 | ↑↑↑ ↑↑↑ |
| 409 A | 0,08 | - | - | 0,019 | - | 22 | 35 | ↑↑↑ |
| 430 A | 0,049 | - | - | - | - | 18 | 29 | ↑↑ |
| 430 E | 0,014 | - | 0,35 | - | - | 18 | 30 | ↑ |
| 439 A | 0,010 | - | 0,194 | 0,19 | - | 21 | 36 | ↑↑↑ |
| 441 A | 0,013 | - | 0,588 | 0,136 | - | 21 | 32 | ↑↑↑ |

* Composição Química típica.

** Os valores de Alongamento Uniforme (Au) e Alongamento Total (At) são resultados de ensaios de laboratório.

3.2 - Efeito da Anisotropia na estampabilidade

A estampagem profunda implica simultaneamente em deformações de tração e compressão. A estampabilidade é melhorada reduzindo-se as deformações perpendiculares à espessura e portanto, aumentando as deformações na largura. A relação de deformação “r” é definida como a relação entre deformações na espessura e na largura.

$$r = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} = \frac{\ln(W/W_0)}{\ln(t/t_0)}$$

onde: $\varepsilon_w, \varepsilon_t$ = deformação verdadeira (na largura e na espessura respectivamente);
 W, W_0 = largura (instantânea e inicial respectivamente);
 t, t_0 = espessura (instantânea e inicial respectivamente).

As relações de deformação são usualmente medidas em um ensaio de tração uniaxial em corpos de provas extraídos paralelos à direção de laminação, a 45 e 90° em relação à mesma e são designadas como r_0 , r_{45} e r_{90} respectivamente. Definem-se o coeficiente de anisotropia planar Δr e coeficiente de anisotropia normal \bar{r} como sendo:

$$\bar{r} = 0,25 \times (r_0 + 2r_{45} + r_{90})$$

$$\Delta r = 0,5 \times (r_0 + r_{90} - 2r_{45})$$

A anisotropia planar Δr mede a variação de r entre as direções longitudinal e transversal de laminação. Já a anisotropia normal \bar{r} é assim chamada porque mede a resistência à deformação na espessura da chapa, ou seja, é a anisotropia plástica através da espessura. Um coeficiente $\bar{r} = 1$, indica que existe igualdade entre a resistência à deformação na largura e na espessura. Para $\bar{r} > 1$, significa que a chapa oferece maior resistência à deformação plástica na espessura. O que se deseja para um aço de boa embutibilidade é que este tenha um elevado \bar{r} (alta preferência de deformar-se no plano da chapa e pouco na espessura) e um Δr próximo de zero (mínimo de variação planar). Estes dois parâmetros, \bar{r} e Δr , são importantes na definição do comportamento de um material em estampagem profunda.

Os aços ferríticos convencionais, como por exemplo o tipo 430, possuem valores de \bar{r} próximos a 1 e portanto comportamento em processo de embutimento similares aos aços inoxidáveis austeníticos. Já outros aços inoxidáveis ferríticos estabilizados ao nióbio e/ou

titânio, possuem elevados coeficientes de anisotropia normal, \bar{r} , explicando seu melhor desempenho em processos de embutimento, quando comparado com os aços inoxidáveis austeníticos.

Na tabela II são apresentados os valores típicos de coeficiente de anisotropia normal em cada aço, relacionando-os com o valor de Razão de Estampagem (LDR, sigla em inglês, Limit Drawing Ratio) . Este Índice mede a capacidade dos materiais em processos de estampagem por embutimento e, quando maior for o seu valor, melhor será o comportamento do material nestes processos.

Tabela II – Efeito do Coeficiente de Anisotropia Normal na Embutibilidade do Material

| AÇO | C | Ni | Nb | Ti | Cu | \bar{r} | LDR |
|-------------------------------|-------|------|-------|-------|------|-----------|------|
| Aços Inoxidáveis Austeníticos | | | | | | | |
| 304 A | 0,047 | 8,06 | - | - | - | 1,14 | ↑ |
| 304 D | 0,018 | 8,38 | - | - | - | 1,19 | ↑ |
| 304 N | 0,030 | 8,10 | - | - | 1,56 | 1,08 | ↑ |
| Aços Inoxidáveis Ferríticos | | | | | | | |
| 409 A | 0,08 | - | - | 0,019 | - | 2,53 | ↑↑ |
| 430 A | 0,049 | - | - | - | - | 1 | ↑ |
| 430 E | 0,014 | - | 0,35 | - | - | 1,75 | ↑↑↑ |
| 439 A | 0,010 | - | 0,194 | 0,19 | - | 1,83 | ↑↑↑↑ |
| 441 A | 0,013 | - | 0,588 | 0,136 | - | 2,04 | ↑↑ |

* Composição química típica.

** Os valores de LDR são resultados de ensaios de laboratório .

*** Para a obtenção do parâmetro de estampagem LDR, foi realizado o Ensaio Swift com diâmetro de punção de 33 mm.

4 – Conclusões

Com base nas informações apresentadas, pode-se concluir que a especificação do melhor aço inoxidável para um determinada aplicação deve levar em conta o tipo de processo de estampagem em que a peça será submetida. Assim, isolando a influência de outros fatores que também possuem grande importância na correta especificação do material à ser empregado, tais como: resistência à corrosão, acabamento superficial, soldagem, preço entre outros, pode-se concluir que os aços inoxidáveis ferríticos são mais adequados para processos de estampagem por

embutimento e, os aços inoxidáveis austeníticos para os processos onde a estampagem é com estiramento.

5 – Bibliografia

1. **GIOSA, J. A.** *Comportamento em prensa* - ACESITA, 2003.
2. **MESQUITA, Alvares.** *Estampagem dos aços inoxidáveis*, 1997.
3. **SWIFT, H.W..** *Cup drawing from a flat blank*,
4. **PLAUT, Ronald Lesly.** *Estampagem dos aços ao carbono, Ouro Preto*, 2002,
5. **DUTRA, J.C.** *Notas de metalurgia física.*
6. **COELHO, Emerson Nunes.** *Avaliação da anisotropia em chapas de aços ABNT 430 e ABNT 430 estabilizado ao nióbio e nióbio-titânio. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2000.*
(Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas)
7. **MESQUITA, Alvares.** *Conformação dos aços inoxidáveis*, 1997.
8. **GUIDA, Roberto Bamenga .** *Conformação dos aços inoxidáveis*, 2004.

Obs.: Todas as figuras apresentadas foram retiradas de materiais próprios da ACESITA.

6. Recomendações

As informações contidas nesta publicação foram obtidas de resultados de ensaios de laboratórios e de referências bibliográficas tradicionais e respeitáveis.

O comportamento dos aços inoxidáveis pode sofrer alterações devido a variações de processo.

Por estas razões, as informações desta publicação devem ser utilizadas como uma referência inicial para ensaios ou para uma especificação final por parte do comprador. Nem a ACESITA, nem o autor do presente trabalho, se responsabilizam por perdas ou prejuízos que sejam consequência do uso não adequado das informações apresentadas.