

AÇO INOX

Conformação

Programa de **Módulo Capacitativo**
Capacitação da Cadeia Produtiva



ACESITA

ACESITA S.A. ASSOCIADA À USINOR

Conformação dos aços inoxidáveis

Eduardo Luiz Alvares Mesquita

Engº Mecânico - ACESITA

Léo Lucas Rugani

Engº de Minas e Metalurgista - ACESITA

Consultoria:

Engenheiro Ademar Kagê - Dir. da GRAPAIX Ind. e Com. Ltda

Engenheiro Roberto Mendes Borges - Diretor da KPB Ind. e Com. Ltda

Engenheiro Léo Loureiro Parolo - Diretor da KPB Ind. e Com. Ltda



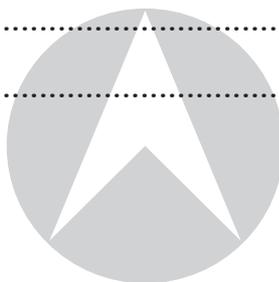
ACESITA

ACESITA S.A. ASSOCIADA À USINOR
www.acesita.com.br

DEZEMBRO - 1997

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 5 |
| 2. O AÇO INOX E SUA CONFORMAÇÃO | 5 |
| 3. TRAÇAGEM | 8 |
| 4. PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO | 10 |
| 4.1 - CONCEITOS BÁSICOS | 10 |
| 4.2 - PROCESSOS DE CORTE | 13 |
| 4.3 - PROCESSOS DE FURAÇÃO | 22 |
| 4.4 - PROCESSOS DE DOBRAMENTO | 28 |
| 4.5 - PROCESSO DE CURVAMENTO | 32 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 39 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 41 |



ACESITA

1. INTRODUÇÃO

Esta apostila compõe com outras (**Manuseio, Transportes, Estocagem, Soldagem, Estampagem e Acabamentos**), o Curso básico e modulado “**Noções Básicas de Caldeiraria e Serralheria em Aço Inox**”.

Este curso foi estruturado para levar fundamentação teórico-operacional ao parque reprocessador do aço inox no Brasil, com o objetivo de promover a qualidade dos produtos confeccionados em inox.

Neste módulo, “**Conformação dos Aços Inoxidáveis**”, pretende-se fazer uma abordagem aos processos de corte, furação, dobramento, calandragem e curvamento de tubos sem a pretensão de esgotar o assunto. O objetivo principal é o de auxiliar as empresas já estabelecidas na busca do seu aperfeiçoamento e de introduzir outras neste promissor segmento: o mercado dos produtos de aço inox.

2. O AÇO INOX E SUA CONFORMAÇÃO

Aço inox é o termo empregado para identificar famílias de aços contendo, no mínimo, 11% de cromo, que lhes garantem elevada resistência à oxidação - conhecida popularmente como “ferrugem”. O cromo, disperso no aço de forma homogênea, em contato com o oxigênio do ar forma uma fina camada, contínua e resistente (50 angstroms; 1 angstrom = 10^{-8} cm) em toda a sua superfície, que o protege contra ataques corrosivos do meio ambiente.

De uma maneira geral, esta resistência aumenta à medida que mais cromo é adicionado ao aço. Apesar de invisível, estável e finíssima, esta película (chamada de **camada passiva**) é altamente aderente ao aço inox, defendendo-o contra a ação de meios agressivos.

Além do cromo, outros elementos podem ser adicionados ao aço inox (níquel, molibdênio, titânio, nióbio, etc.) com o objetivo de elevar sua resistência à corrosão e melhorar suas propriedades físicas e mecânicas. De acordo com os elementos de liga contidos, os aços inoxidáveis são agrupados em famílias de aços com características semelhantes e destinados a aplicações específicas. Basicamente, distinguem-se 3 famílias de aços inoxidáveis:

- Aços martensíticos;
- Aços ferríticos;
- Aços austeníticos.

Os aços inoxidáveis martensíticos são aços magnéticos que podem atingir altas durezas por tratamento térmico, além de excelente resistência mecânica. São utilizados em cutelaria, instrumentos de medida, lâminas de corte, correntes para máquinas, discos de freio, etc. Esses aços não serão abordados nesta apostila.

Os aços inoxidáveis ferríticos também são aços magnéticos. Normalmente são endurecíveis por conformação a frio e utilizados basicamente no estado recozido. São utilizados em baixelas, fogões, geladeiras, pias, sistemas de exaustão de gases em motores de explosão, recheio de colunas de destilação, moedas, etc.

Aços típicos: AISI 430 e AISI 409.

Os aços austeníticos são aços não-magnéticos que podem ser endurecidos por trabalho mecânico. Apresentam resistência à corrosão melhorada pela adição do níquel e são facilmente conformados a frio, devido uma combinação favorável de propriedades mecânicas.

São utilizados para fins estruturais, equipamentos para indústria alimentícia, aeronáutica, ferroviária, petrolífera, química e petroquímica, papel e celulose, construção civil, etc. O aço típico desta família é o AISI 304.

A característica básica dos aços inoxidáveis é a sua elevada resistência à corrosão. São aços fáceis de serem trabalhados, aceitam deformações permanentes sem comprometimento de suas características, são versáteis e de fácil limpeza e manutenção por apresentarem superfície lisa e, em aplicações arquitetônicas e de decoração, apresentam aspecto estético atraente valorizando ambientes.

A grande maioria dos atributos dos aços inoxidáveis é conferida pela camada passiva anteriormente descrita. Ela apresenta um papel fundamental eliminando-se a necessidade de revestimentos protetivos externos como fosfatização e pintura, galvanização, bicromatização, etc., procedimentos largamente utilizados para melhorar à resistência a corrosão aos aços carbono.

A camada passiva se auto-regenera em presença de oxigênio quando, por exemplo, é danificada por um risco ou arranhão.

Nesses casos, esta regeneração não garante a homogeneidade da camada passiva e, em situações críticas e muito agressivas, pode se desenvolver o fenômeno de corrosão no ponto arranhado. Portanto recomenda-se cuidado extremo para a manutenção desta película.

A ACESITA garante a integridade da camada passiva em todos os aços inoxidáveis que saem da Usina. Recomenda-se aos reprocessadores e ao parque manufatureiro dos aços inoxidáveis adotar medidas adicionais, tabela a seguir, para evitar danos à camada passiva durante o manuseio, processamento e estocagem de bobinas, chapas e produtos intermediários.

| Etapas | Cuidados |
|----------------------------------|---|
| 1. Recebimento, manuseio | <ul style="list-style-type: none"> • Evitar amassados e arranhões oriundos de grampos, correntes e dispositivos de fixação para manuseio. É recomendado revestir estes elementos com feltro ou plásticos. |
| 2. Estocagem de bobinas e chapas | <ul style="list-style-type: none"> • Estocar sempre em lugar limpo, seco e longe de aços carbono. O ideal é que o inox seja estocado em galpões sem goteiras e com piso de borracha. • Usar equipamentos de estocagem e movimentação protegidos por plástico, madeira ou feltro, evitando marcar a superfície do aço. |
| 3 . Manuseio | <ul style="list-style-type: none"> • Evitar danos à superfície do material. • Usar luvas limpas durante o manuseio. • Evitar contato com substâncias externas, graxas, óleos e gorduras. • Evitar o contato com aço carbono ou outros aços para evitar contaminação do aço inox. |
| 4. Fabricação | <ul style="list-style-type: none"> • Sempre que possível, utilizar ferramentas e equipamentos exclusivos para trabalhar o aço inox. • Não sendo possível, todos os equipamentos e ferramentas deverão ser limpos antes de sua utilização para trabalhos com o aço inox. |



Estocagem de chapas

Estocagem de bobinas

Fig (1)

Todos os aços inoxidáveis podem ser conformados.

Define-se a conformação como um conjunto de técnicas/procedimentos necessários para transformar uma superfície plana - chapa, por exemplo - em produtos de formas e utilização definidas, como: cantoneiras, perfis, tubos, pias, cubas, mesas de fogão, etc.

De uma maneira geral, os aços inoxidáveis podem ser conformados pelos mesmos processos utilizados para se trabalhar o aço carbono. Pequenas adaptações no processo são necessárias em função de peculiaridades nas propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis, conforme será detalhado no item 4.1.

Neste manual, serão abordados as operações de traçagem e os processos de corte, furação, dobramento, calandragem de chapas e dobramento de tubos.

3. TRAÇAGEM

São operações que normalmente precedem as operações de conformação. Trata-se de marcação de curvas, retas ou pontos sobre a chapa para visualização dos locais a serem cortados, furados, dobrados, etc.

Os equipamentos e instrumentos de traçagem mais utilizados são: bancada de trabalho, riscador, compasso, punção, régua, esquadro, graminho, transferidor e suta.

Os instrumentos de traçagem devem ser guardados em local adequado, sempre limpos e nunca em contato com aço carbono.

Quando em uso, nunca devem estar espalhados sobre a chapa a ser traçada, para evitar acidentes e riscos desnecessários à chapa.

- **Bancada de trabalho**

É a mesa de trabalho onde serão executadas as operações de traçagem. Ela deve estar sempre limpa, ser plana e estar forrada com feltro ou borracha. Suas dimensões devem ser adequadas ao operário e superiores às dimensões das chapas que serão traçadas. Após o uso, a bancada sempre deve ser limpa e coberta para evitar qualquer tipo de contaminação. Desta forma, estará sempre pronta para o uso futuro.

- **Riscador e compasso**

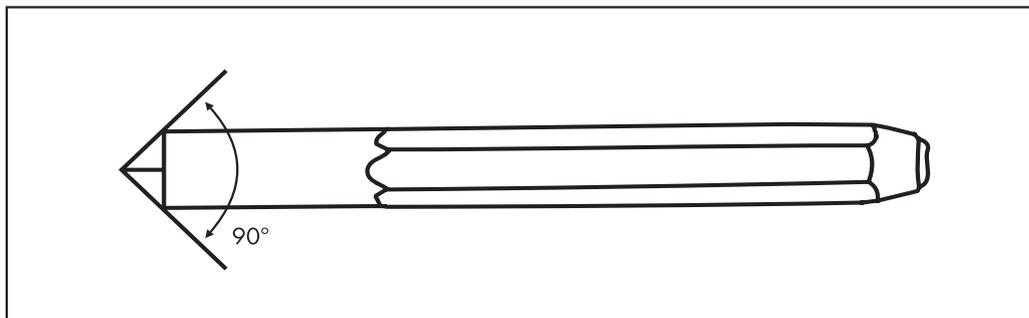
Devem ser de aço inox temperado ou no mínimo ter a ponta em aço inox. Em traçagens que não necessitem de precisão, podem ser substituídos por lápis.



Compasso
Fig. (2)

■ Punção

O punção poderá ser de aço liga temperável, facilmente encontrado no mercado, pois o local onde é feita a marcação será eliminado pelo furo. Deve-se evitar o encruamento da zona a ser perfurada, quando do puncionamento do furo, que não deve ser muito profundo. É preferível utilizar punção com ponta em pirâmide triangular em vez do punção cônico.



Punção de ponta piramidal
Fig. (3)

■ **Réguas, esquadros, graminhos, transferidores e sutas**

Esses instrumentos devem ser de aço inox temperado da série martensítica. Estão disponíveis no mercado numa ampla gama de bitolas

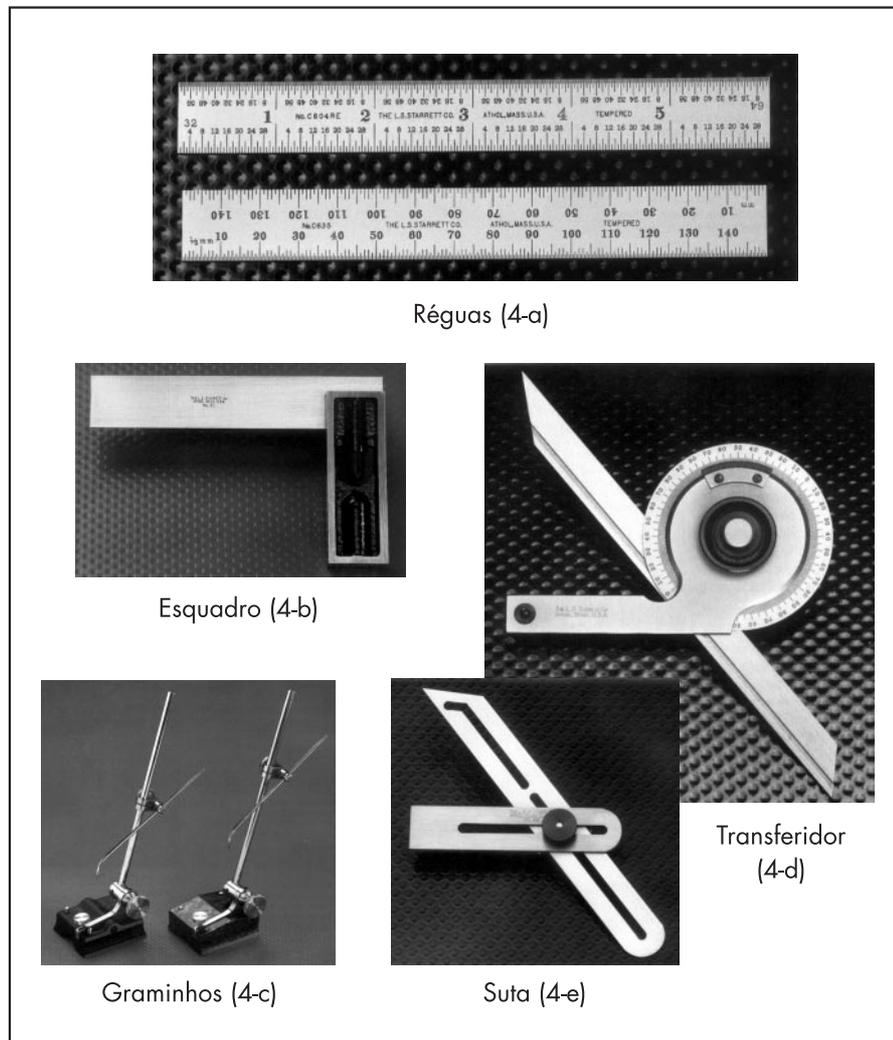


Fig (4)

4. PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

4.1 - CONCEITOS BÁSICOS

Os processos de conformação dos diversos metais são realizados a partir de suas respectivas características mecânicas. Particularidades relativas ao comportamento estrutural de cada liga metálica definem os esforços mínimos necessários para o dimensionamento dos equipamentos e ferramentas a serem utilizados.

Com o aço inox não é diferente: os processos de sua conformação mecânica são semelhantes aos dos aços carbono, cuja tecnologia é de domínio geral. As diferenças de comportamento mecânico existentes entre as duas ligas, aço carbono e aço inox, definem diferentes parâmetros de utilização de equipamentos em cada caso.

O comportamento estrutural dos aços inoxidáveis, a exemplo dos aços carbono, é definido pela curva tensão-deformação. Um corpo de prova do material com dimensões padronizadas é submetido a um esforço de tração crescente até a sua ruptura.

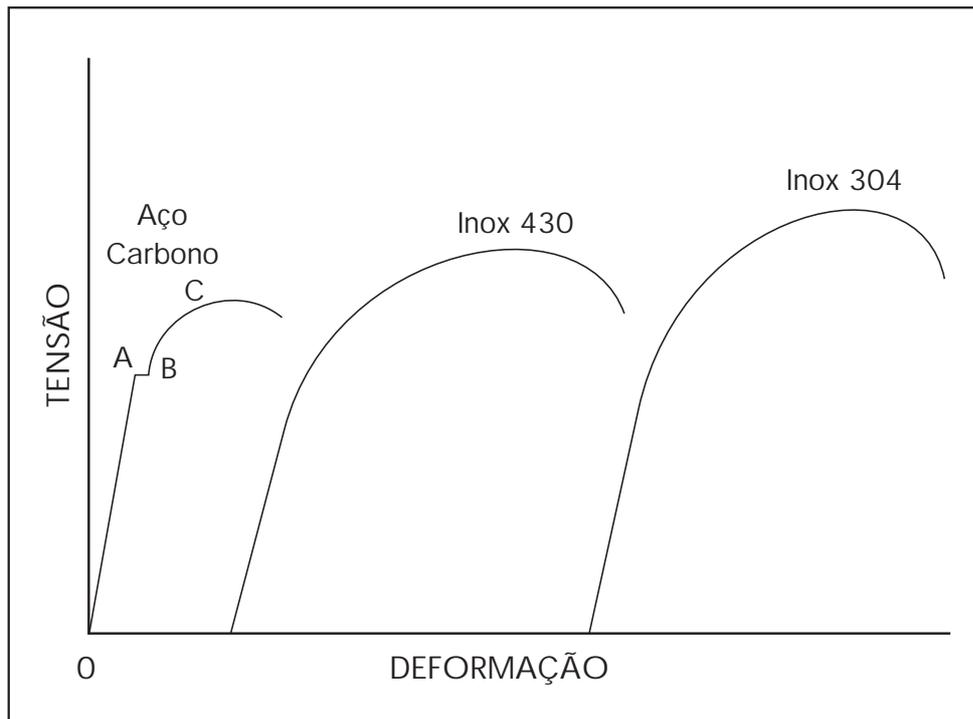


Fig (5)

O ensaio revela dois domínios bem definidos:

- o domínio elástico (O-A) onde as deformações não são permanentes. Cada tensão corresponde a uma deformação própria de cada aço. Cessado o esforço, o corpo de prova retorna às dimensões iniciais;
- o domínio plástico (B-C) onde para cada tensão corresponde uma **deformação permanente**. Uma vez cessado o esforço, em qualquer momento deste domínio, o corpo de prova não retorna às dimensões iniciais;
- na transição entre os dois domínios (A-B), existe um ponto para o qual o corpo de prova sofre deformação sem nenhum acréscimo de tensão. Diz-se que o material “escoa” neste ponto. Nos aços inoxidáveis, esta transição não é tão visível e define-se o **limite de escoamento (LE)** como o ponto na curva determinado pela intersecção de uma paralela à reta que define o domínio elástico (O-A) a 0,2% de deformação permanente.

O ponto C determina o fim do ramo plástico e é definido como **limite de resistência (LR)**.

A curva tensão-deformação é típica para cada aço. O **LE** dos aços carbono (1008) são ligeiramente mais elevados do que os aços inox (tipos 430 e 304) para a condição de aços recozidos. Porém, o **LR** dos aços inoxidáveis são superiores aos dos aços carbono.

Aí reside uma diferença básica que vai influir em todos os processos de conformação onde ocorrem deformações permanentes: o ramo plástico B-C para os aços inoxidáveis é muito maior do que para os aços carbono. Isto significa que eles suportam deformações maiores sem ocorrer falha do componente. Dentre os aços inoxidáveis, os aços austeníticos (por exemplo o 304) apresentam este ramo plástico maior do que os aços ferríticos (por exemplo o 430) sendo especificados para conformações profundas.

Nas operações de conformação onde ocorrem corte e, no caso de dimensionamento de parafusos, rebites e pinos de fixação, que são submetidos a esforços cortantes, a tensão para a qual ocorre a ruptura é chamada de **tensão de cisalhamento**. Esta tensão é cerca de 65 a 70% do **LR** para os aços inox e de 55 a 60% para os aços carbono.

Uma das diferenças marcantes de comportamento às solicitações entre os vários tipos de aço é o **encruamento** - aumento das características (dureza, limites de escoamento, de resistência e de cisalhamento) pelo efeito de trabalho mecânico.

Veja abaixo comparação dos encruamentos de aços austenítico (301), ferríticos (430 e 409) e baixo carbono (1008)

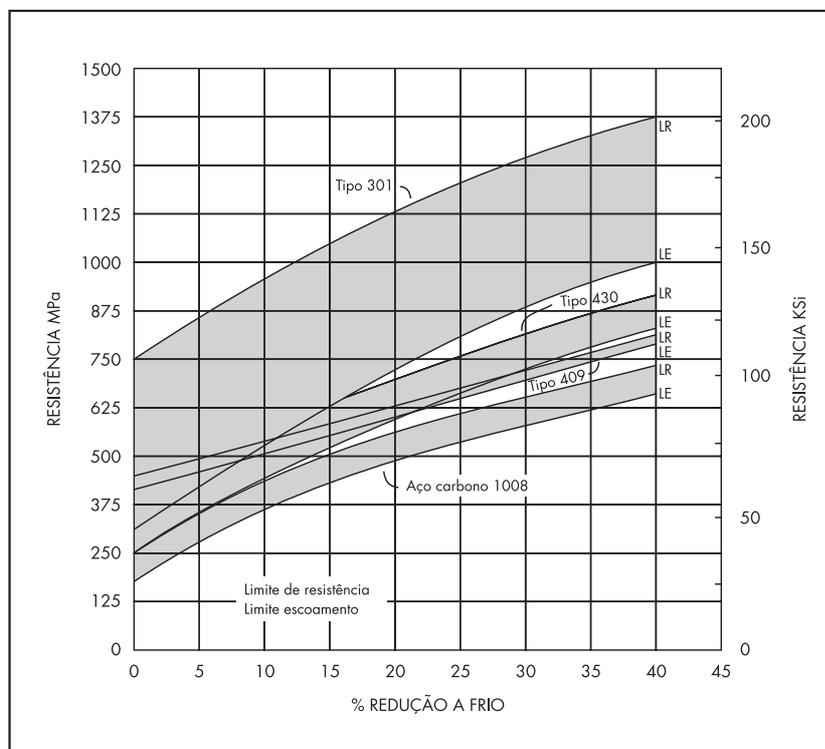


Fig (6)

Essas diferenças de comportamento ao trabalho mecânico a frio, fig (6), demonstram que os esforços necessários para a conformação dos aços inoxidáveis são consideravelmente maiores que os exigidos para os aços carbono. Além dos aços inox apresentarem o **LR** superior aos dos aços carbono em condições equivalentes, tanto o **LE** quanto seu **LR** crescem a uma taxa maior que o crescimento dos aços baixo carbono.

4.2 - PROCESSOS DE CORTE

Basicamente, os processos de corte são operações que envolvem:

- Cisalhamento - guilhotinas, tesouras e discos rotativos de vários tipos;
- Abrasão - discos de corte, serras de vários tipos e corte por jato d'água;
- Fusão - plasma e corte a laser.

▪ Corte por cisalhamento

O corte por cisalhamento é executado colocando-se a chapa e/ou o material a ser cortado entre duas facas de corte de aço especial. A faca inferior é fixa e a superior é dotada de movimento ascendente/descendente. O esforço cortante é produzido pelo movimento descendente da faca superior que, ao penetrar no material a ser cortado, cria:

- uma zona de deformação;
- o corte por cisalhamento;
- uma região fraturada com ruptura por tração;
- uma rebarba.

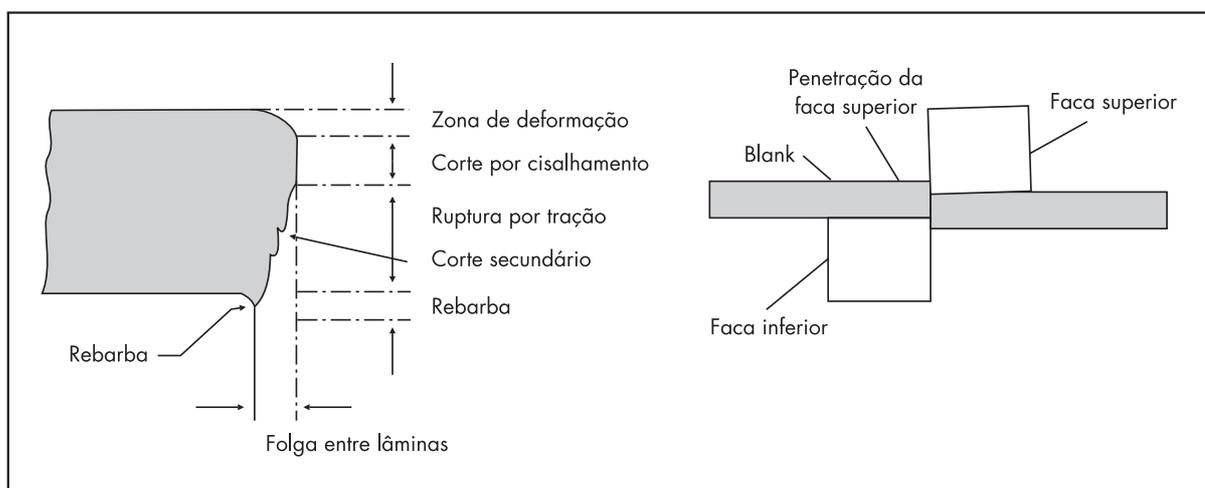


Fig (7)

A profundidade de penetração depende da ductilidade e espessura do material a ser cortado. Quanto mais dúctil o metal a ser cortado, maior a penetração da faca. Contudo, metais dúcteis e muito macios (especialmente chapas finas) tendem a curvar-se na operação de corte por cisalhamento resultando em grande volume de rebarba.

A qualidade do corte por cisalhamento depende fundamentalmente da qualidade das facas de corte e da regulagem das folgas entre as facas. É importante observar:

■ Qualidade das facas

| Tipo de Serviço | Faca | Dureza (Rockwell C) |
|--|--------------|---------------------|
| Corte em material fino (até 4,8 mm) | Aço AISI D-2 | 60 |
| Corte em material médio (entre 4,8 e 6,4 mm) | Aço AISI A-2 | 60 |
| Serviços pesados | Aço AISI S-5 | 57 |

■ Folgas (função da espessura a ser cortada)

| Espessura da chapa a ser cortada (mm) | Folga (% da espessura a ser cortada) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| $e > 1,57$ | 5% |
| $e \leq 1,57$ | 3% |

Para cortes por cisalhamento com facas circulares (slitting) devem ser ajustadas folgas horizontais e verticais. As folgas horizontais variam de uma montagem para outra. Uma boa prática é adotar-se, inicialmente, uma folga igual a 8% da espessura da chapa a ser cortada.

As folgas verticais dependem da dureza do material. Materiais duros exigem folgas menores que os materiais mais macios. A folga vertical é positiva para cortes em materiais de até 1,15 mm de espessura, devendo ser mínima para manter as bordas livres de rebarbas. Para espessuras maiores, as facas são separadas por folga vertical negativa.

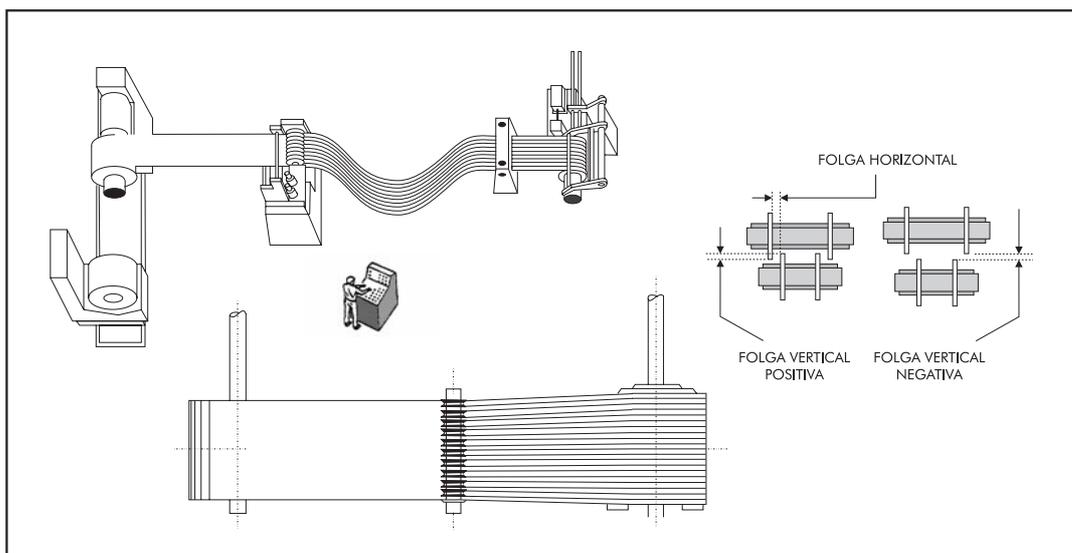
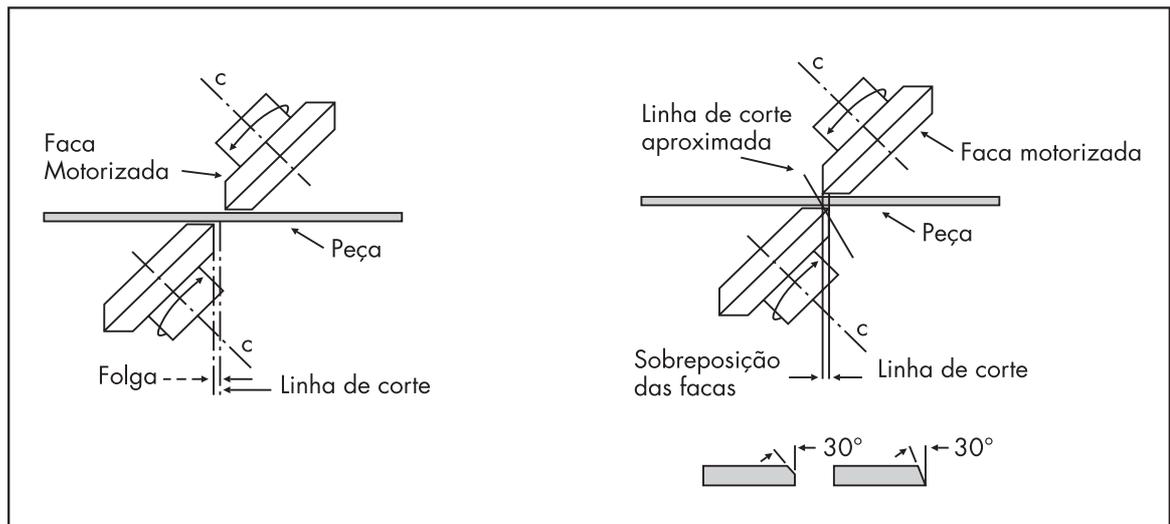


Fig. (8)

Outra possibilidade de corte com facas circulares é o corte por disco rotativo onde o ponto de corte é também um ponto “pivô” para a chapa. O formato circular das facas não oferece obstrução ao movimento da chapa para a esquerda ou para a direita, o que permite cortes tanto em linha reta como circulares ou irregulares. Dependendo da sobreposição das facas, pode ser feito um corte inclinado na chapa resultando numa aresta afiada ou num canto chanfrado. O corte da chapa em blanks circulares requer o uso de suporte de fixação que permita a rotação da chapa. Para um corte em linha reta em tesoura rotativa utiliza-se um dispositivo de encosto reto montado na parte de trás das facas de corte.



Tipos de cortes com facas circulares
Fig (9)

Recomenda-se os seguintes materiais para facas circulares rotativas:

| Tipo de Serviço | Faca | Dureza (Rockwell C) |
|--|------------------|---------------------|
| Corte em material fino (até 4,8 mm) | Aço AISI D-2 | 58 a 60 |
| Corte em material médio (entre 4,8 e 6,4 mm) | Aço AISI A-2 | 58 a 60 |
| Serviços pesados | Aço AISI S4, S-5 | 50 a 58 |

Velocidades de corte:

| Espessura da chapa (e) | Velocidade de corte (m/min) |
|------------------------|-----------------------------|
| $e \leq 6,4$ mm | 2,4 a 6,7 |
| $6,4 < e \leq 25$ mm | 1,5 a 3,0 |

Para aumento da vida útil das facas recomenda-se usar como lubrificante, óleo para serviço pesado solúvel em água ou um óleo a base de petróleo com 15 a 20% de querosene.

Equipamentos que cortam por cisalhamento

■ Guilhotinas

Capacidades de corte: Relações entre aços carbono e aços inoxidáveis austeníticos

| Material | Espessuras (mm) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Aço Carbono | 1,60 | 1,98 | 2,78 | 3,57 | 4,76 | 6,35 | 7,94 | 9,53 | 12,7 | 15,9 | 19,0 | 25,4 | |
| Aço inox austenítico | 1,11 | 1,27 | 1,98 | 2,78 | 3,57 | 4,76 | 6,35 | 7,14 | 9,53 | 12,7 | 15,9 | 19,0 | |

Tipos de guilhotinas

| Tipo | Descrição | Capacidades |
|------------|--|--|
| Mecânica | Executa corte em chapas de aço sobre um traçado ou com uso de limitador mecânico (stop) chamado de encosto, incorporado à máquina. O conjunto de potência de uma guilhotina mecânica é constituído por motor, volante, coroa sem fim acionada pelo volante e uma embreagem que liga a coroa sem fim ao eixo e além de um mecanismo acionado pelo pedal. | para chapas com espessuras inferiores a 13 mm e comprimentos até 3000 mm |
| Hidráulica | Apresentam cursos mais longos que as guilhotinas mecânicas. São acionadas por um conjunto moto-bomba que força o óleo para dentro do cilindro empurrando o pistão. O movimento do pistão aciona o mecanismo que sustenta a faca superior. As guilhotinas hidráulicas são projetadas com capacidade de carga fixa. Não devem ser cortados materiais que superem a capacidade de corte do equipamento. | Para chapas com espessuras até 25 mm e comprimentos até 4000 mm |
| Pneumática | Usadas exclusivamente para chapas finas 1,2mm de espessura x 1500 mm de comprimento | |

■ Tesouras

| Tipo | Descrição | Capacidades |
|----------------------|--|--|
| Manual | Ferramenta manual que executa os mesmos movimentos de uma tesoura de costura. Largamente empregada em caldeirarias e serralherias, na execução de corte em chapas finas ($e \leq 1,2$ mm) e de pequenas dimensões (até 300 mm). Para se evitar a formação excessiva de rebarbas deve-se sempre manter ajustada a folga entre as facas de corte (3% da espessura da chapa). Executa corte retilíneo com acabamento uniforme, com tempo e custo de operação reduzidos. Não deve ser utilizada em corte de barras e tubos. | Espessuras inferiores a 1,20 mm |
| Vibratória manual | Ferramenta elétrica ou pneumática manual que executa os mesmos movimentos de uma tesoura de costura. É adequada a cortes de chapas finas ($e \leq 1,2$ mm) de pequenas dimensões (até 300 mm). É uma máquina versátil, podendo cortar peças planas em vários formatos, permitindo a execução de peças especiais. Ela não exige esforço físico do operador, sendo necessários cuidado e habilidade para não sair fora do traçado. | Espessuras inferiores a 1,20 mm |
| Vibratória universal | Máquina tipo "pescoço de cisne" para cortes em chapas finas ($e \leq 3,0$ mm). Corta de maneira semelhante à tesoura de uso doméstico, com movimentos alternativos automáticos de vai e vem da faca superior. Executa cortes pequenos ou grandes, circulares ou retilíneos em qualquer ponto da chapa. | Espessuras inferiores ou iguais a 3,0 mm |

■ Corte por abrasão

O corte por abrasão é executado pela fricção de uma ferramenta de corte no material a ser cortado. Neste tipo de corte, são arrancadas partículas do material a ser cortado ("cavacos") com conseqüente aumento de temperatura da zona cortada. Quando a espessura da peça a ser cortada é muito grande, existe a necessidade de serem utilizados fluidos de refrigeração. Este tipo de corte pode ser executado por dois tipos de equipamentos: Serras e discos abrasivos.

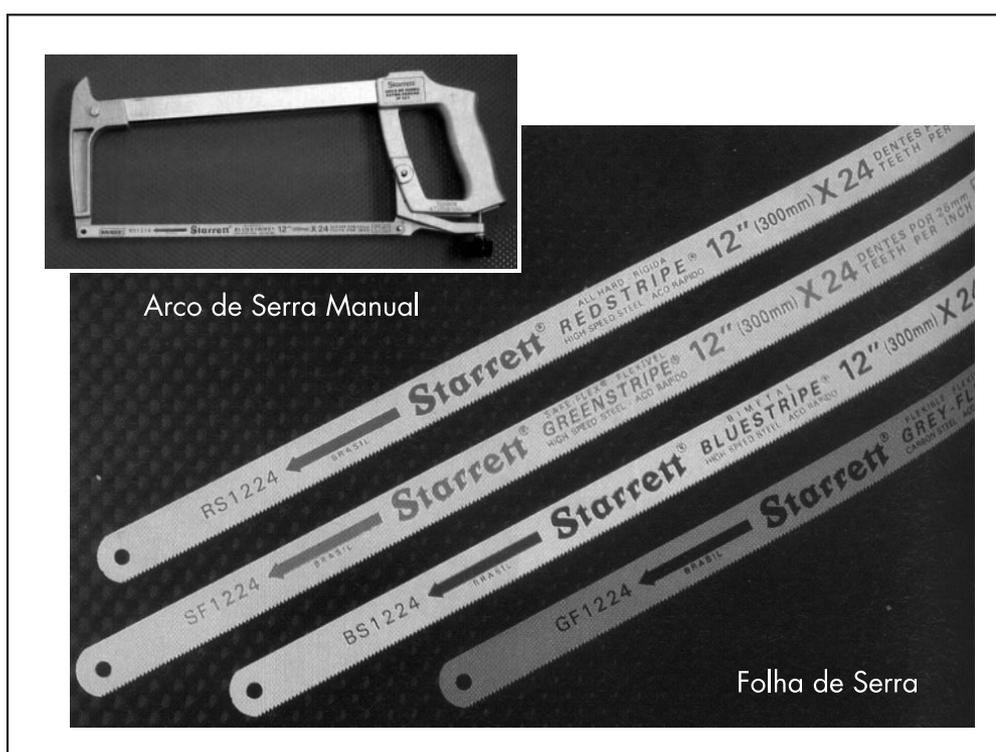
■ Corte por serras

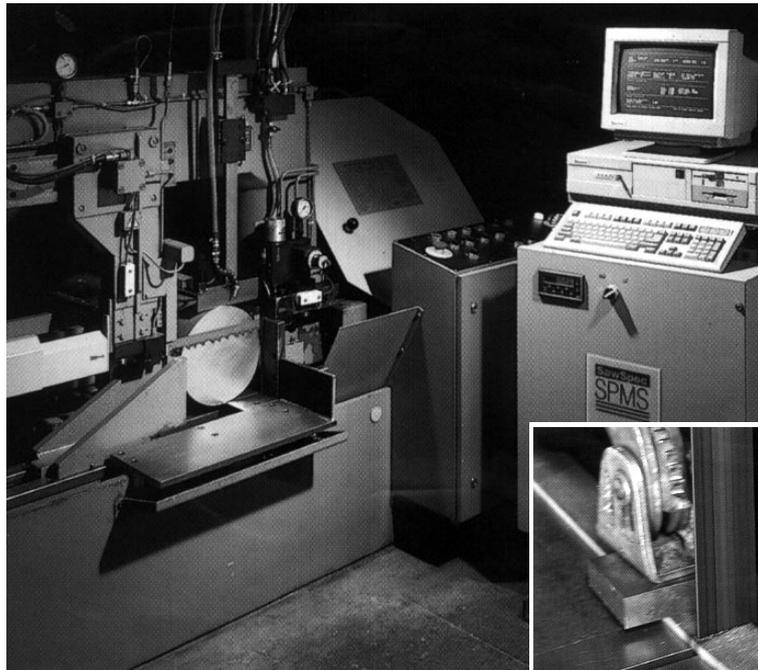
Os aços inoxidáveis podem ser cortados por todos os tipos de serras, manuais e mecanizadas. Recomenda-se o uso de lâminas de corte de aço - rápido para qualquer tipo de equipamento. O corte é efetuado em movimentos de vai e vem com amplitude e velocidade adequadas, com o retorno em vazio para evitar um rápido endurecimento da superfície a ser cortada. Recomenda-se o uso de lubrificante (óleo para serviços pesados solúvel em água, dentre outros) para qualquer tipo de serra utilizada, exceto para o caso de serra de fita de fricção de alta velocidade.

São os seguintes os tipos de serra disponíveis no mercado:

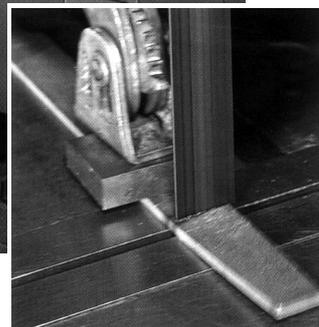
■ **Serras**

| Tipo | Descrição |
|----------------|--|
| Serra manual | Utilizada para corte de peças finas e serviços não repetitivos. Recomenda-se lâminas de 32 dentes por polegada para peças com até 1,60 mm de espessura e de 24 dentes por polegada para material com espessura compreendida ente 1,60 e 6,35 mm de espessura. Para espessuras maiores, recomenda-se utilizar lâminas de dentes grossos para facilitar a remoção dos cavacos e prevenir entupimento. Para um corte suave é necessário manter pelo menos dois dentes em contato constante com a peça a ser cortada. |
| Serra mecânica | Utilizada para cortes de seções relativamente grossas em trabalhos repetitivos ou não. O emprego de equipamento motorizado permite cortes mais profundos por amplitude de curso e requer o emprego de lâminas com dentes mais largos, usualmente de 8 a 12 dentes por polegada. A velocidade de corte varia de 15 a 30 m/min, dependendo da potência disponível e do tipo de lâmina. A lâmina deve ser resfriada por mistura de óleos para serviços pesados solúveis em água. |
| Serra de fita | Largamente utilizada para corte de aços inoxidáveis austeníticos. Executa cortes retos ou com contorno irregular tanto em chapas quanto em barras e tubos. O emprego de lâminas de aços rápidos possibilita maior durabilidade e a utilização de velocidades de corte maiores. Nos modelos mais recentes, operam-se velocidades de corte de 18 a 30 m/min para materiais acima de 1,60 mm de espessura e de 30 a 58 m/min para materiais mais finos. O corte em materiais trabalhados a frio, deverá ser executado em velocidades menores. |





Serra de Fita



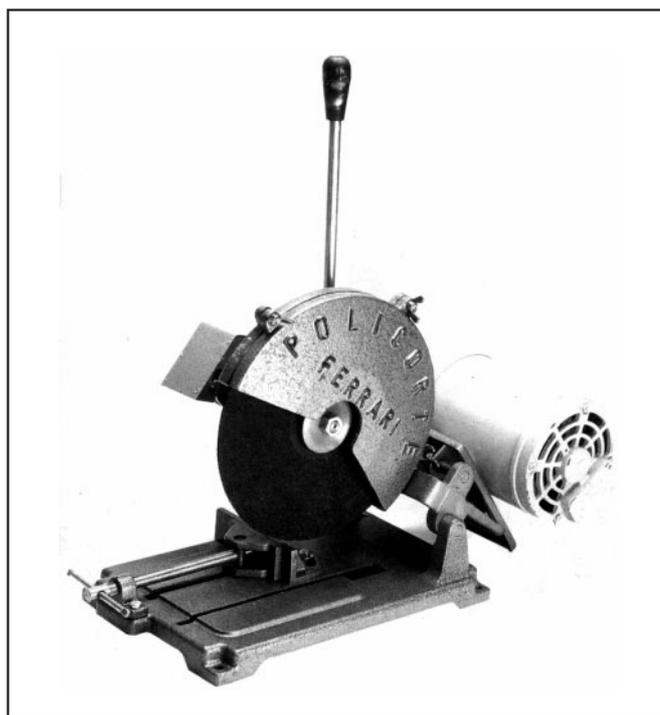
Serra de Fita Vertical

■ Corte por discos abrasivos

Para a seleção do disco de corte mais adequado, deve-se considerar o tipo de material a ser cortado, a seção do corte, o acabamento desejado e os equipamentos de corte disponíveis (corte refrigerado ou a seco).

De uma maneira geral, os parâmetros que devem ser analisados são:

| | |
|---|---|
| Material do disco vs Material a ser cortado | Como regra geral, especifica-se para o corte de materiais macios, discos duros ou de grãos grossos e, para materiais duros, discos moles ou de grãos mais finos. Discos fabricados com carbeto de silício (Sic) apresentam maior rendimento em materiais de baixa resistência à tração (ferro fundido cinzento, materiais não ferrosos ou não metálicos). Para os aços, especificam-se discos fabricados em óxido de alumínio (Al_2O_3) reforçados por duas telas laterais. |
| Arco de contato disco/peça | O arco de contato entre peça e disco de corte determina o comprimento do cavaco produzido. Cavacos grandes obstruem o caminho dos grãos abrasivos na periferia do disco e reduzem a ação de corte. |
| Pressão de corte | Em peças de paredes finas a pressão unitária de corte aumenta, acarretando o desprendimento prematuro dos grãos abrasivos e acelerando o desgaste das faces do disco. Por este motivo, recomenda-se usar discos de durezas elevadas. Inversamente, em peças de paredes mais grossas, onde o arco de contato aumenta, a pressão unitária resultante será mais baixa, recomendando-se discos de durezas mais baixas. |
| Acabamento | As características de corte livre dependem do tamanho do grão abrasivo e do grau de dureza do disco, determinando a geração de calor e a rebarba produzida. Quanto mais elevado o calor gerado, mais rebarba é produzida pelo corte. Quanto mais fino é o disco, menor índice de rebarba ele produz, pela menor quantidade de material removido pelo corte e, conseqüentemente, menor geração de calor. |
| Potência da máquina de corte | Quanto maior a potência disponível, maior poderá ser a pressão exercida, podendo-se empregar com êxito, discos de dureza mais altas com maior economia. |



São os seguintes, os tipos de máquinas de corte por discos abrasivos no mercado

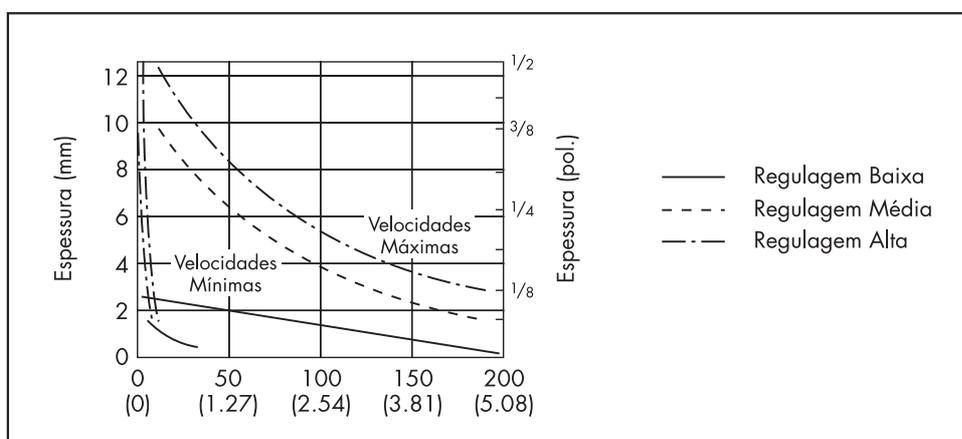
■ Máquinas de corte por abrasão

| Tipo | Descrição | Capacidades |
|------------|---|--|
| Cut-off | São máquinas elétricas ou manuais, portáteis ou não. | Discos com diâmetros entre 250 e 400 mm. |
| Oscilante | Este tipo de máquina é equipada com mecanismo complementar. Além de apresentar movimento de penetração no corte, apresenta também um movimento oscilante em outro sentido dentro de um plano horizontal. Admitem uso de discos entre 350 e 850 mm de diâmetros. | Barras até 300 mm de espessura |
| Horizontal | Estas máquinas, além do movimento de penetração do disco sobre a peça, apresentam um movimento para frente e para trás ao longo do corte no plano horizontal. Admitem discos com diâmetros entre 300 e 350 mm e servem para cortar vidro e materiais não-metálicos. | Peças de pequenas seções menores ou iguais a 10 mm |
| Rotativas | Nestas máquinas, além de girar o disco de corte, a peça também é girada. Utiliza discos de dimensões pequenas entre 300 e 350 mm de diâmetro. | Peças sólidas ou tubos de até 550 mm de diâmetro |

■ Corte por fusão

Corte à plasma - este tipo de corte foi desenvolvido para substituir o corte oxiacetileno (3000 °C) que é inadequado aos aços inoxidáveis, além de apresentar velocidade de corte muito superior.

O processo consiste em se estabelecer um arco elétrico entre um eletrodo (catodo) e o material base a ser cortado (anodo). A ponta do eletrodo fica embutida no bocal de gás que é refrigerado por água ou ar. O gás de plasma é ionizado e direcionado através do metal. Tanto o arco elétrico quanto o gás são forçados a passar por uma área estreita da ponta do bocal. O jato concentrado de plasma atinge grande velocidade e alta temperatura (30.000 °C). Ao atingir o material base, este é fundido e removido pelo jato de gás.



Velocidade de corte (m/min)
Fig (10)

A Fig (10) apresenta as velocidades de corte típicas para corte por arco de plasma em aço carbono e inox, utilizando 6,8 m³/h de ar a 345 kPa, em um equipamento simples. Estas informações representam o comportamento esperado em equipamentos em bom estado de manutenção e utilizando-se práticas recomendadas. Outros fatores como desgaste de peças, qualidade do ar, flutuação da tensão da linha e a experiência do operador, deverão afetar a performance do sistema.

O gás de plasma é uma mistura de gases argônio-hidrogênio; argônio-hidrogênio-nitrogênio ou nitrogênio-hidrogênio.

Existem quatro sistemas de corte por plasma: plasma de gás; plasma com fluxo de gás secundário (dióxido de carbono); plasma com injeção de água e plasma sobre ou sob água.

Para maiores detalhes, consultar a apostila “Curso de Aços Inoxidáveis” editada para o projeto:

REDE - Redirecionamento Educacional parceria Sistema FIEMG - ACESITA

4.3 - PROCESSOS DE FURAÇÃO

Os processos de furação consistem em operações que envolvem os mesmos conceitos básicos dos processos de corte:

- Cisalhamento - puncionadeiras
- Usinagem - furadeiras de brocas
- Fusão - plasma

A escolha de um determinado processo está diretamente relacionada a

- volume de produção (seriada ou artesanal);
- repetitividade desejada;
- forma e dimensão da peça;
- disponibilidade de recursos.

■ Furação por cisalhamento

O mecanismo de furação por cisalhamento é idêntico ao do corte por cisalhamento, substituindo-se a faca superior por um punção com o formato do furo que se quer produzir e a faca inferior por uma matriz fixa. As folgas entre punção e matriz não devem superar 10% da espessura (5% por face) para impedir um escoamento excessivo do material para dentro da matriz. Para espessuras abaixo de 1,00 mm a folga deve estar situada ente 0,03 e 0,04 mm por face.

Com o objetivo de se reduzir a força de cisalhamento necessária ao corte usa-se o artifício de usinar, no punção, uma inclinação em um ângulo tal que a distância entre a ponta do punção e a sua parte reta seja próxima da espessura da chapa.

Esta inclinação no punção tem também a finalidade de concentrar a região de deformação na parte que vai ser descartada (parte central), mantendo a parte externa sem deformação. Fig.(11)

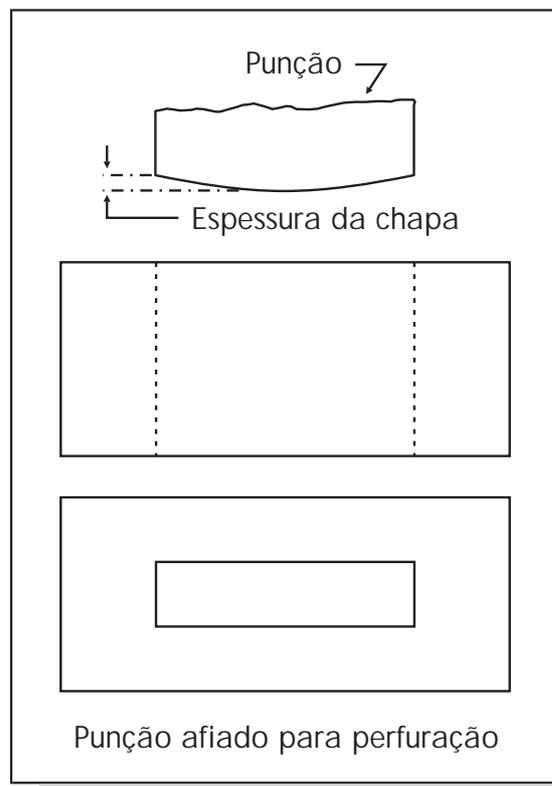
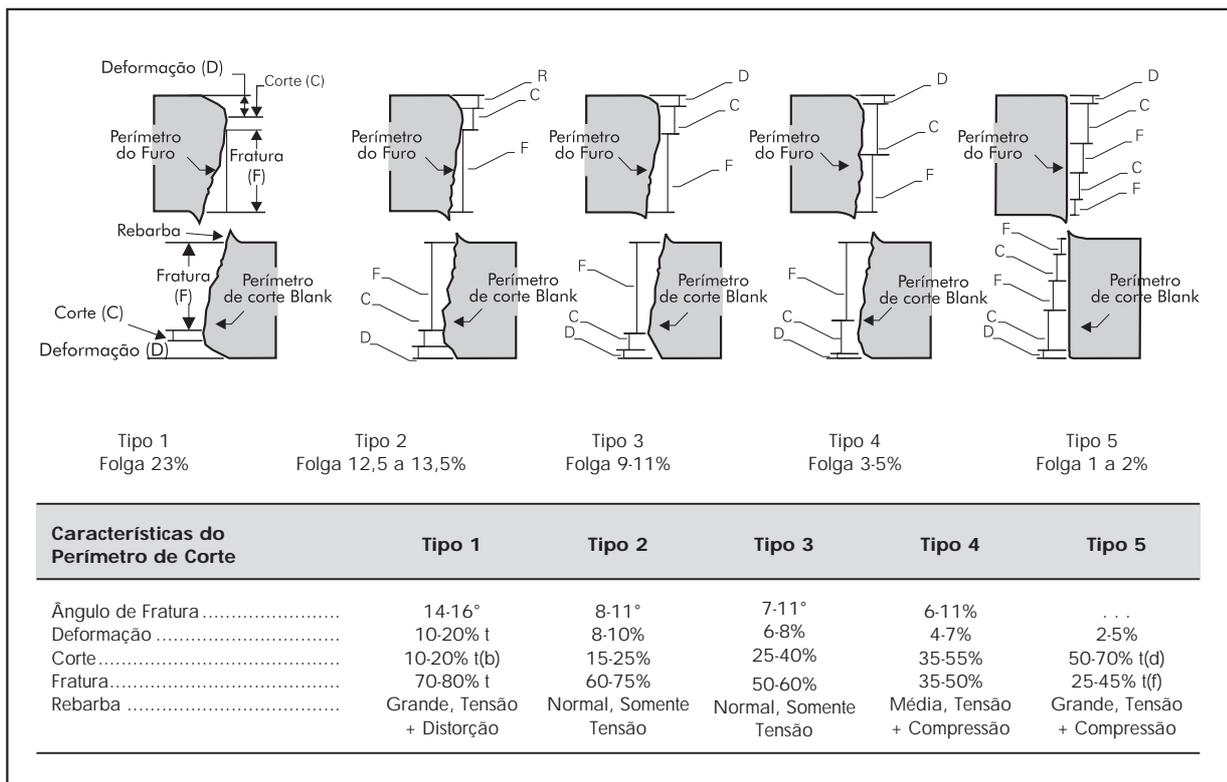


Fig.(11)

A geometria da superfície furada varia de acordo com as folgas entre a matriz e o punção. Com o aumento das folgas, aumenta-se o ângulo de fratura e a rebarba formada pelo corte, e diminui a parte polida (cisalhada). De acordo com as folgas adotadas, definem-se 5 tipos de furos mostrados na fig.(12).



*Efeito das folgas na geometria da superfície furada
Fig. (12)*

Para o aço inox, a folga especificada produz uma superfície furada do tipo 4.

Na operação de uma seqüência de furos adjacentes, deve-se levar em conta a distância mínima entre furos, que não deve ser inferior à metade do diâmetro do furo.

Caso a chapa se deforme após o processo de furação, deve-se adotar algumas destas providências:

- substituir aço inox recozido por aço inox ¼ duro;
- utilizar punção plano ou;
- reduzir a folga matriz - punção.

É importante salientar que este tipo de furação é recomendado para furos de boa qualidade em peças seriadas onde o custo do equipamento pode ser uma limitante.

Equipamentos que furam por cisalhamento

- Puncionadeiras



■ Furação por usinagem

Furação por broca - o processo apresenta vantagem de baixo investimento e custo operacional compatível em serviços limitados e de pequena repetitividade onde não se justifica o desenvolvimento de ferramental. Ideal para pequenas empresas e artesãos.

Para a execução de um furo perfeito, deve-se observar os seguintes itens:

- o punçionamento do furo deverá ser feito com punção de ponta piramidal e não muito profundo para evitar endurecimento desnecessário da parte a ser furada;
- é preferível usar guias de furação dotadas de folga suficiente entre o embuchamento (da guia) e a peça a ser furada (mínimo uma vez o diâmetro do furo) de modo a não impedir o fluxo de cavacos;
- a furadeira deverá trabalhar a baixas rotações e deve-se utilizar brocas de aço ferramenta (HSS) com ponta de carboneto;
- o avanço deve ser suficiente para penetrar embaixo da superfície endurecida a frio. Se for necessário, reduza a velocidade e aumente o avanço;
- a furação deve ser iniciada e realizada sem nenhuma pausa. Entrada e reentrada após saída, devem ser feitas em velocidade e avanço plenos;
- brocas com ângulo de hélice maior, melhoram o fluxo de cavacos;
- a lubrificação da ferramenta deve ser feita com óleos minerais sulfurizados ou óleos emulsificados.

Como orientação geral, sugerem-se as afiações de broca, a seguir:

| Diâmetro do furo | Afiação da broca |
|---|--|
| $\varnothing 7 < \text{mm}$ | convencional (ângulo de aresta de corte de 135°) |
| $7 \leq \varnothing \leq 25 \text{ mm}$ | especial (broca de 3 pontas) |
| $\varnothing > 25 \text{ mm}$ | serra tipo copo |

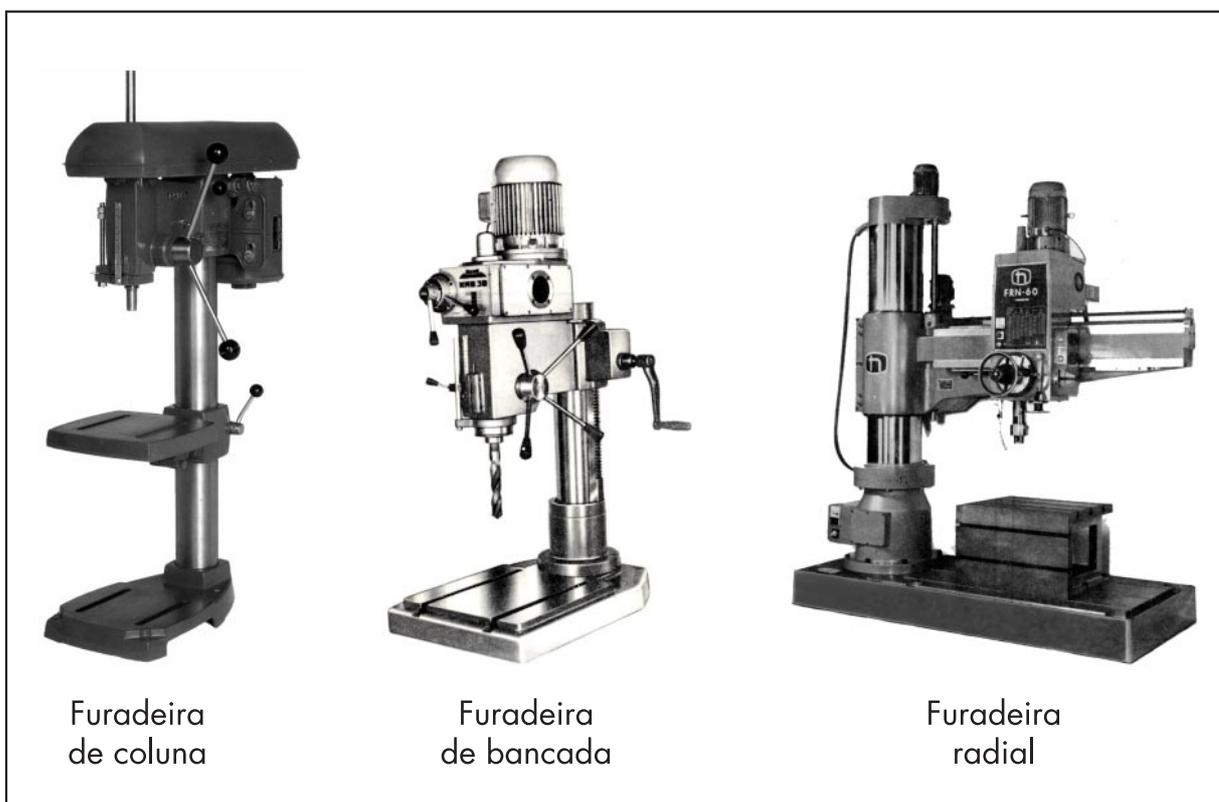
Para maiores detalhes, consultar a apostila "Curso de Aços Inoxidáveis" editada para o projeto:

**REDE - Redirecionamento Educacional
parceria Sistema FIEMG - ACESITA**

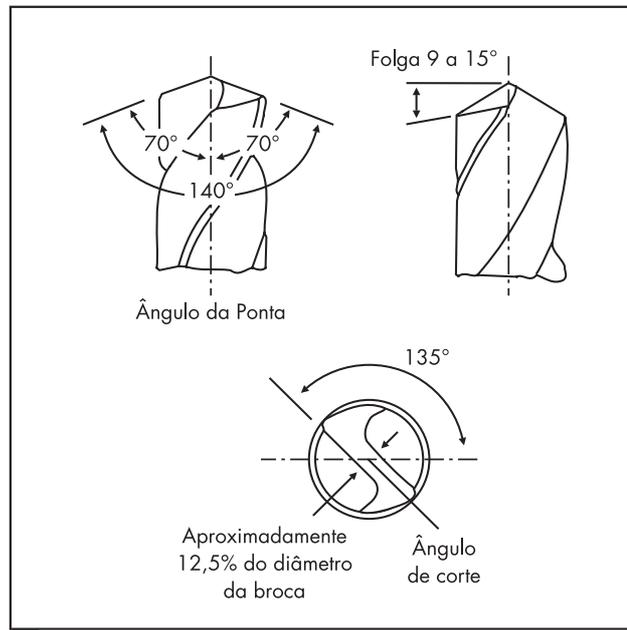
Equipamentos e ferramentas que foram por abrasão

■ Furadeiras

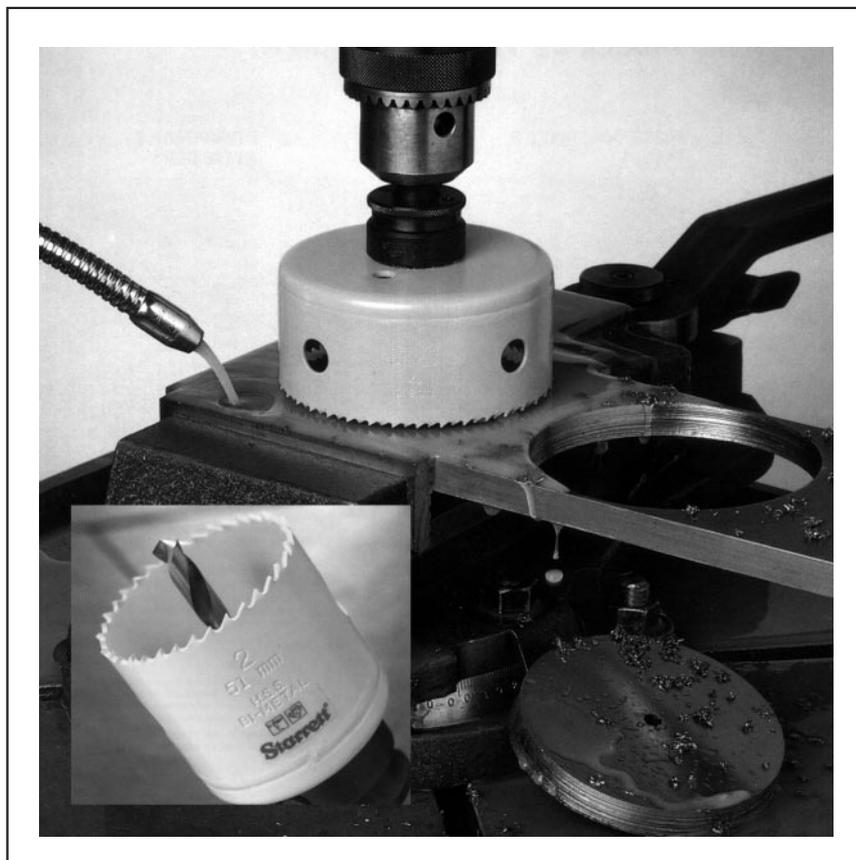
| Tipo | Descrição | Capacidades |
|----------------------|---|----------------------|
| Furadeira portátil | Apresenta alta velocidade de corte. Não é indicada para furos acima de 7 mm de diâmetro em aços inoxidáveis. | Motor \leq 1400W |
| Furadeira de bancada | Máquina utilizada para furação de peças pequenas com furos de até 16 mm de diâmetro e com curso de até 75 mm, dependendo do fabricante. | Motor \leq 2100W |
| Furadeira de coluna | Empregada para execução de furos de tamanho médio com até 25 mm de diâmetro, com curso de até 250 mm, dependendo do fabricante, com até 9 velocidades diferentes. | Motor \leq 3500W |
| Furadeira radial | Para peças de grande porte com furos de até 100 mm de diâmetro, com curso de até 500 mm, com mais de 9 velocidades diferentes e com avanço automático da broca. | Motor \leq 15000 W |



■ Brocas



Broca afiação convencional



Serra tipo copo

■ Furação por fusão

A furação por plasma tem todos os seus parâmetros idênticos ao corte por plasma já discutido. Esse processo é utilizado para fazer furos com formatos e tamanhos diversos em locais de difícil acesso. É particularmente recomendado para chapas espessas.

O custo do equipamento e a geração de rebarbas ao longo do perímetro de corte tornam-se limitantes do processo.

4.4 - PROCESSOS DE DOBRAMENTO

O dobramento é uma operação onde ocorre uma deformação por flexão. Quando um metal é dobrado, a sua superfície externa fica tracionada e a interna comprimida. Essas tensões aumentam a partir de uma linha interna neutra, chegando a valores máximos nas camadas externa e interna.

Em outras palavras, em um dobramento a tensão varia de um máximo negativo na camada interna para zero na linha neutra e daí sobe a um máximo positivo na camada externa (fig. (13)). Desta forma, uma parte das tensões atuantes na seção dobrada estará abaixo do limite de escoamento (LE) e a outra parte supera este limite, conferindo à peça uma deformação plástica permanente. Uma vez cessado o esforço de dobramento, a parte da seção que ficou submetida a tensões inferiores ao LE por ter permanecido no domínio elástico, tende a retornar à posição anterior ao dobramento. Como resultado, o corpo dobrado apresenta um pequeno "retorno elástico" (springback) que deve ser compensado durante a operação de dobramento.

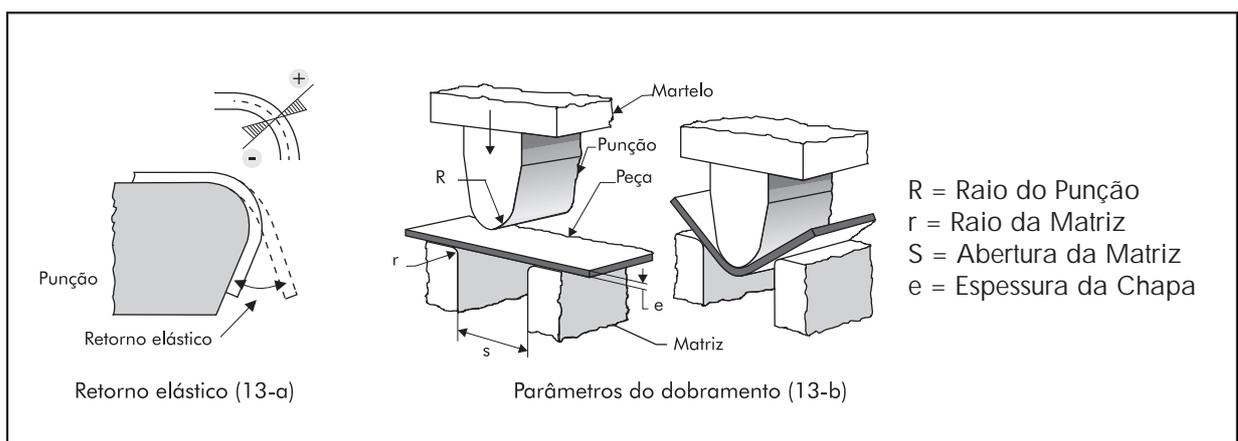


Fig (13)

O retorno elástico (efeito mola) é uma função da resistência do material, do raio e ângulo de dobra e da espessura do material a ser dobrado. A tabela da figura 14 ilustra a relação entre o raio de dobra e o retorno elástico para diferentes tipos de aços inoxidáveis austeníticos. Os aços ferríticos normalmente apresentam menor retorno elástico que os aços austeníticos

porque apresentam menor encruamento. Como um guia prático, o valor do retorno elástico é normalmente proporcional a

$$\frac{1}{2} (0,2 LE + LR)$$

onde LE é o limite de escoamento e LR é o limite de resistência do aço inox.

Retorno elástico em dobramento de 90°

| Aços Inoxidáveis | Raio de Dobramento | | |
|------------------------|--------------------|-----|------|
| | 1 e | 6 e | 20 e |
| ABNT 304 recozido | 2° | 4° | 15° |
| ABNT 301 meio recozido | 4° | 13° | 43° |

e = espessura do blank

Fig (14)

A espessura do material (e) a ser dobrado determina a abertura da matriz (s).

Admite-se como razoável trabalhar com aberturas mínimas correspondentes a 8 vezes a espessura do material a ser dobrado.

Por outro lado a abertura da matriz, normalmente em "V", vai definir o raio da dobra (r'). Para aços carbono, o valor de r' corresponde a cerca de 15% da abertura(s) da matriz.

Para os aços inoxidáveis, devido ao seu maior encruamento, o valor de r' deverá ser ligeiramente superior a este valor.

O ângulo de dobra é determinado pelo curso do punção regulado diretamente na prensa viradeira.

A força necessária para se proceder o dobramento é função da largura do material a ser dobrado (comprimento de dobra) e da abertura da matriz. Quanto maior o comprimento de dobra e menor abertura de matriz, maior a força necessária para executar o dobramento.

A figura 15 mostra a força necessária para executar o dobramento do aço Inóx ABNT 304.

TONELADA DE CARGA POR PÉ LINEAR PARA DOBRAR INOX 304 RECOZIDO

| Espessura da Chapa | | Largura do V da Matriz em polegadas | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 1/4 | 3/16 | 3/8 | 7/16 | 1/2 | 5/8 | 3/4 | 7/8 | 1 | 1 1/8 |
| Bitola | Pol | | | | | | | | | | |
| 20 | 0,036 | 4.8 | 3.6 | 2.6 | 2.2 | 1.7 | | | | | |
| 18 | 0,048 | 8.2 | 6.2 | 4.7 | 3.9 | 3.4 | 2.6 | 2.0 | | | |
| 16 | 0,060 | 14.9 | 11.0 | 8.7 | 7.0 | 5.9 | 4.3 | 3.4 | 2.8 | 2.3 | |
| 14 | 0,075 | | 18.4 | 14.3 | 11.8 | 9.8 | 7.3 | 5.4 | 4.7 | 3.9 | 3.3 |
| 12 | 0,105 | | | | 26.0 | 20.3 | 15.0 | 12.4 | 10.0 | 8.7 | 7.1 |
| 11 | 0,120 | | | | | 29.8 | 22.0 | 17.2 | 14.0 | 11.6 | 9.7 |
| 10 | 0,135 | | | | | | | 22.5 | 10.4 | 15.4 | 13.2 |
| 3/16 | 0,188 | | | | | | | 42.5 | 35.8 | 29.9 | 25.4 |
| 1/4 | 0,250 | | | | | | | | | 61.1 | 51.6 |

Pressão por comprimento (pé) linear para dobrar inox tipo 304 recozido
Fig (15)

Tipos de dobramento

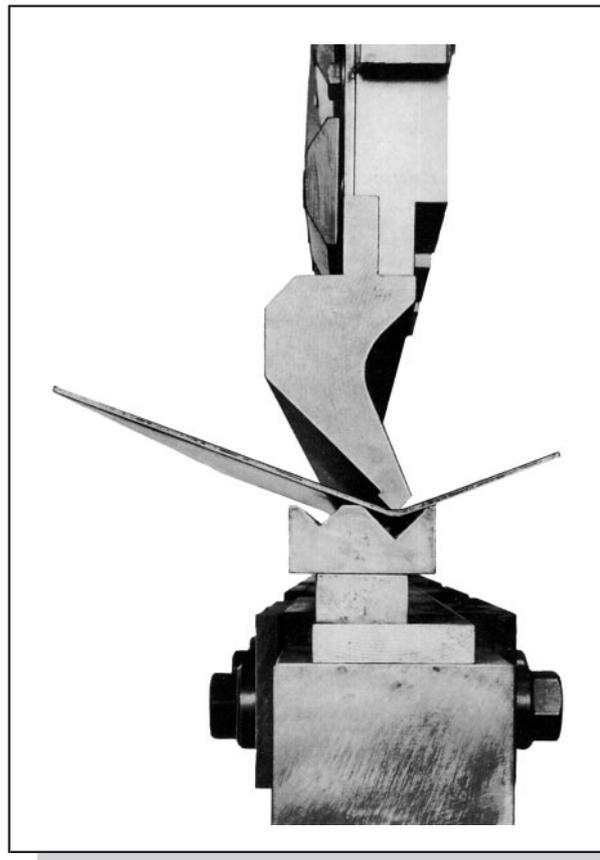
- De fundo
- Em vazio

- **Dobramento de fundo**

O punção penetra na abertura em V da matriz até o ponto em que o material atinge seu fundo. O ângulo obtido no dobramento é igual ao ângulo da matriz descontado o retorno elástico do material. O ângulo do punção não dita o ângulo de dobra acabada e nem o raio da ponta do punção produz o raio interno da dobra. O raio da dobra está diretamente relacionado ao tamanho da abertura em V da matriz. Quanto maior a abertura, maior será o raio interno produzido. Em casos especiais, pode-se usar elevado nível de pressão na prensa viradeira, o que leva o material a tomar a forma do ângulo e do raio do ferramental que está sendo empregado. Neste tipo de dobramento, o ângulo de dobramento é igual ao ângulo do punção. O raio interno da dobra é produzido pelo raio da ponta do punção que penetra no material.

■ Dobramento em vazio

O material é dobrado em três pontos: o raio do punção e os dois cantos da abertura da matriz. O material nunca entra em contato com o fundo da abertura em V da matriz. O raio interno de uma dobra em vazio é função da abertura da matriz: quanto maior for a abertura, maior será o raio interno resultante. O curso do punção determina o ângulo da dobra final. Neste tipo de dobramento, é possível produzir, com um único conjunto de ferramentas, virtualmente qualquer ângulo de dobra, de 180° até o ângulo da matriz.



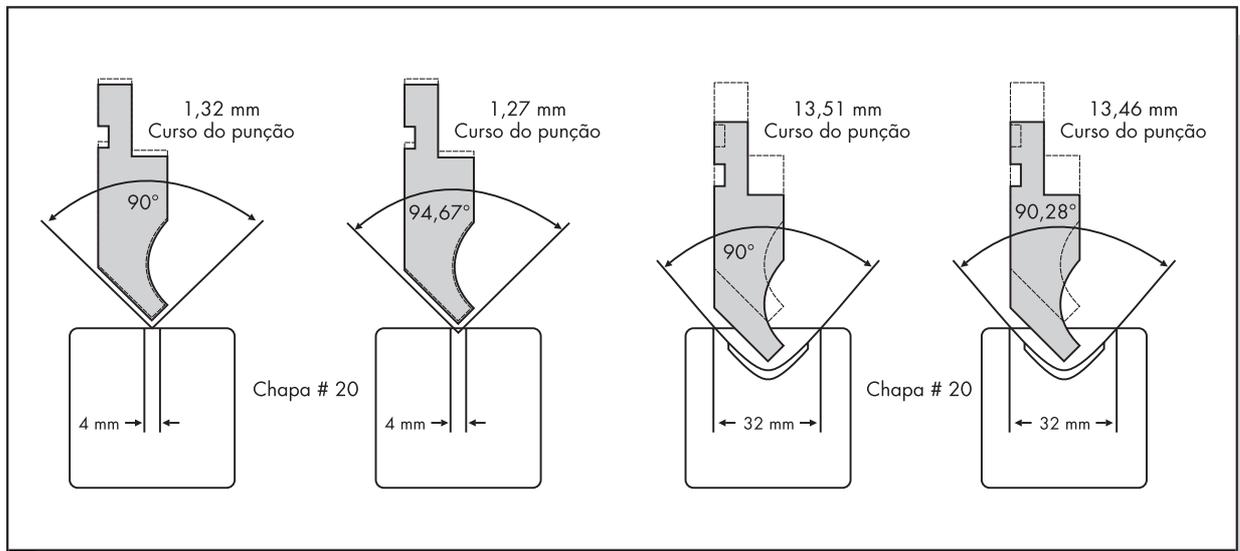
*Detalhes da fixação do punção e da matriz em prensa viradeira
Fig (16)*

Para fazer o "set-up" da prensa viradeira, parte-se da espessura do material a ser dobrado. Ela vai definir a abertura apropriada da matriz (8 vezes a espessura). Fixa-se a matriz na prensa, nivelando-se o centro do punção com o fundo da abertura da matriz. Calibra-se o curso do punção que vai definir o ângulo da dobra a ser obtida a partir de testes preliminares, levando-se em conta o retorno elástico do material.

A dobra é muito sensível à abertura em V da matriz e ao curso do punção no dobramento em vazio. A figura 17 mostra, como exemplo, as variações de ângulo resultantes de pequenas variações no curso do punção para matrizes com aberturas em V de 4 mm e de 32 mm.

Para um dobramento de 90° em uma chapa # 20, uma variação de curso do punção de 0,05 mm, acarreta uma variação de 4,67° no ângulo de dobra na matriz com abertura de 4 mm e

uma variação de apenas 0,28° no ângulo de dobra obtido com uma matriz com abertura de 32 mm.



Variação do ângulo de dobra com o curso do punção
Fig (17)

Como sugestão para uma boa prática, as chapas de inox a serem dobradas devem estar revestidas com a película de polietileno ou PVC como prevenção de possível contaminação e as ferramentas, se possível, devem ser revestidas de cromo duro.

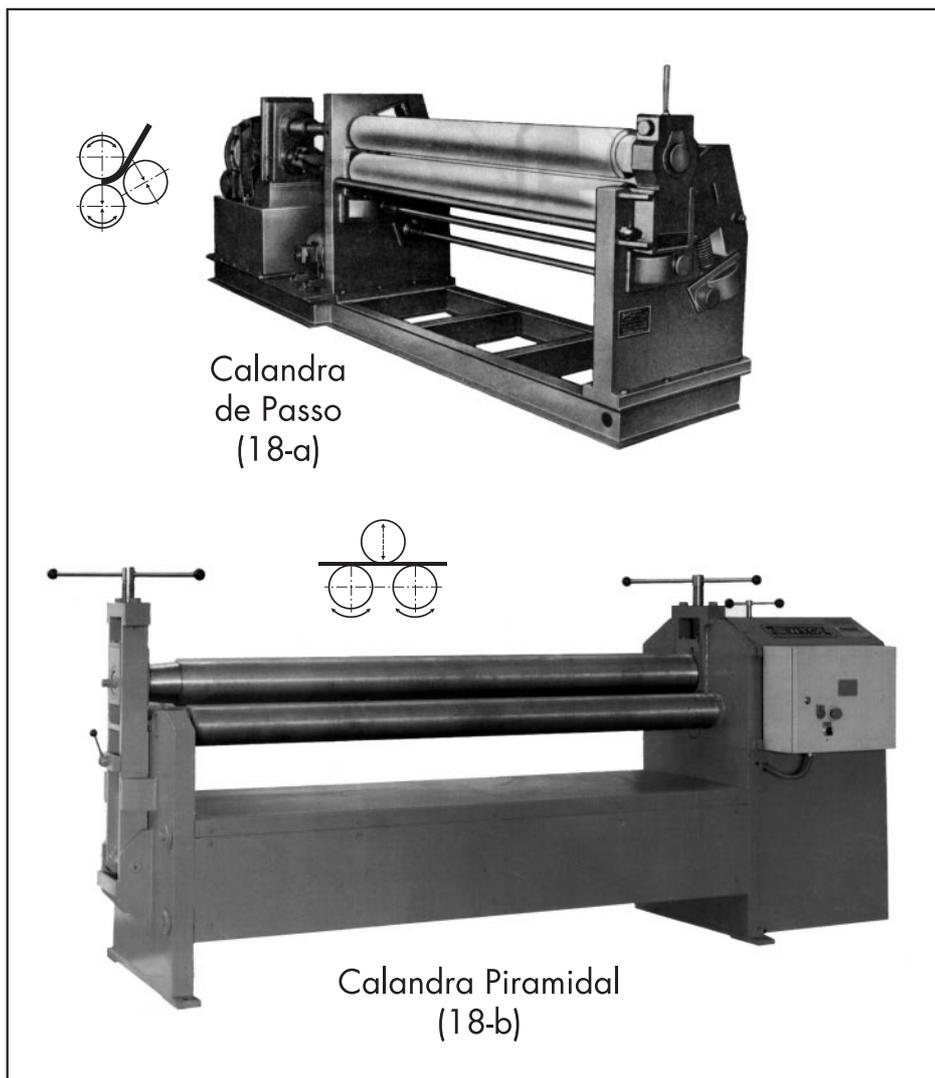
4.5 - PROCESSO DE CURVAMENTO

O processo de curvamento consiste em operações que conferem à peça uma deformação permanente em raios previamente especificados. Por ser levado a efeito no regime plástico, a exemplo do dobramento, também neste processo observa-se o fenômeno de retorno elástico. Basicamente, este processo é adequado para o curvamento de chapas, placas, barras, perfis e tubos, com o emprego de equipamentos específicos. Neste manual, trataremos de:

- Curvamento de chapas
- Curvamento de tubos

■ Curvamento de chapas

As operações de curvamento de chapas e placas são levadas a efeito em calandras. Pela calandragem, podem ser obtidas chapas curvas com raios de curvamento pré-determinados como cilindros, cones, tronco de cones, bem como qualquer outra superfície de revolução. Dois tipos de calandras estão disponíveis no mercado: a calandra de passo e a calandra piramidal.



*Tipos de Calandra
Fig (18)*

Na calandra de passo (fig 18-a), a folga entre os rolos alinhados é ajustável para várias espessuras e o rolo de trabalho pode se deslocar para a obtenção de diferentes diâmetros. O diâmetro mínimo que pode ser obtido é o do rolo superior acrescido de 50 mm. Este tipo de calandra é adequado para grandes volumes de produção de peças de diâmetros (raios) menores. São mais precisas que as calandras piramidais.

Na calandra piramidal, o rolo superior pode ser ajustado para exercer maior ou menor pressão, obtendo-se peças de diâmetros e/ou raios menores ou maiores. O diâmetro/raio mínimo obtido é de cerca de duas vezes o diâmetro do rolo superior para os aços inoxidáveis e de uma vez e meia para os aços carbono. O diâmetro máximo da peça é limitado pela estabilidade da peça dobrada.

Para evitar contaminação, é prudente a limpeza dos rolos da calandra antes de curvar aços inoxidáveis que devem estar protegidos pela película de polietileno ou PVC.

Equipamentos para curvamento de chapas

■ Calandras

| Tipo | Descrição | Capacidades |
|---------------|---|---|
| Piramidal | Composta de três rolos em forma de pirâmide. | Conforma chapas de até 50 mm de espessura por até 3000 mm de comprimento. |
| Passo/Inicial | Composta de três rolos, sendo dois sobrepostos no mesmo alinhamento vertical e o de trabalho. | Conforma chapa de até 50 mm de espessura por até 3000 mm de comprimento. |

■ Curvamento de tubos

O curvamento de tubos está relacionado à deformação por flexão que induz tensões de compressão na camada interna e de tração na camada externa ao curvamento.

O diferencial de tensões entre a parte distendida e a parte comprimida é responsável por uma redução na seção do tubo conformado. Esta deformação depende do diâmetro do tubo, da espessura da parede e do raio de curvatura.

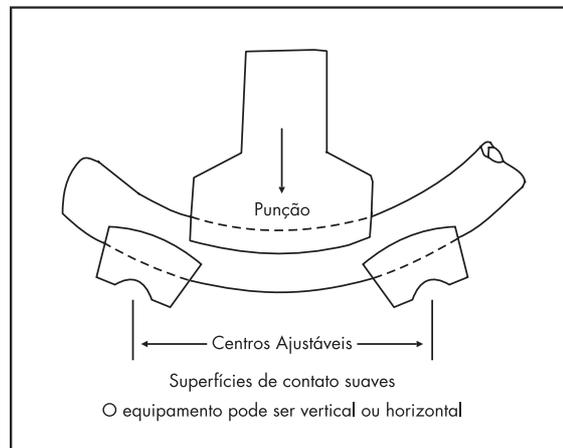
A relação diâmetro do tubo e a espessura de parede D/t é conhecida como "estabilidade estrutural do tubo". À medida que D/t cresce, menor é a estabilidade do tubo e maior é a tendência de achatamento na região da dobra e de enrugamento na região côncava.

Por exemplo, para tubos de diâmetros compreendidos entre 1" e 2" (25,4 – 50,8 mm) e raios de curvatura de duas vezes e meia o diâmetro, a redução de seção pela operação de curvamento é da ordem de 2,5 a 3,0%.

As formas de minimizar este efeito serão detalhadas a partir do equipamento utilizado no curvamento dos tubos que podem ser de três tipos: por compressão, por rolos e por matriz rotativa.

■ Curvamento por compressão

O dobramento por compressão é obtido através de uma prensa cujo punção exerce uma força que flete o tubo contra dois cossinetes móveis e ajustáveis (Fig.19)



*Prensa típica de dobramento de tubos
Fig. (19)*

■ Curvamento por rolos

Neste tipo de equipamento, a flexão do tubo é obtida pela ação de três rolos, dois fixos e um móvel regulável destinado à ajustagem do raio de curvatura. A direção de rotação é reversível. (Fig.20)

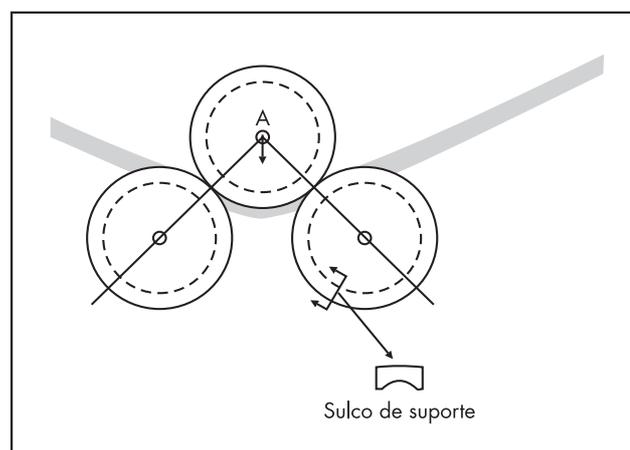


Fig (20)

Tanto neste equipamento quanto no anterior, a relação D/t vai determinar a estabilidade e a conseqüente tendência ao achatamento. Para minimizar este fenômeno, utiliza-se o artifício de encher os tubos com material suporte. Os materiais suporte mais utilizados são:

- areia;
- madeira;
- resinas.

Recomenda-se compactar convenientemente o material suporte dentro do tubo e tampar suas extremidades para evitar fuga durante a operação de curvamento.

Tanto no curvamento por compressão quanto no curvamento por rolos, recomenda-se um raio mínimo de cerca de seis vezes o diâmetro para curvamentos sem materiais de enchimento e de quatro vezes com enchimento de material suporte. O ângulo mínimo de dobra é de 120° .

- Curvamento por matriz rotativa

O dobramento por matriz rotativa é obtido fazendo com que o tubo seja dobrado em torno de uma matriz que pode assumir duas configurações:

- o mordente solidário à matriz fixa o tubo. O conjunto mordente-matriz gira em torno do seu eixo, conformando o tubo (Fig 21).
- mordente e matriz ficam estáticos e a guia conforma o tubo em volta da matriz.

Neste processo, se necessário, utiliza-se um mandril interno ao tubo para evitar sua deformação durante a operação de curvamento (Fig.21).

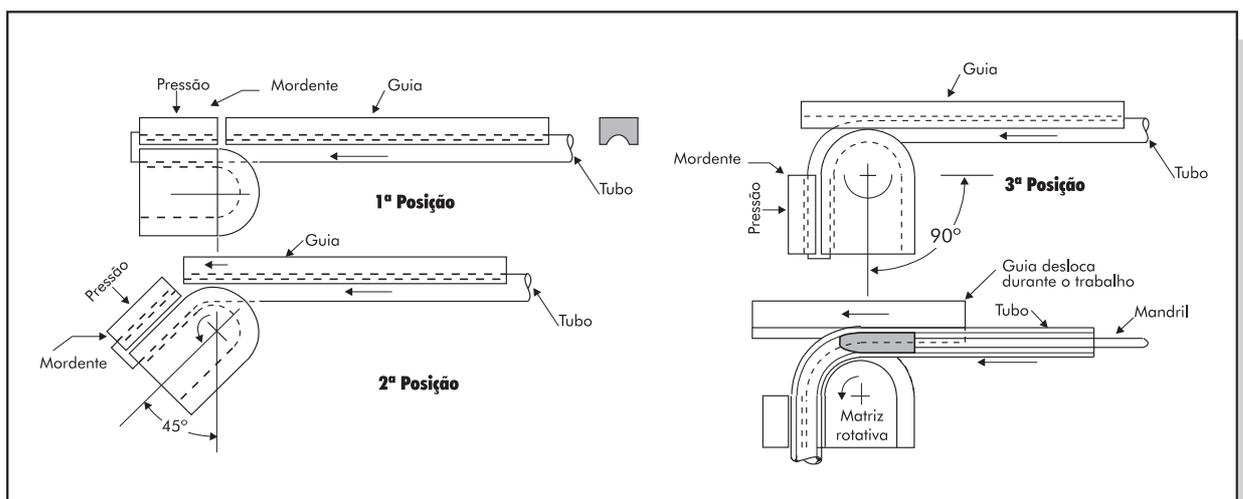
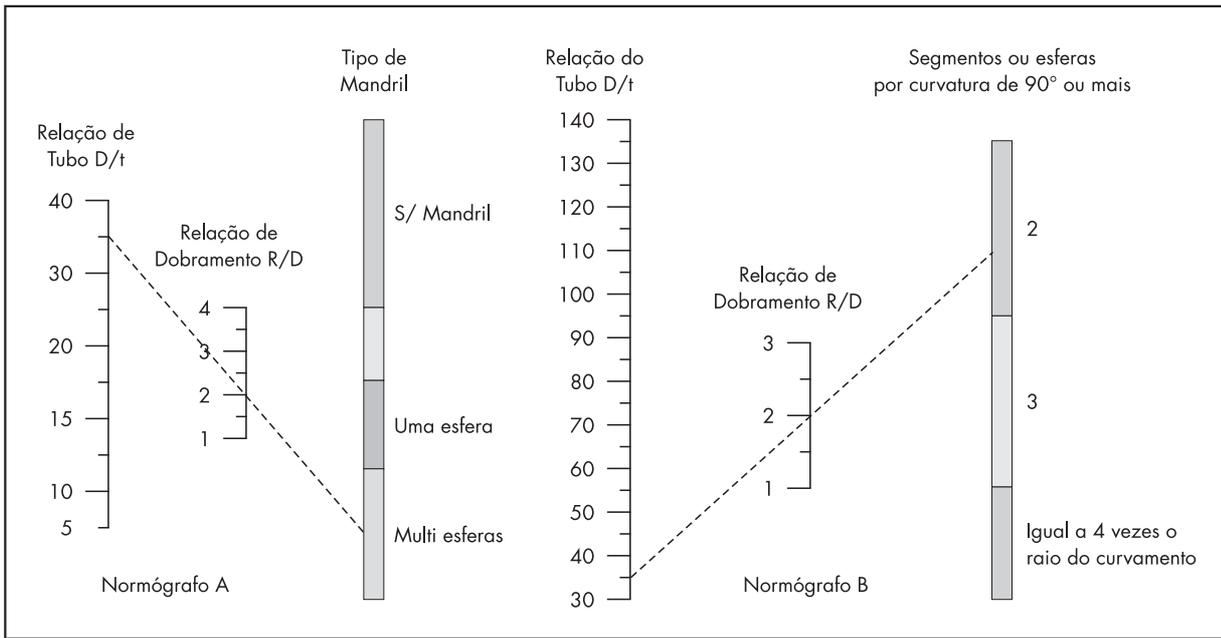


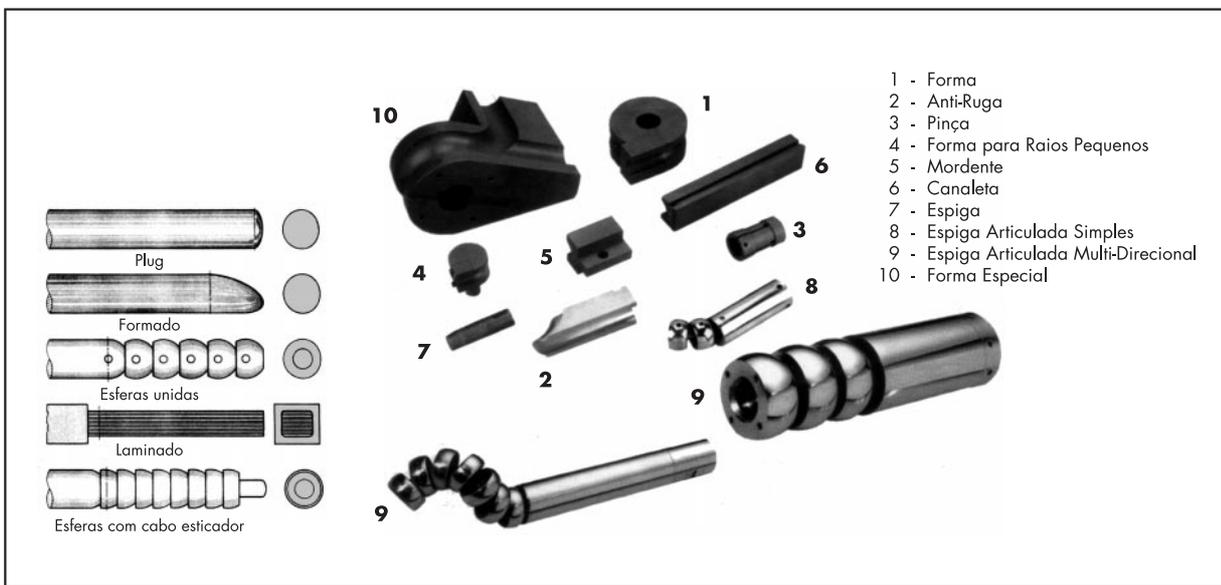
Fig.(21)

Nos dois casos, uma análise prévia no ábaco da figura 22 define a necessidade da utilização ou não do mandril interno.



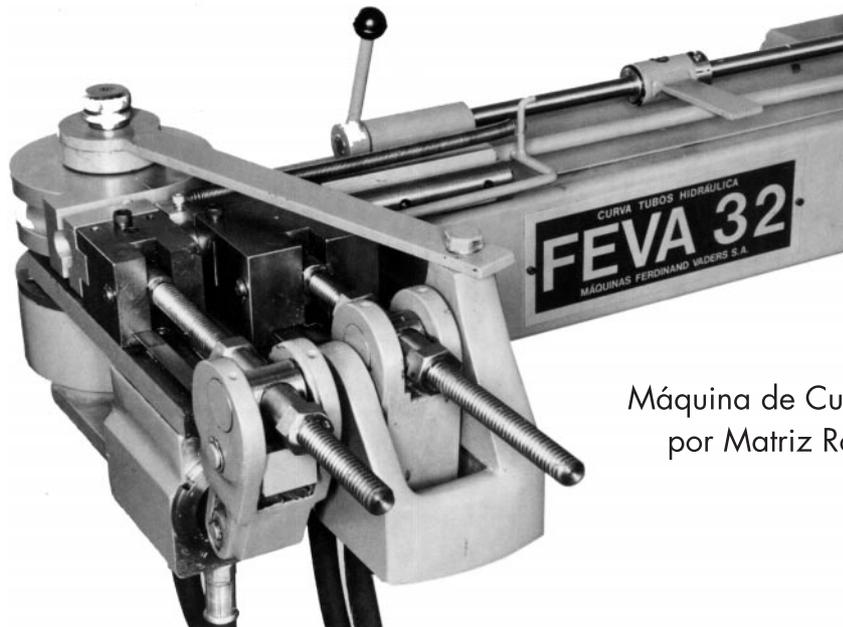
Normógrafos para determinar onde um mandril é necessário e o tipo correto a usar
Fig. (22)

A parte (A) do ábaco correlaciona a relação D/t com o raio de dobramento com a finalidade de se definir o tipo de mandril a ser utilizado. A parte (B) do ábaco correlaciona a relação D/t com o raio de curvatura para se definir a quantidade de esferas ou segmentos do mandril articulado.

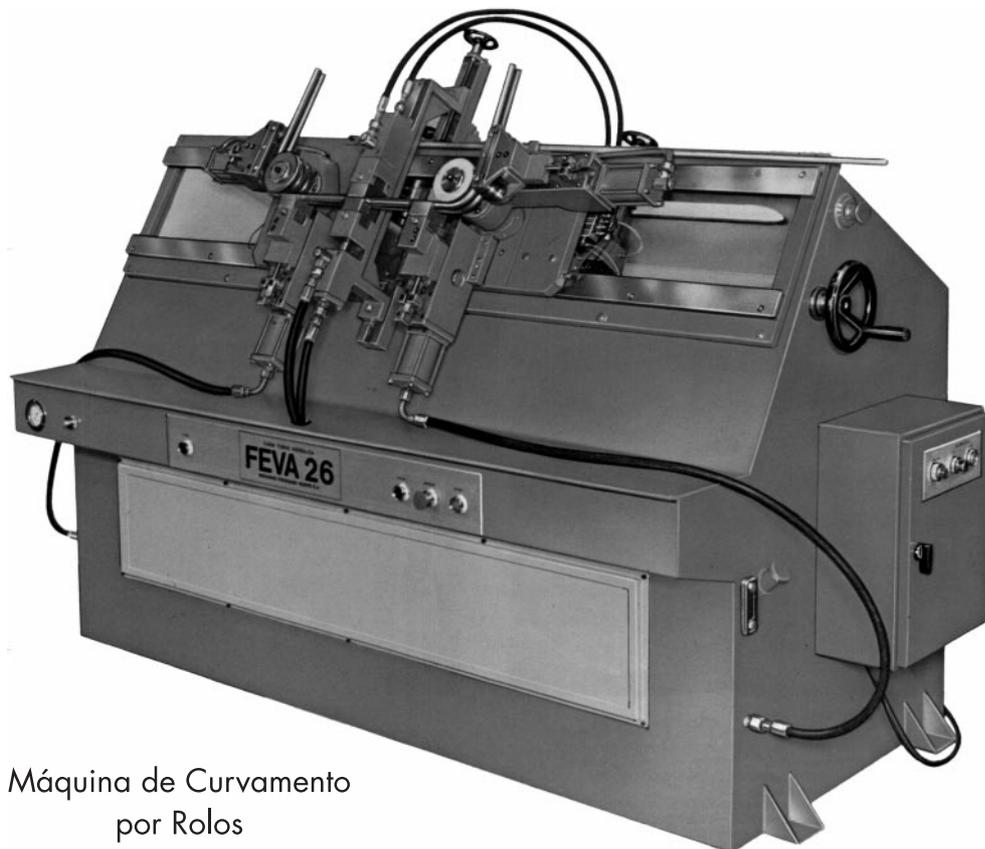


Tipos de mandril
Fig (23)

Equipamentos para curvamento de tubos



Máquina de Curvamento
por Matriz Rotativa



Máquina de Curvamento
por Rolos

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aço inox pode ser cortado, furado, dobrado e calandrado da mesma forma e com os mesmos equipamentos que conformam os aços carbono. Contudo, algumas modificações no processo são necessárias pela diferença de comportamento mecânico entre os aços inoxidáveis e aços carbono.

Uma das diferenças mais marcantes é o fato do aço inox apresentar endurecimento sensivelmente maior que os aços carbono e exigir, para a sua conformação, equipamentos mais robustos para conformar as mesmas espessuras.

Porém, em grande parte dos casos, o maior grau de encruamento dos aços inoxidáveis pode ser compensado pela sua excelente resistência à corrosão atmosférica, viabilizando o emprego de espessuras menores do que aquelas especificadas para os aços carbono. E, com espessuras reduzidas, os componentes e peças de aços inox ficam mais leves e os esforços de conformação podem se aproximar daqueles exigidos para a conformação dos aços carbono.

Vale a pena enfatizar a absoluta necessidade de se proceder a limpeza criteriosa dos equipamentos e ferramentas que processam simultaneamente aços inoxidáveis e aços carbono. Neste caso, recomenda-se o uso de ferramentas exclusivas para a conformação dos aços inoxidáveis. Caso isto não seja economicamente viável, é imprescindível adotar a prática de limpar as ferramentas antes de iniciar o serviço. Em qualquer situação, é uma boa prática conformar o aço inox com a película protetora de PVC ou polietileno. Em suspeita de contaminação por resíduos de aço carbono, existe a necessidade de se proceder a sua remoção e restabelecer a camada passiva. O processo consiste em tratar as partes atingidas por solução levemente aquecida (50 a 60 °C) de ácido nítrico em concentração de 20%. Na seqüência, a peça deve ser lavada e enxugada. Uma solução alternativa é submeter a peça ao jateamento ou lixamento das partes afetadas para remoção da contaminação. O oxigênio do ar deverá ser suficiente para recompor a camada passiva.

A tabela a seguir mostra o desempenho comparativo dos aços inoxidáveis produzidos pela ACESITA, disponíveis no mercado brasileiro:

| Aços | | Limite de Escoamento (MPa) | Desempenho | | |
|--------------|------|----------------------------|------------|------------|-------------|
| | | | Perfuração | Dobramento | Calandragem |
| Austeníticos | 301 | 250 a 370 | C | B | B |
| | 304 | 240 A 350 | B | A | A |
| | 304L | 240 A 350 | B | A | A |
| | 316 | 250 A 370 | B | A | A |
| | 316L | 240 A 350 | B | A | A |
| Ferríticos | 409 | 180 A 320 | A | A | A |
| | 430 | 250 A 430 | A/B | A | A |
| Martensítico | 420 | 250 A 450 | B/C | C | C/D |

A= excelente B = bom C = razoável D = não recomendado.

6. BIBLIOGRAFIA

- Forming of Stainless Steel and Heat Resisting Alloys - Metal Handbook vol 14
- Especificação de processos de dobramento - Bill Klein - Trabalho apresentado na Fabtech East'96 - Filadelfia - USA e publicado na revista Máquinas e Metais - Dez/96
- Fabrication of Chromium - Nickel Stainless Steel - 300 series - International Nickel Publication
- Catálogos de fabricantes

As informações contidas nesta publicação, resultam de testes de laboratório e de consultas às referências bibliográficas tradicionais e respeitáveis.

O desempenho dos aços inoxidáveis em serviço ou durante a fabricação de produtos, pode sofrer alterações com mudanças de temperatura, PH, traços de elementos contaminantes, bem como em função do estado de conservação e correta ajustagem dos equipamentos de soldagem ou conformação, sendo ainda a adequada qualificação de mão-de-obra operacional de grande importância no processo. Por estas razões, as informações contidas nesta publicação, devem ser consideradas apenas como referência inicial para testes ou para uma especificação mais precisa por parte do comprador. **A Acesita não se responsabiliza por perdas e/ou prejuízos decorrentes da utilização inadequada das informações aqui contidas.**