

MÓDULOS DE TREINAMENTO

# CONHECENDO OS AÇOS INOXIDÁVEIS

Coordenação:

**ABINOX**

Por:

**Eng. Ronaldo Claret Ribeiro da Silva**

**4**

**CONFORMAÇÃO DE CHAPAS  
FINAS DE AÇOS INOXIDÁVEIS**

MÓDULOS DE TREINAMENTO

# CONHECENDO OS AÇOS INOXIDÁVEIS

Professor:

**Ronaldo Claret Ribeiro da Silva**

Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Metalúrgica pela UFMG.

Experiência Profissional: 40 anos na Aperam South America nas áreas de Produção, Metalurgia e Pesquisa, tendo ocupado as posições de Pesquisador (processos a quente e a frio dos aços Inox), Gerente Executivo de Metalurgia do Inox, Gerente Executivo do Centro de Pesquisa. Larga experiência internacional. Autor e coautor de inúmeros artigos técnicos e de várias patentes de produtos e processos.

**Organizado por:**

**ABINOX**

# INTRODUÇÃO

Conformação é um nome genérico para a produção de peças nos mais diferentes formatos a partir de chapas planas, figura 1. Exemplos de processo de conformação: estampagem, repuxamento, dobramento, corte e calandragem. Sendo a estampagem o processo mais comum de conformação de chapas finas.

Peças nas mais variadas formas e complexidade podem ser fabricadas com o aço inox, detalhes serão apresentados a seguir.



Figura 1: Exemplos de peças produzidas a partir de chapas finas.

## Estampagem

Existem dois processos básicos de estampagem: embutimento e estiramento. Para exemplificá-los será utilizado o caso de estampagem de uma chapa, ou blanche, por um punção cilíndrico, figura 2.

No estiramento o blank é fixado pelo prensa-chapas com pressão suficiente para evitar o fluxo de material para dentro da matriz, ocorrendo um afinamento e um encruamento do material durante a conformação.

Já no embutimento é permitido que o material flua sob o prensa-chapas, não ocorrendo o afinamento e um menor grau de encruamento. Na prática industrial há uma combinação dos dois processos, ajustando-os de acordo com as características da peça e do aço empregado.

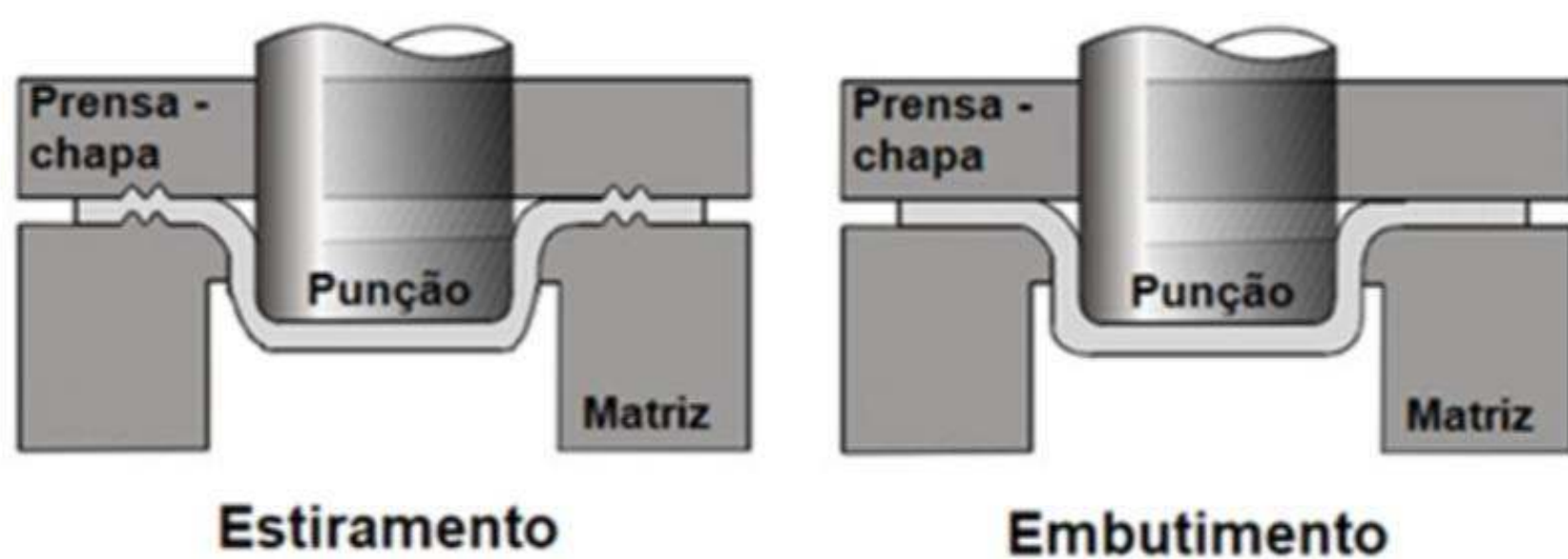


Figura 2: Processos de Estiramento e de Embutimento

Os aços inox austeníticos apresentam um excelente desempenho tanto no embutimento, devido à sua alta ductilidade, quanto no estiramento, devido à sua alta taxa de encruamento durante a deformação, aumentando a resistência das regiões mais finas. Já os aços inox ferríticos não tem um bom comportamento no estiramento, mas podem apresentar excelente desempenho no embutimento, através do controle de sua textura cristalográfica. Texturas com forte resistência à redução de espessura permitem a produção de peças profundas.

## Estampagem dos Aços Inox Austeníticos

Os aços inox austeníticos caracterizam-se por serem metaestáveis. Sua estrutura austenítica pode se transformar em martensita quando deformados a frio. Esta martensita é denominada “martensita induzida por deformação” e varia com o grau de estabilização da austenita e com o grau de deformação. E leva a um aumento da resistência mecânica e a um magnetismo na região deformada.

O controle da taxa de encruamento dos aços austeníticos, através da formação desta martensita induzida por deformação, permite otimizar o processo de estiramento, obtendo peças muito profundas:

- Aços mais estáveis, com pouca formação de martensita, como o 304DDQ e o 305 (aços com teores mais elevados de Ni, mais de 9,0%), não aumentarão sua resistência o suficiente para evitar o rompimento devido ao afinamento;
- Aços muito instáveis, com muita formação de martensita, como o 301 (com 7% de Ni), aumentarão tanto a sua resistência que o rompimento se dará pelo excesso de esforço fora da área encruada. Além de apresentarem o fenômeno do “trincamento posterior”, que será detalhado mais abaixo. Os aços da série 200 também estão nesta categoria;
- Aços balanceados formarão martensita na medida exata para uma excelente profundidade da peça estampada. Estes exemplos são ilustrados na figura 3. Os aços normalmente encontrados no mercado, com 8% de Ni, se enquadram nesta categoria e são aptos à grande maioria das peças fabricadas. Para casos mais exigentes, um pequeno aumento no Ni, ou a adição de Cu, são suficientes.

A forma mais usual de se avaliar a estabilidade de um aço austenítico é através do MD30, que é a temperatura na qual se forma 50% de martensita com 30% de deformação. E é expressa pela equação:

$$\text{MD30} = 551 - 462(\text{C} + \text{N}) - 9,2\text{Si} - 8,1\text{Mn} - 13,7\text{Cr} - 29(\text{Ni} + \text{Cu}) - 18,5\text{Mo} - 68\text{Nb} - 1,42(\text{GS} - 8,0)$$

Na qual o MD30 é função da composição química em (%) e do tamanho de grão ASTM (GS).

Na figura 3 ilustra-se a relação entre o valor do MD30 e a estabilidade do aço: aços estáveis tem valores mais baixos de MD30, aços instáveis tem os valores mais altos. Para uma estampagem otimizada em um único estágio busca-se um MD30 entre -20°C e 80°C.

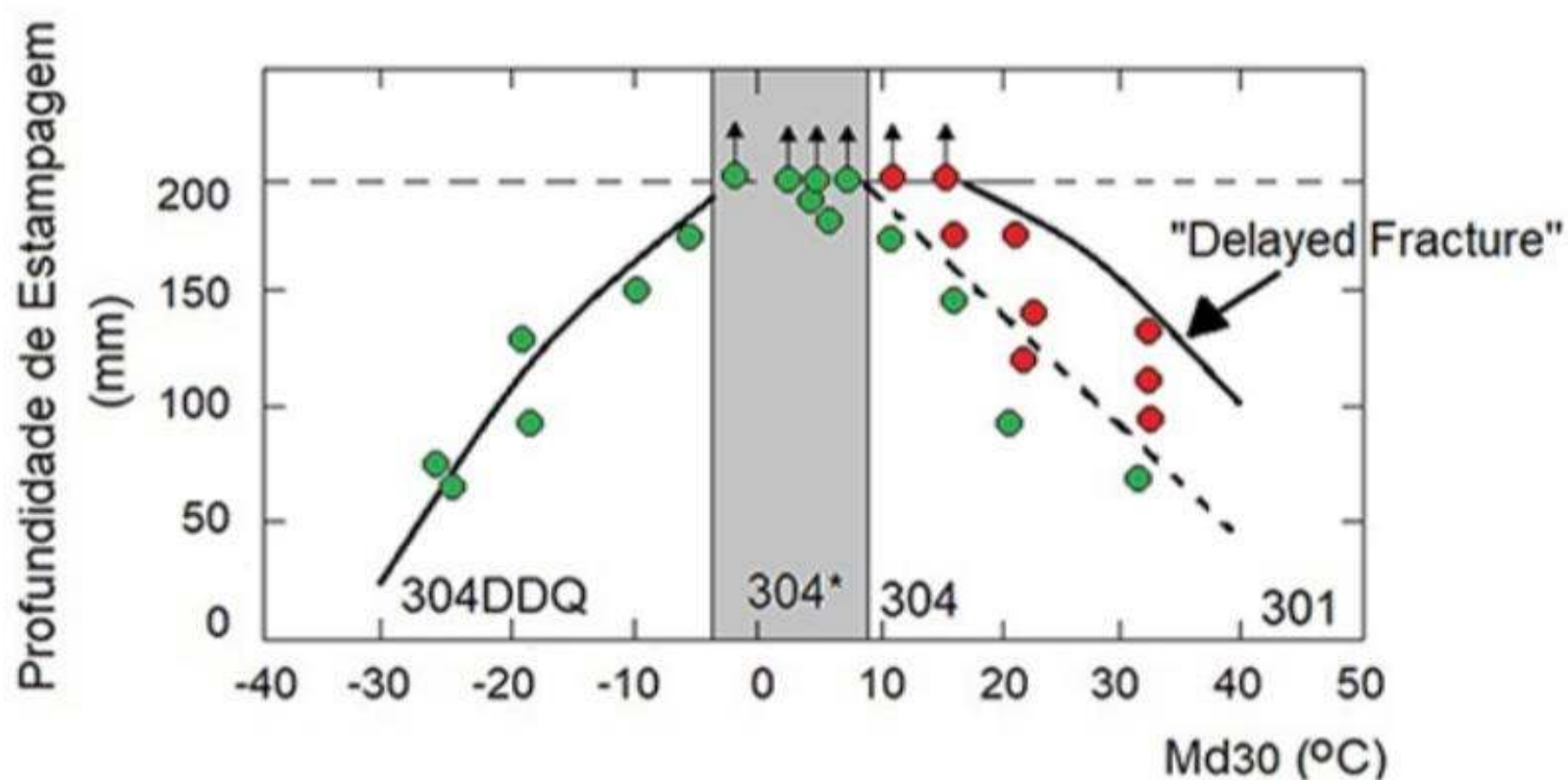


Figura 3: Profundidade de estiramento dos aço inox austeníticos em função do MD30

Os aços estáveis, 304DDQ, são utilizados para fabricação de peças em múltiplos estágios de conformação, figura 4, onde não se deseja que o material encrue e aumente sua resistência, para que não se crie dificuldade para os processos sucessivos.

O “trincamento posterior”, também conhecido como “delayed cracking” ou “season cracking”, é um fenômeno na qual aparecem trincas horas após a peça ter sido conformada, figura 5. A presença de martensita induzida por deformação é o fator principal, mas não é o único: A trinca inicial ocorre devido a uma fragilidade causada pelo Hidrogênio no aço. Tensões radiais também são nocivas. Recortar as peças, ou tratá-las com um alívio de tensão ajuda a resolver o problema. Teores elevados de Carbono e Fósforo são muito prejudiciais.

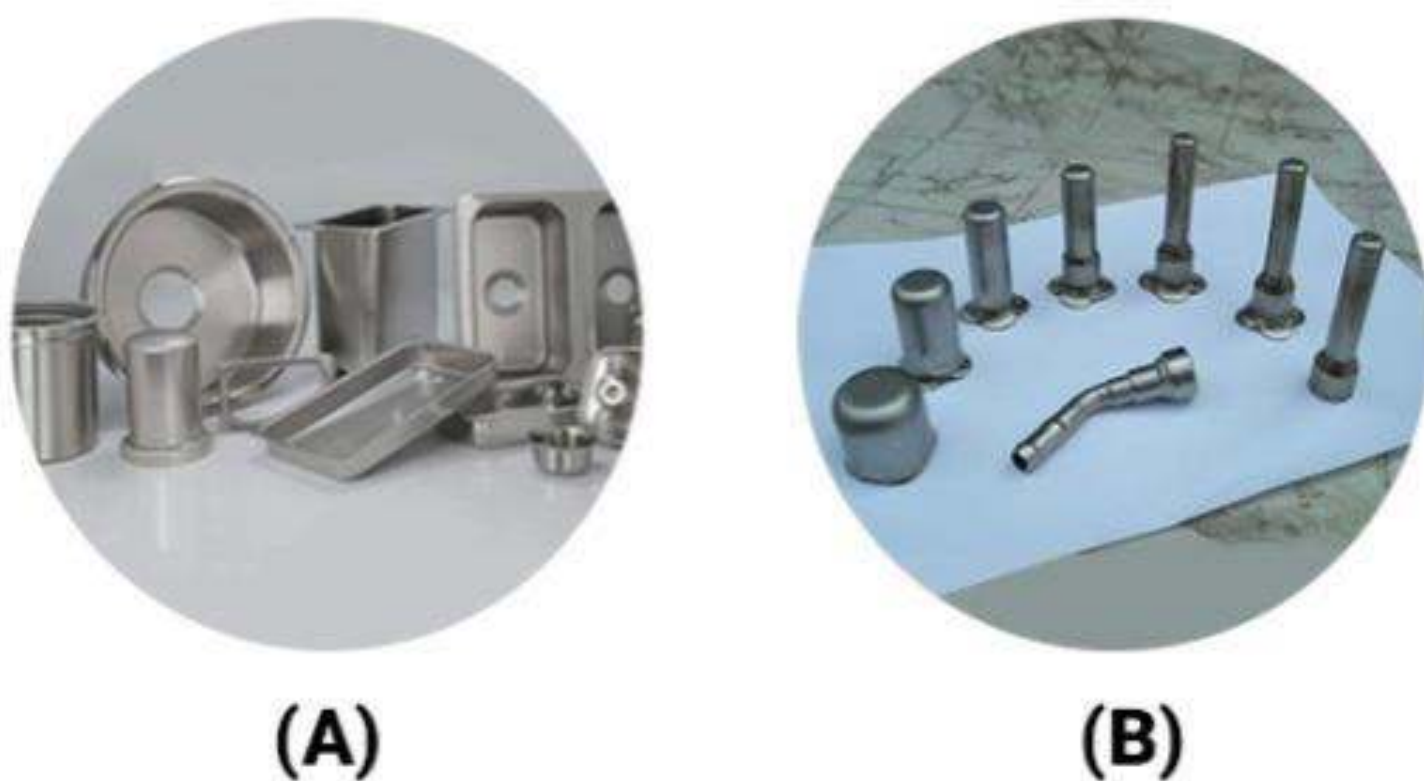


Figura 4: (a) Peças fabricadas em uma única etapa de conformação. (b) Peça fabricada em múltiplas etapas de conformação



## Estampagem dos Aços Inox Ferríticos

A obtenção de texturas cristalográficas favoráveis nos aços ferríticos se dá através da combinação de aços estabilizados e altas reduções na laminação a frio. A maneira usual de avaliação é através do “Coeficiente de Anisotropia Normal Médio”  $R_m$ .

A anisotropia normal avalia a capacidade do material se deformar mais nos sentidos do comprimento e da largura do que na espessura, apresentando uma resistência ao afinamento. São realizadas avaliações nos sentidos longitudinal, transversal, e a 45º, figura 6, das quais se toma um valor médio  $R_m$ . Este valor se correlaciona com a capacidade de embutimento do material: quando maior o  $R_m$ , maior a profundidade no embutimento, figura 7.

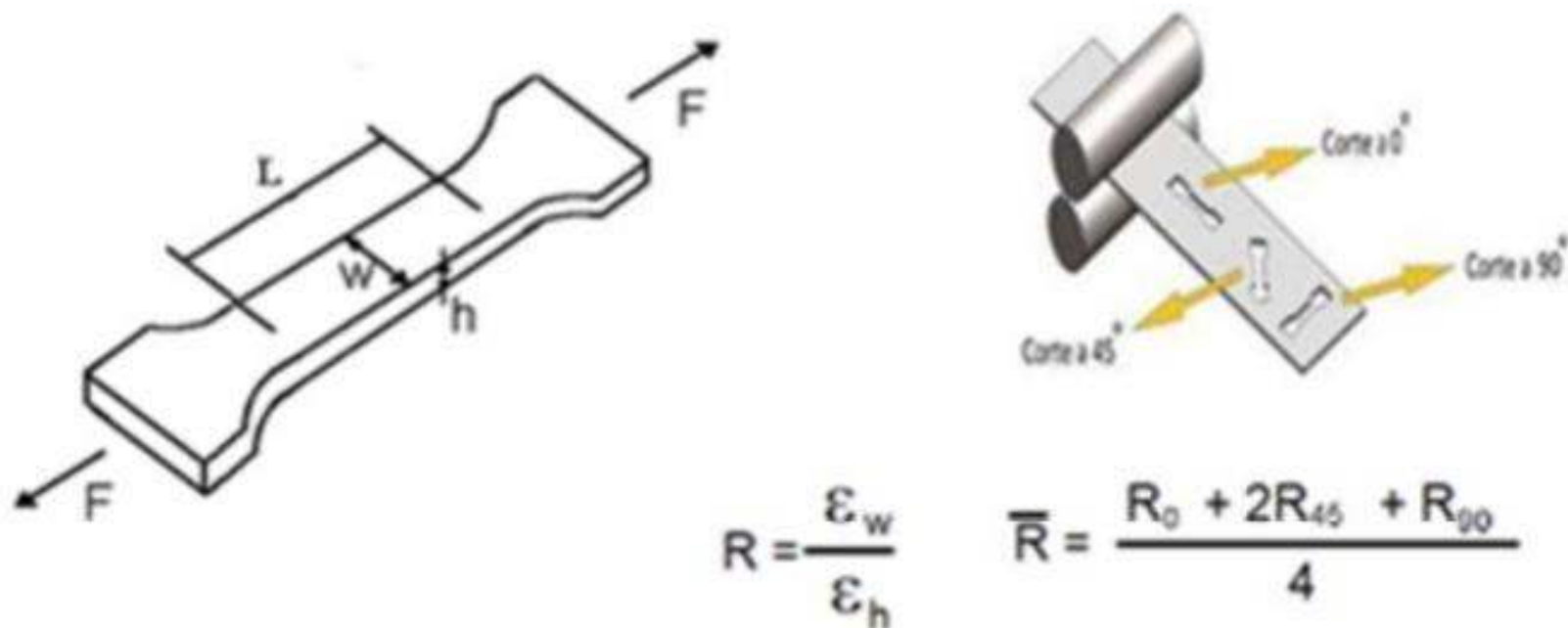


Figura 6: Coeficiente Anisotropia Normal Médio,  $R_m$



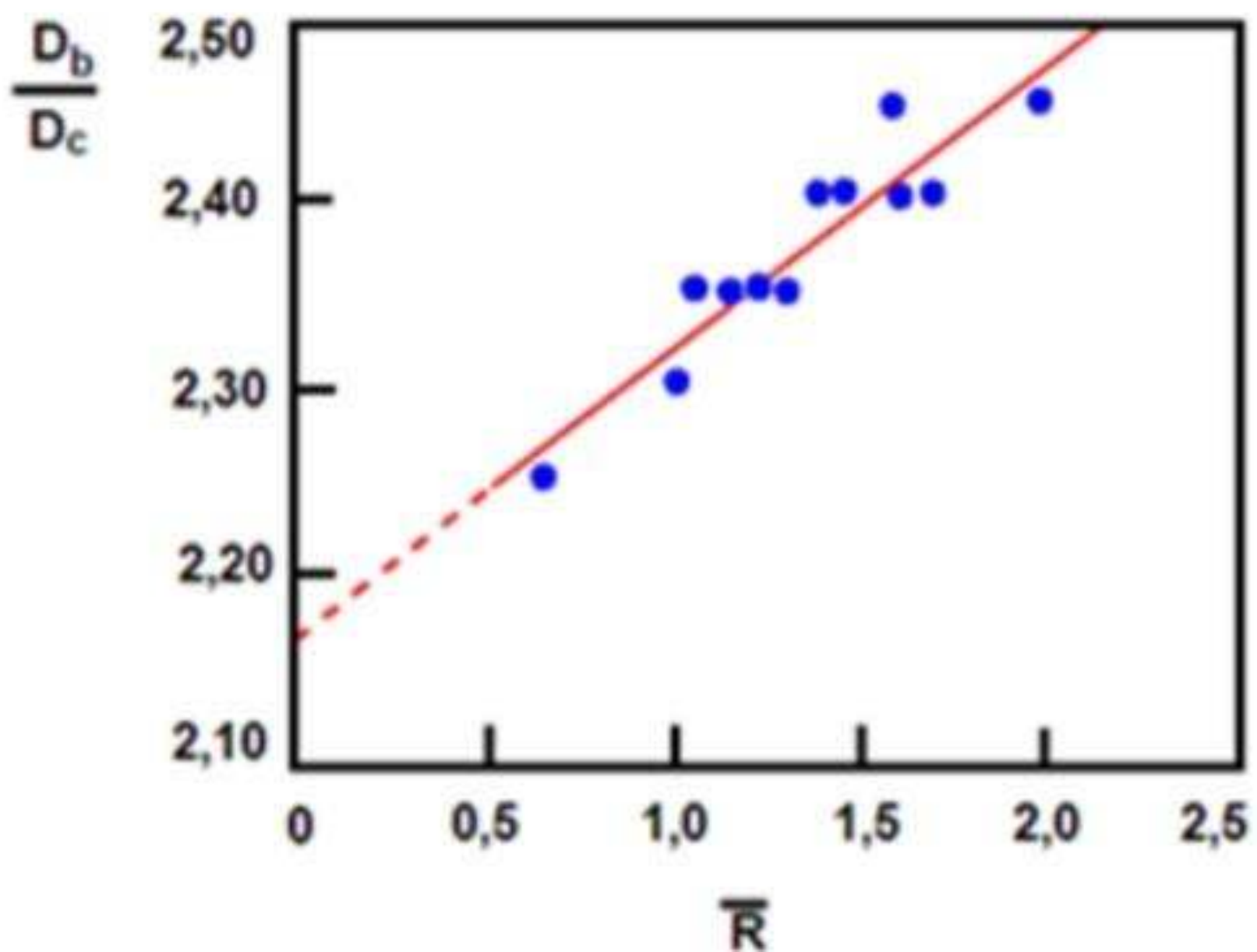


Figura 7: Dependência do LDR (Limiting Drawing Ratio) com o Rm

Com a maximização de texturas favoráveis, peças profundas e com certa complexidade podem ser produzidas, como pias em 430DDQ, figura 8. Ao adquirir um aço ferrítico para estas aplicações, esta intenção deverá estar explícita no contato com os fornecedores.



Figura 8: Pia fabricada em aço 430DDQ

## Dobramento e Corte

Os aços inox podem ser dobrados nas mais diversas formas, figura 9, e utilizando-se os mesmos equipamentos usados para dobrar outros metais. A diferença é que trabalhar com materiais que tenham altas taxas de endurecimento, como os inox austeníticos, pode significar a necessidade de equipamentos mais rígidos e níveis de potência mais elevados. Os aços inox da série 300 apresentam “Efeito Mola” superior aos demais aços, devido à sua maior resistência e sua maior tendência ao encruamento. Para compensar o “Efeito Mola” é necessário um “sobre dobramento”. Para dobrar 90º, esta compensação pode variar de 2º até 15º.



Figura 9: Exemplos de dobramento e corte dos aços inox.

Da mesma forma que no dobramento, a maioria dos aços inoxidáveis pode ser cortada usando os métodos de corte padrão empregados para outros metais.

Ao cortar aços austeníticos os equipamentos ficarão limitados a 60% de sua capacidade, devido à maior resistência e taxa de encruamento destes aços. Esses aços também, em comparação aos demais aços, apresentam maior penetração antes da fratura, devido ao alongamento. Então o ajuste da folga é muito importante, para evitar desgaste das lâminas, ou “embuchamento” do material, figura 10. Lâminas especiais podem ser necessárias.

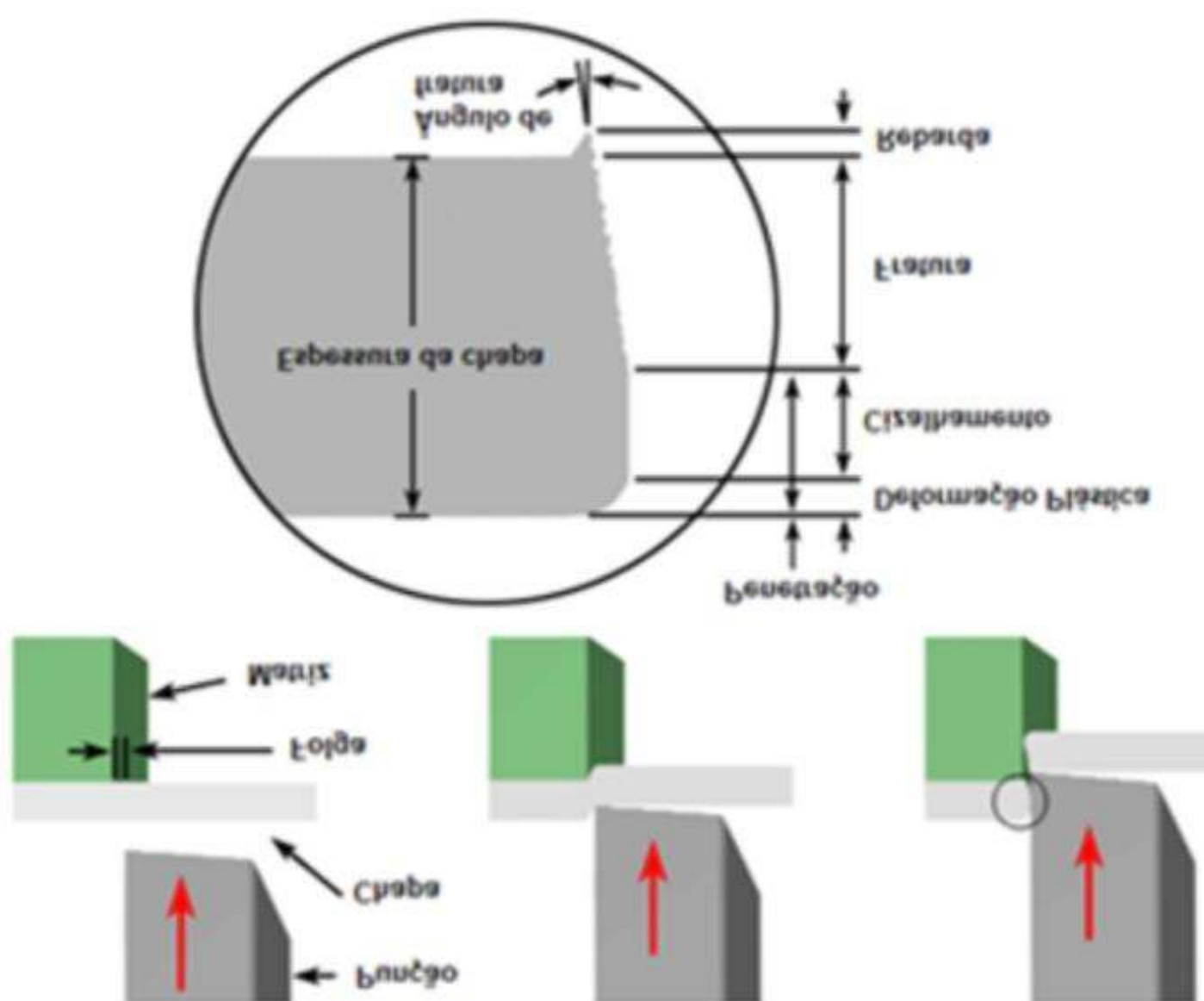


Figura 10: Ilustração do processo de corte.

# CONCLUSÕES

É importante lembrar que quando da fabricação de um produto em aço inoxidável deve-se garantir que os processos de fabricação não comprometam as propriedades intrínsecas do aço inoxidável.

A fabricação de peças com os aços inoxidáveis deve ser feita apenas com ferramentas dedicadas ao inox.

As superfícies de trabalho e ferramentas devem estar completamente limpas antes de serem usadas. Essas precauções são necessárias para evitar contaminação da superfície do inox com outros metais corroídos, que possam corroer ou descolorir a superfície do produto fabricado.

Ferramentas e lâminas devem ser mantidas afiadas e as folgas entre as lâminas de guilhotina, devem ser mais justas do que para aços carbono.

# MÓDULOS DE TREINAMENTO

# CONHECENDO

# OS AÇOS INOXIDÁVEIS

Coordenação:

**ABINOX**

Por:

**Eng. Ronaldo Claret Ribeiro da Silva**

**ENVIE SUAS DÚVIDAS OU  
COMENTÁRIOS PARA O  
ESPECIALISTA DA ABINOX:**



[www.abinox.org.br](http://www.abinox.org.br)



[/abinox](https://www.linkedin.com/company/abinox)



[\(11\) 963405604](https://api.whatsapp.com/send?phone=5511963405604)



[/associação.abinox](https://www.facebook.com/associação.abinox)



[@abinox.oficial](https://www.instagram.com/abinox.oficial)



[@abinox](https://www.youtube.com/channel/UCabinox)