

INTRODUÇÃO AOS PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Sistema de conformação

- Conjunto de todas as variáveis de entrada
 - Material pré-conformação
 - Ferramental
 - Condições de interface
 - Mecanismo de deformação
 - Equipamento
 - Características do produto final
 - Ambiente em que se conduz o processo

Sistema de conformação

- Abordagem permite o entendimento da relação entre as entradas e as saídas e o efeito das variáveis de processo
- Principal aspecto a ser entendido e controlado é o fluxo de material

Variáveis do processo de conformação

MATERIAL DO TARUGO

- Tensão de escoamento como função da deformação, taxa de deformação, temperatura e microestrutura (equações constitutivas)
- Conformabilidade como função da deformação, da taxa de deformação, temperatura e microestrutura (curvas limites de conformação)
- Condições superficiais
- Propriedades termo-físicas
- Condições iniciais (composição química, temperatura, estados anteriores da microestrutura)
- Efeitos de mudanças em microestrutura e composição química na tensão de escoamento e conformabilidade

FERRAMENTAL

- Geometria das ferramentas
- Condições superficiais
- Material/dureza/tratamento térmico
- Temperatura
- Rigidez e precisão

CONDIÇÕES NA INTERFACE FERRAMENTA-PEÇA

- Tipo de lubrificante e temperatura de trabalho
- Isolação e características de resfriamento na camada de interface
- Lubrificação e tensão de cisalhamento ao atrito
- Características relacionadas à aplicação e remoção do lubrificante

ZONA DE DEFORMAÇÃO

- Mecanismo de deformação, modelo usado para análise
- Fluxo de metal, velocidade, taxa de deformação, deformação (cinemática)
- Tensões (variação durante a deformação)
- Temperaturas (geração e transferência de calor)

EQUIPAMENTO USADO

- Velocidade/razão de produção
- Força/capacidade de conversão de energia
- Rigidez e precisão

PRODUTO

- Geometria
- Precisão dimensional/tolerâncias
- Acabamento superficial
- Microestrutura, propriedades mecânicas e metalúrgicas

AMBIENTE

- Capacidade da mão-de-obra disponível
- Poluição do ar e sonora e resíduos líquidos
- Controle da produção e equipamentos disponíveis na fábrica

Caracterização do material

- A tensão de escoamento e a anisotropia (ou não) das propriedades mecânicas são as variáveis mais importantes
- A tensão de escoamento será função da deformação, da taxa de deformação e da temperatura
- A determinação da função constitutiva depende de ensaios mecânicos diversos em condições distintas

Conformabilidade

- Define-se como a capacidade de um material de ser deformado para obtenção de uma forma sem que ocorra ruptura.
- Depende de:
 - Condições de processo
 - Características do material

Equipamento e ferramental

- Seleção do equipamento é definida pelas características de tempo, precisão e características de carga-energia
- Correta seleção exige considerações sobre todo o sistema de conformação, incluindo tamanho do lote de peças, condições da fábrica, efeitos ambientais, necessidades de manutenção, necessidades de processo, etc.

Equipamento e ferramental

- Variáveis de ferramental
 - Projeto e geometria
 - Acabamento superficial
 - Rigidez
 - Propriedades mecânicas e térmicas durante o uso

Condições de interface (Atrito)

- Pode ser expresso pelo coeficiente de atrito μ ou fator de atrito m
- A tensão de cisalhamento será:

$$\tau = \sigma_n \mu$$

ou

$$\tau = m \bar{\sigma} / \sqrt{3} = f \bar{\sigma}$$

Deformação

- Fluxo de metal é influenciado por:
 - Geometria da ferramenta
 - Atrito
 - Sobremetal
 - Condições térmicas na zona de deformação
- Características de fluxo determinam a qualidade e características do produto e influem na força e energia requeridas

Geometria do produto

- Características geométricas são influenciadas pelas variáveis de processo
- Condições de processamento influem nas características microestruturais e influenciam as propriedades

Exercício

- Imagine que você vai instalar na sua fábrica:
 - Um laminador
 - Uma prensa de extrusão a quente
 - Uma prensa para forjamento de peças

Exercícios

- Exemplifique aspectos ambientais que devem ser levados em conta (o que é preciso saber se existe na fábrica ou se a fábrica comporta para instalação desses equipamentos?)
- Dê exemplos de características do processo e do produto que devem ser levadas em conta antes da implantação desses equipamentos.

Classificação dos processos de conformação

- Duas grandes categorias:
 - Conformação maciça
 - Conformação de chapas
- Em ambos os casos, o atrito tem grande influência no processo

Conformação maciça

- Material inicial é um bloco sólido (tarugo, barra ou vergalhão)
- Um grande aumento da relação área-volume ocorre
- Componente passa por grande transformação, com mudança significativa de forma e seção
- Deformação plástica é muito maior do que a deformação elástica
- Exemplos: extrusão, forjamento, laminação, trefilação

Conformação de chapas

- Material inicial é um *blank*
- Deformação transforma o material em uma peça tridimensional com poucas mudanças de espessura
- A magnitude da deformação plástica pode ser similar à da deformação elástica – o retorno elástico é importante e deve ser levado em consideração
- Exemplos: dobramento, estampagem

Classificação

- Alguns processos podem ser considerados “mistos”
- Afinar a parede de um tubo, por exemplo: pode ser maciço (tubos grossos) ou de chapas (paredes finas)

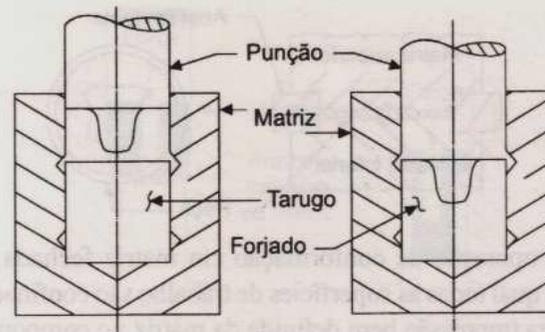
Tabela 2.2 Classificação dos processos de conformação maciça.

Forjamento	Laminação	Extrusão	Trefilação
Forjamento em matriz fechada com rebarba	Laminação de chapas	Extrusão sem lubrificação	Trefilação
Forjamento em matriz fechada sem rebarba	Laminação de perfis	Extrusão a quente direta com lubrificação	Trefilação com rolos
Cunhagem	Laminação de tubos	Extrusão hidrostática	Calibração de parede (ironing)
Eleito-recalque	Laminação de anéis		Estiramento de tubos
Forjamento por extrusão direta	Laminação rotativa por penetração		
Forjamento por retro-extrusão	Laminação de engrenagens		
Endentação	Laminação/forjamento		
Forjamento isotérmico	Laminação transversal		
Forjamento de ogiva	Laminação superficial		
Forjamento em matriz aberta	Repuxo por torçamento		
Forjamento orbital	Redução de tubos (Rocking)		
Forjamento de sinterizado			
Forjamento radial			
Recalque			

Tabela 2.3 Classificação dos processos de conformação para chapas.

Dobramento e flangeamento reto	Conformação de recessos rasos
Dobramento	Escarcamento por prensagem
Calandragem	Conformação em martelo
Conformação de perfilados	Conformação eletromagnética
Conformação de perfis por estiramento	Conformação por explosão
Conformação de perfis com rolos	Entalhamento (jogging)
Conformação de chapas	Repuxo profundo e flangeamento
Conformação por estiramento	Rolagem por torçamento
Nervuramento (androforming)	Embutimento profundo
Conformação por envelhecimento	Processo marform
Conformação por alongamento (creeping)	Conformação com sapatas de borracha
Conformação e têmpera em matriz	Hidroconformação com diafragma de borracha
Conformação por abaulamento	
Conformação a vácuo	

Forjamento em matriz fechada



Definição: Neste processo, um tarugo com volume cuidadosamente controlado é deformado (a quente ou a frio) por um punção a fim de preencher a cavidade da matriz sem perda de material. O punção e a matriz podem ser compostos de uma ou várias partes.

Equipamento: Prensa hidráulica, prensa mecânica com cabeçotes múltiplos.

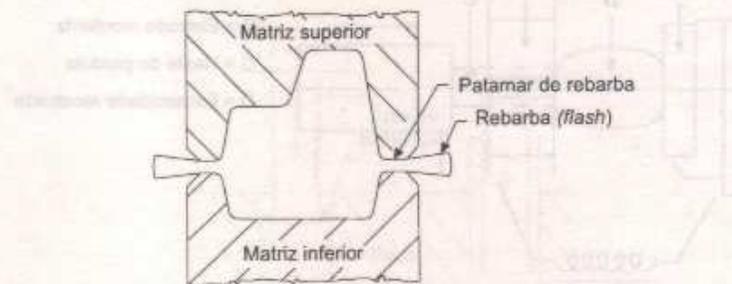
Materiais: Aços carbono e ligados, ligas de cobre e alumínio.

Variações: Forjamento de pinos, forjamento de precisão, forjamento a frio e a quente, forjamento de sinterizado.

Aplicações: Forjamento de precisão, forjamento oco, conexões, cotovelos, tês etc.

Figura 2.1 Conformação com matriz fechada sem rebarbas.

Forjamento em matriz fechada



Definição: Neste processo, um tarugo é conformado (a quente) em matrizes (normalmente bipartidas) de modo que o fluxo de metal na cavidade da matriz seja restrito. O excesso de material é extrudado através de uma folga estreita e aparece como um rebarba ao longo de todo o contorno do componente na divisão do estampo.

Equipamento: Martelo e martelo contra golpe, prensas hidráulicas e mecânicas e prensas de fricção.

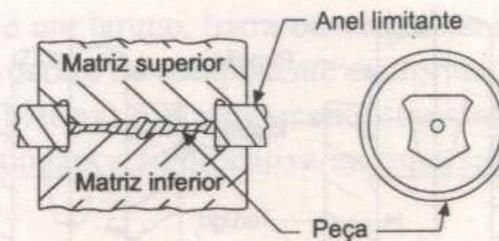
Materiais: Ligas de alumínio, magnésio, berílio, cobre, aços carbono e ligados, aços inoxidáveis, ligas de níquel, de titânio, superligas à base de ferro, cobalto, níquel, ligas de nióbio, molibdênio, tântalo, tungstênio e demais materiais forjáveis.

Variações: Conformação em matrizes fechadas com rebarba lateral, com rebarba longitudinal, sem rebarba

Aplicações: Componentes para automóveis, caminhões, tratores, veículos fora-de-estrada, aviões, transporte ferroviário, mineração, indústria mecânica em geral e produtos de engenharia relacionados com geração de energia.

Figura 2.2 Conformação em matriz fechada com rebarbas.

Cunhagem



Definição: É uma operação de conformação em matriz fechada, normalmente executada a frio, na qual todas as superfícies de trabalho são confinadas ou restringidas, resultando numa impressão bem definida da matriz no componente. É também uma operação de acabamento ou retrabalho para afiar ou mudar um raio ou perfil existente.

Equipamento: Prensa ou martelo.

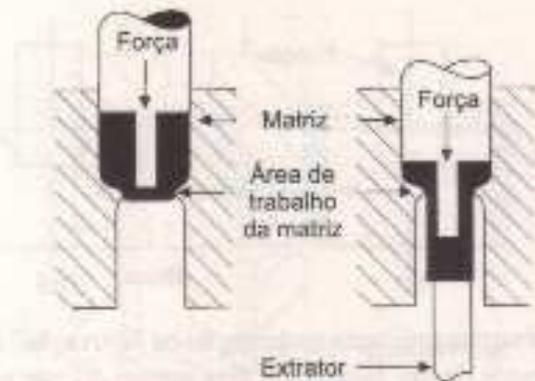
Material: Aços carbono ou ligados, aços inoxidáveis, ligas resistentes ao calor, ligas de alumínio, cobre, prata e ouro.

Variações: Cunhagem sem rebarbas, cunhagem com rebarbas, cunhagem em matriz fechada, conformação dimensional (calibragem).

Aplicações: Moedas metálicas, itens decorativos, tais como ornamentos usados sobre a mesa, medalhas e botões metálicos, conformação dimensional para componentes automobilísticos e componentes para aeronaves.

Figura 2.3 Cunhagem.

Extrusão Direta



Definição: Neste processo, o punção comprime um tarugo (quente ou frio) confinado numa cavidade com apenas uma passagem, de modo que o material do tarugo flui através da passagem na mesma direção do movimento do punção.

Equipamento: Prensa mecânica ou hidráulica.

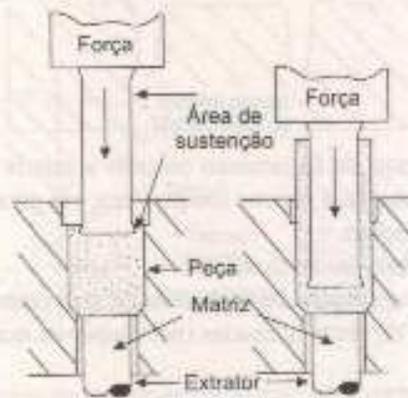
Materiais: Aços carbono e ligados, ligas de alumínio, cobre, magnésio e titânio.

Variações: Conformação com matriz fechada sem rebarbas, forjamento de sinterizado.

Aplicações: Eixos sólidos com cones ou diferentes diâmetros, componentes tubulares com múltiplos diâmetros e furos cônicos ou não circulares.

Figura 2.5 Forjamento por extrusão direta.

Extrusão reversa



Definição: Neste processo, o tarugo (frio ou quente) é pressionado dentro de uma cavidade fechada por um punção de área menor que a cavidade, de modo que o material seja forçado a escoar em volta do punção na direção oposta ao movimento do punção.

Equipamento: Prensas mecânicas ou hidráulicas.

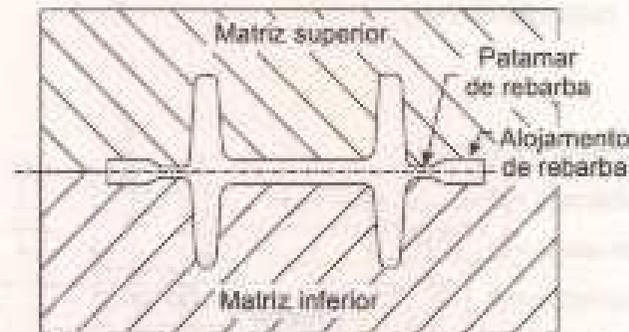
Materiais: Aços carbono ou ligados, ligas de alumínio, cobre, magnésio ou titânio.

Variações: Conformação com matriz fechada sem rebarbas, forjamento de sinterizado.

Aplicações: Componentes contendo cavidades fechadas ou em formas de copos com furos cilíndricos, cônicos ou não circulares.

Figura 2.6 Forjamento por retroextrusão.

Forjamento isotérmico



Definição: É um processo de forjamento no qual a matriz e o material a ser forjado estão aproximadamente à mesma temperatura, em geral alta.

Equipamento: Prensa hidráulica.

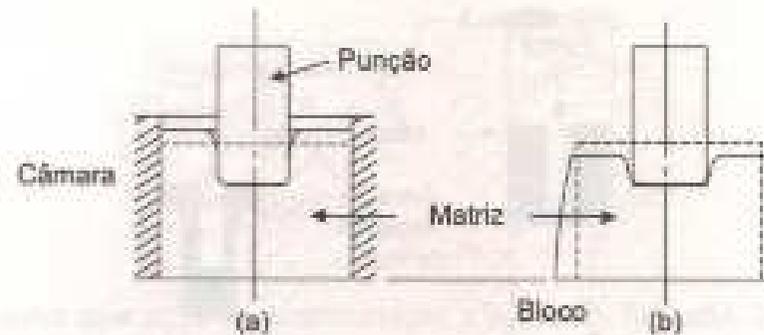
Materiais: Ligas de titânio ou de alumínio.

Variações: Forjamento em matriz fechada com ou sem rebarba, forjamento de sinterizado.

Aplicações: Forjamento de peças acabadas (net shape) ou quase acabadas (near net shape).

Figura 2.8 Forjamento isotérmico.

Cravamento



Definição: É um processo no qual uma endentação ou "cravação" é realizada num bloco quente ou frio através de um punção de área menor do que o bloco.

Equipamento: Pressas mecânicas ou hidráulicas.

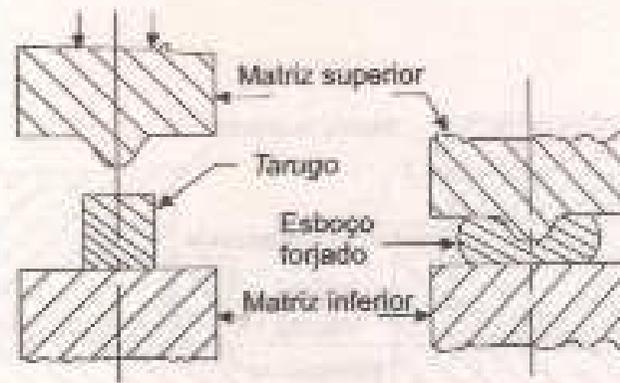
Materiais: Aços carbono ou ligados.

Variações: Endentação ou cravação de matrizes.

Aplicações: Fabricação de matrizes e moldes com impressões relativamente rasas.

Figura 2.7 Endentação (a) em uma câmara e (b) sem restrição.

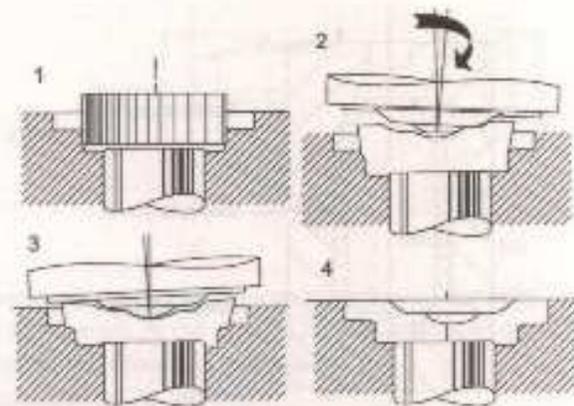
Forjamento em matriz aberta



- Definição:** É um processo de forjamento a quente no qual o metal é conformado por golpes de martelo ou por pressão entre uma base plana e um punção de contorno simples.
- Materiais:** Aços carbono e ligados, ligas de alumínio, titânio e todos os materiais forjáveis.
- Variações:** Forjamento de vergalhões, eixos, mandris, anéis, recalçamento entre matrizes planas ou curvas.
- Aplicações:** Forjamento de lingotes, forjados grandes e maciços, pré-conformações para forjamento final.

Figura 2.10 Forjamento em matriz aberta.

Forjamento orbital



Definição: É um processo no qual o material (quente ou frio) é forjado através de um punção superior com movimento orbital e uma matriz inferior não rotativa. A parte inferior do estampo sobe progressivamente ao encontro da superior rotativa.

Equipamento: Prensa orbital.

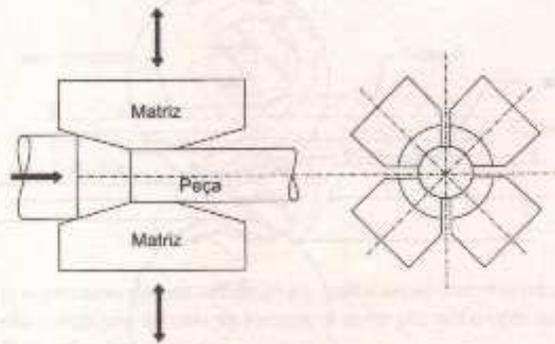
Materiais: Aços carbono e ligados, aços inoxidáveis, ligas de alumínio e latões e todos os materiais forjáveis.

Variações: Este processo é também chamado de forjamento rotativo ou, ainda, oscilante. Em certos casos, a parte inferior da matriz também tem movimento rotativo.

Aplicações: Engrenagens cônicas, anéis sincronizadores, discos e cubos de rodas, anéis de rolamento, anéis de diversos contornos, vedações de rolamentos.

Figura 2.11 Forjamento orbital.

Forjamento radial



Definição: Este processo de forjamento a quente ou a frio utiliza dois ou mais punções, ou matrizes, que se movem radialmente produzindo componentes sólidos ou tubulares com seções transversais constantes ou variáveis ao longo do comprimento.

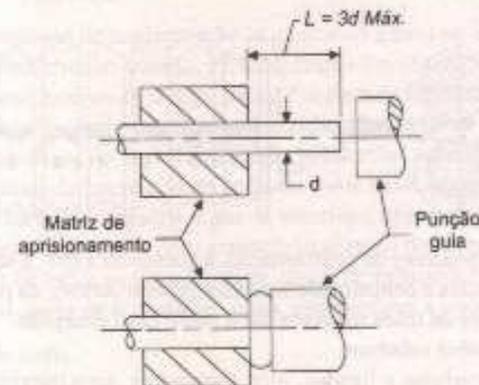
Equipamento: Máquina de forjamento radial.

Materiais: Aços carbono ou ligados, ligas de titânio, berílio, tungstênio e superligas resistentes a altas temperaturas.

Variações: Forjamento rotativo.

Aplicações: Redução de diâmetros de lingotes e barras, forjamento de eixos e pontas-de-eixo com diversos diâmetros, forjamento de canos de armas, produção de componentes tubulares com e sem perfil interno.

Recalque



Definição: Este é o processo de forjamento, a quente ou a frio, no qual uma porção, ou todo o componente, tem sua seção transversal aumentada.

Equipamento: Martelos, máquinas recaladoras, prensas hidráulicas, mecânicas ou de fricção.

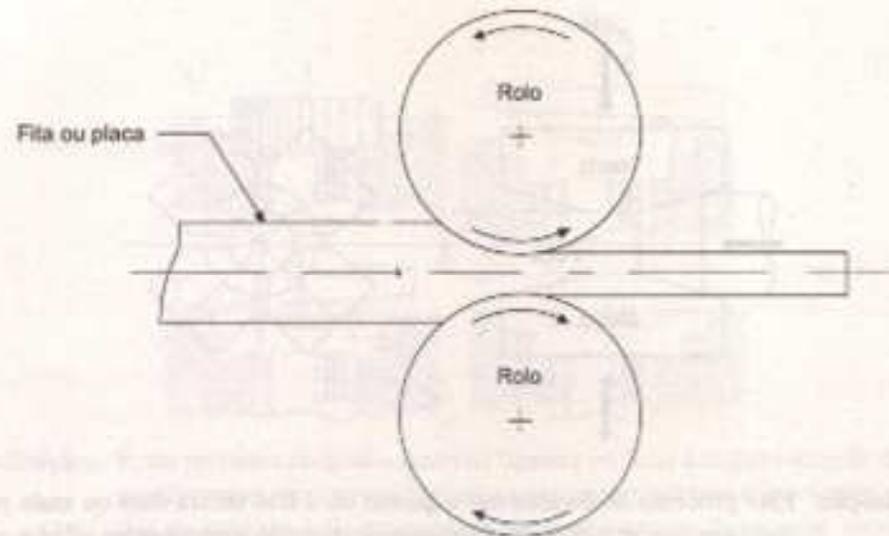
Materiais: Aços carbono ou ligados, aços inoxidáveis, todos os materiais forjáveis.

Variações: Eletro-recalque, forjamento por recalque, forjamento por estampo aberto.

Aplicações: Forjamentos finais, incluindo de porcas e parafusos, eixos flangeados e preparação para forjamentos finais.

Figura 2.14 Recalque com punção plano.

Laminação de planos



Definição: É um processo de conformação, a quente ou a frio, no qual a espessura da chapa é reduzida através do emprego de rolos rotativos. Em geral, o material laminado aumenta de comprimento e largura simultaneamente, enquanto a espessura é reduzida.

Equipamento: Dois ou quatro rolos laminadores, diversos rolos laminadores, rolos laminadores planetários.

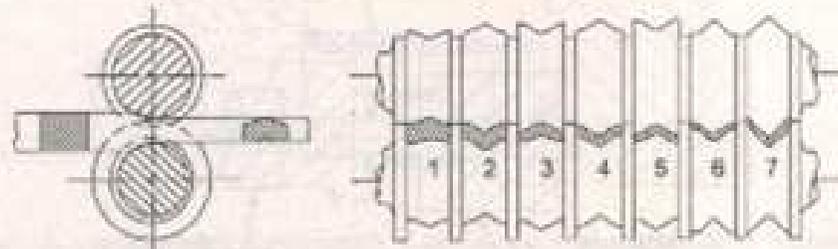
Materiais: Aços carbono e ligados, ligas de alumínio, cobre, titânio e níquel.

Variações: Laminação de tiras, laminação de placas, lingotes, laminação com tempera.

Aplicações: Tiras, chapas e placas.

Figura 2-15 Laminação de chapas.

Laminação de longos/perfis



Definição: Neste processo de conformação, a quente ou a frio, a seção transversal do material é reduzida e conformada simultaneamente através da passagem por uma série progressiva de rolos rotativos até o perfil final desejado.

Equipamento: Dois rolos rotativos.

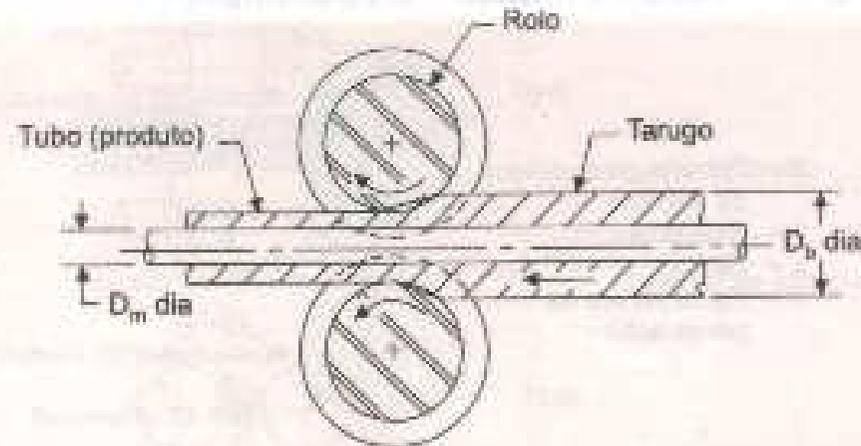
Materiais: Aços carbono e ligados, aços ferramenta, aços inoxidáveis das séries 200 e 400; superligas, tais como inconel, Hastelloy-X, Waspaloy e A-286; materiais não-ferrosos, tais como titânio e ligas de cobre.

Variações: Laminação de forma.

Aplicações: Componentes estruturais, tais como seções T, U e L, seções de aerofólios para pás de turbinas, ventiladores, hélices etc.

Figura 2.16 Laminação de perfis.

Laminação de tubos



Definição: É o processo de conformação no qual a seção transversal e/ou diâmetro de tubos são reduzidos, através da passagem deste por rolos com acionamento próprio.

Equipamento: Dois rolos laminadores.

Materiais: Aços carbono e ligados, ligas de cobre e alumínio.

Variações: Laminação de tubos com ou sem madril.

Aplicações: Tubos sem costura para diversas aplicações na indústria.

Figura 2.17 Laminação de tubos.

Laminação de tubos (1)



Definição: Neste processo de conformação a quente, uma seção oca é formada através da rotação periférica de um tarugo contra um mandril com ponta. O tarugo é movido por um par de rolos cônicos montados com eixos longitudinais reversos. A força de atrito entre os rolos e o tarugo produz movimentos de rotação e avanço longitudinal do tarugo contra a ponta do mandril.

Equipamento: Rolos de laminação rotativa de tubos.

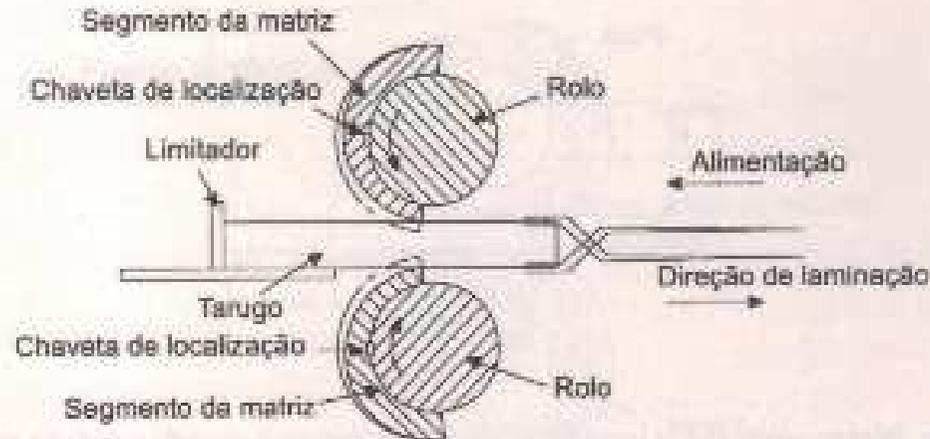
Materiais: Aços carbono e ligados.

Variações: Processo Mannesman™ de laminação a mandril de tubos sem costura.

Aplicação: Fabricação de tubos sem costura.

Figura 2.19 Laminação a mandril de tubos.

Laminação de longos/forjamento



Definição: Neste processo, a forma desejada é produzida através de laminação de um tarugo quente entre dois rolos contendo o perfil apropriado na forma de sulcos.

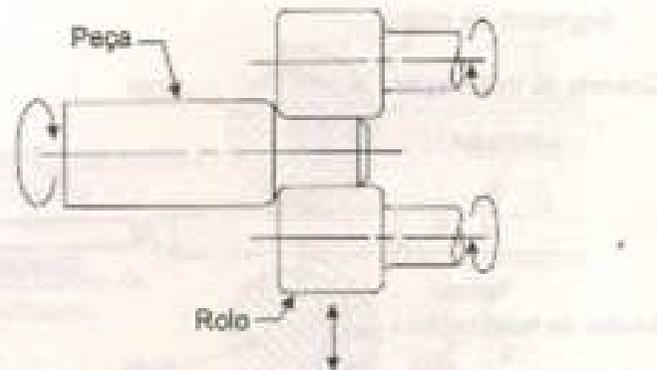
Equipamento: Rolos laminadores redutores.

Materiais: Aços carbono e ligados, ligas de alumínio.

Aplicações: Pré-formados para forjamento de componentes esbeltos.

Figura 2.21 Laminação/forjamento.

Laminação superficial



Definição: Neste processo, a superfície do componente é alisada e polida através da laminação desta por dois rolos que são pressionados radialmente e movido axialmente. Desta forma obtém-se uma superfície com tensão superficial de compressão, melhorando sua resistência à fadiga.

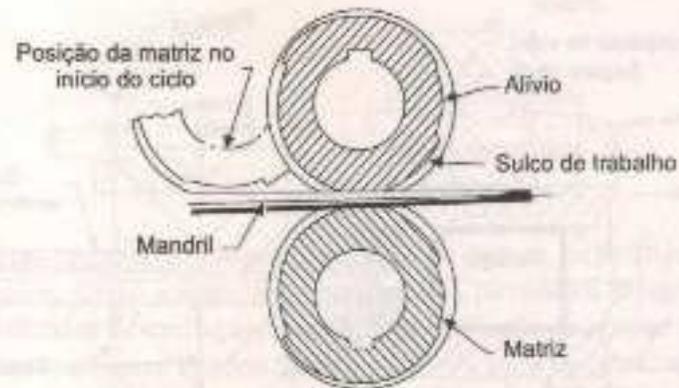
Equipamento: Máquina de laminação superficial, tornos com dispositivos especiais.

Materiais: Aços carbono e ligados, ligas de alumínio e latões.

Aplicação: Polimentos superficiais em eixos e superfícies de rolamento e raios de concordância.

Figura 2.23 Laminação superficial.

Laminação oscilante de tubos



Definição: Neste processo, a área da seção transversal de um tubo é reduzida através da laminação deste sobre uma mandril cônico e usando rolos semicirculares com sulcos também cônicos. Estes rolos não giram, mas oscilam, e o mandril com o tubo é que rotaciona entre os movimento de oscilação dos rolos laminadores, movendo-se à frente simultaneamente.

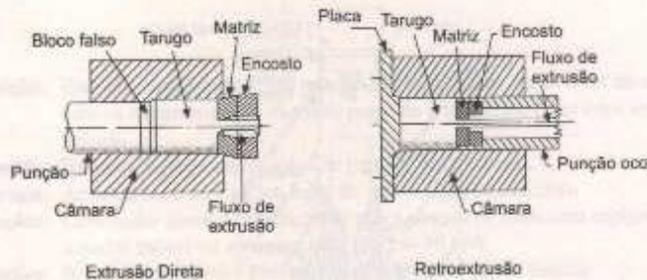
Equipamento: Rolos laminadores para laminação progressiva de tubos, redutor de tubos por laminação do tipo "HPTR™".

Materiais: Aços carbono e ligados, ligas de titânio, tântalo e nióbio.

Aplicações: Largamente empregado em processos intermediários entre a extrusão e a trefilação final, ou como operação final em tubos.

Figura 2.25 Laminação oscilante de tubos.

Extrusão a quente



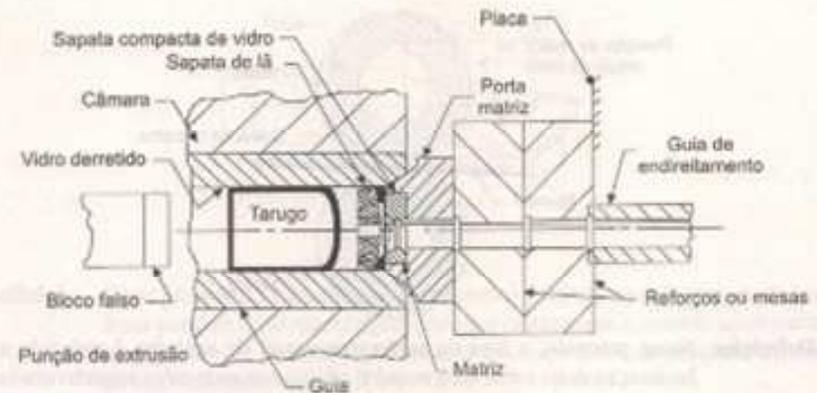
Definição: Neste processo, o tarugo aquecido, com uma determinada seção transversal, é extrudado contra o orifício de uma matriz sem nenhuma lubrificação, quer seja no tarugo ou na matriz. A extrusão pode ser direta, quando acontece na direção de movimento do punção, ou retroextrusão, quando a extrusão é em direção oposta.

Equipamento: Prensa hidráulica.

Materiais: Ligas de cobre, chumbo, alumínio, magnésio, zinco.

Aplicação: Extrusão de barras, tubos e forma complexas.

Figura 2.26 Extrusão a quente sem lubrificação.



Definição: O tarugo aquecido é prensado contra a matriz, usando uma forma qualquer de lubrificação para obter o produto de determinada forma geométrica.

Equipamento: Pressas hidráulicas ou mecânicas.

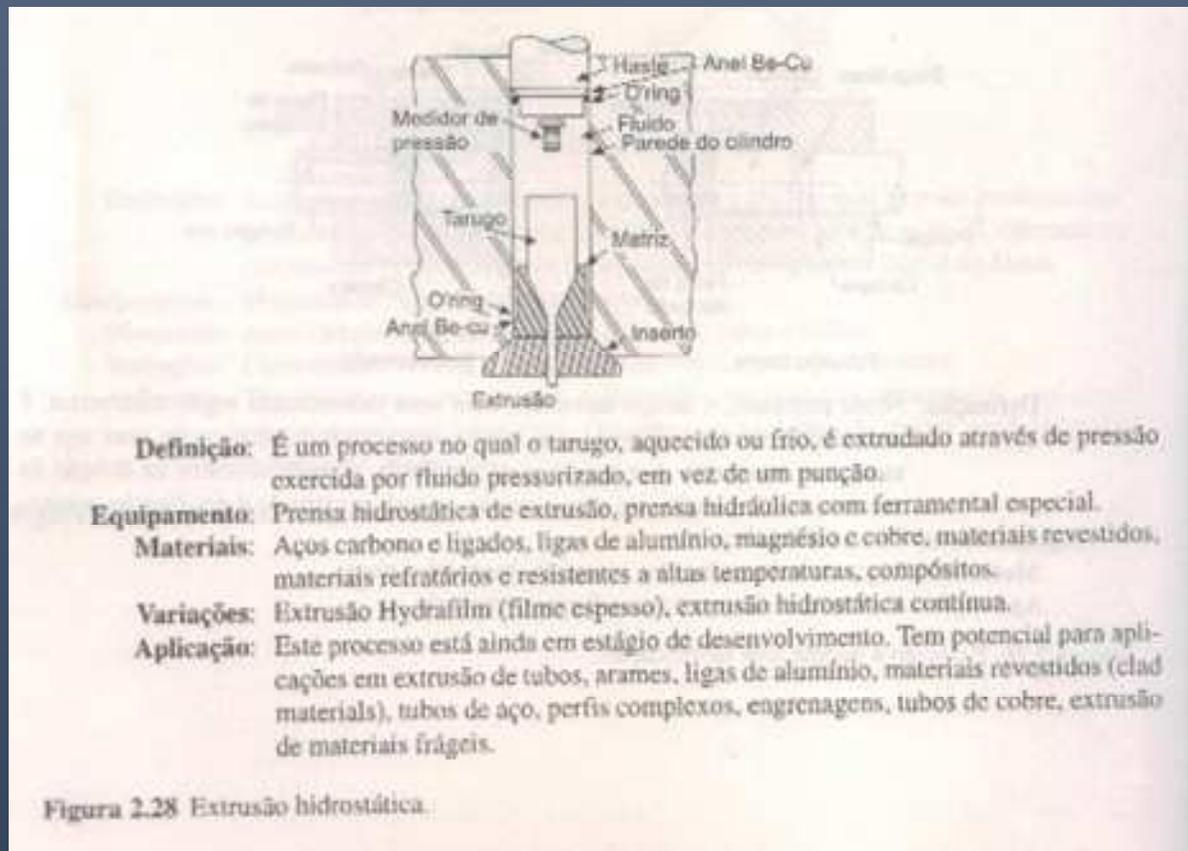
Materiais: Aços carbono ou ligados, ligas de titânio, berílio, nióbio, tântalo, tungstênio e molibdênio, superligas de níquel ou cobalto.

Variações: *Sejournet process*, extrusão com graxas grafitadas.

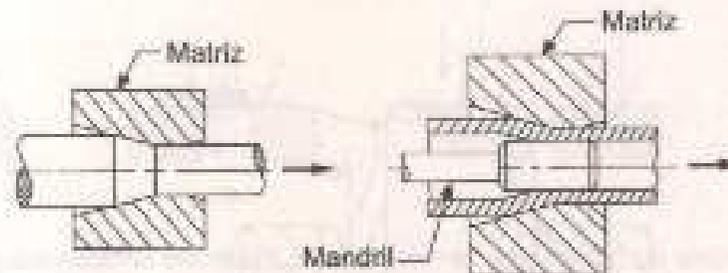
Aplicações: Extrusão de barras, tubos e outras seções transversais complexas.

Figura 2.27 Extrusão direta a quente lubrificada.

Extrusão hidrostática



Trefilação



Definição: É um processo empregado para redução de área, ou perfil, de secção transversal de barras, tubos, arames, a quente ou a frio, puxando o tarugo através de um orifício.

Equipamento: Bancadas de trefilação, máquinas de trefilação de arames.

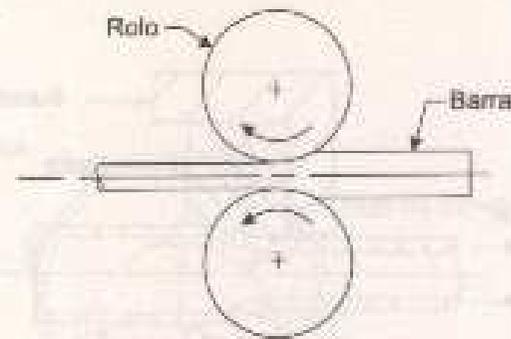
Materiais: Aços carbono e ligados, aços inoxidáveis, ligas de cobre, alumínio, titânio, nióbio, tungstênio, tântalo e cobalto, berílio, Zircaloy-2™, TD níquel™, cromo.

Variações: Trefilação de barras, trefilação de arames, trefilação de tubos com mandril estacionário ou com espiga flutuante, trefilação de perfis.

Aplicações: Arames redondos ou com seções complexas, barras, tubos.

Figura 2.29 / Trefilação.

Trefilação com rolos



Definição: Este processo consiste em reduzir a área da seção transversal de uma barra, tira, tubo ou arame (a quente ou a frio) puxando o tarugo por entre rolos sem acionamento próprio.

Equipamento: Bancada de laminação, rolos de laminação de arames.

Materiais: Aços carbono ou ligados, ligas de cobre, ligas de alumínio.

Variações: *Laminador Steckel*, trefilação de tubos através de rolos com espiga flutuante, com mandril móvel ou sem mandril.

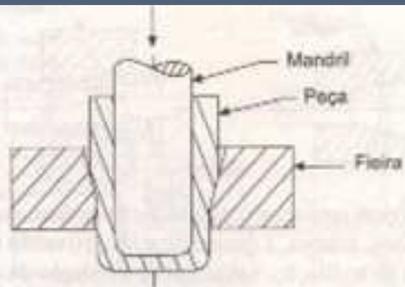
Aplicações: Barras, fitas, tubos e produtos com arames de várias formas.

Figura 2.30 Trefilação com rolos.

Trefilação com rolos



Alteração de espessura de parede de tubos



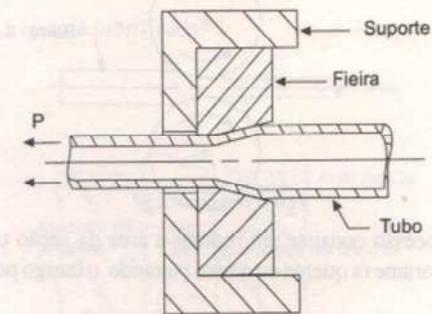
Definição: É um processo no qual a parede de um componente em forma de copo é calibrada ou afinada (a quente ou a frio) forçando-se este por um punção através de uma cavidade (fiação), ou matriz.

Equipamento: Prensa mecânica ou hidráulica.

Materiais: Aços carbono ou ligados, alumínio, ligas de alumínio, titânio.

Aplicações: Peças em forma de copo, tampas para diversos usos.

Figura 2.31 Calibração de parede (Ironing).



Definição: Neste processo, o diâmetro externo de um tubo é trefilado (a quente ou a frio) sem nenhum mandril para suporte no diâmetro interno.

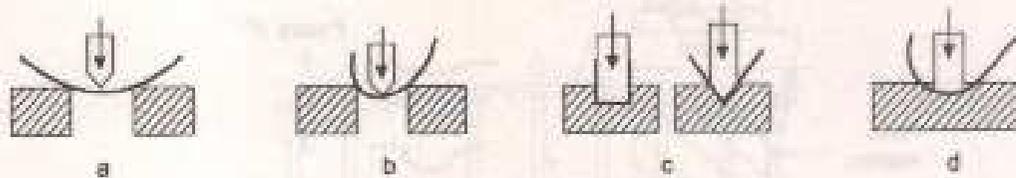
Equipamento: Bancadas de trefilação.

Materiais: Aços carbono ou ligados, aços inoxidáveis, ligas de cobre.

Aplicações: Tubos.

Figura 2.32 Estiramento de tubos.

Dobramento



(a) Dobramento em vazio; (b) curvamento em vazio; (c) dobramento com matriz; (d) arredondamento com matriz.

Definição: Dobramento é um processo de conformação largamente empregado em chapas com seções lineares, angulares, canais ou em forma de chapéus. Há duas formas típicas de dobramento: com ou sem matriz de forma. Na operação com matriz de forma, o componente é suportado por uma cavidade (matriz) fêmea no ângulo desejado. Na segunda forma, o ângulo final é dado pelo limite de movimento vertical do punção.

Equipamento: Prensa viradeira ou dobradeira, mecânica ou hidráulica.

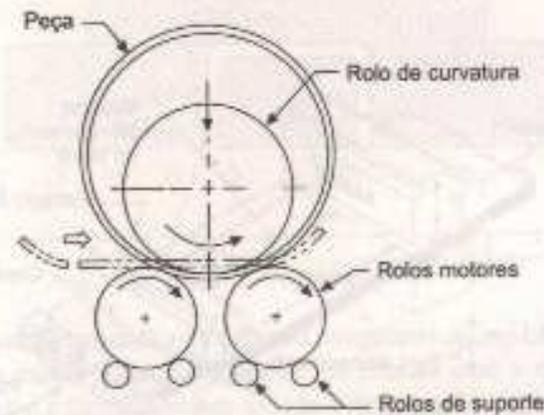
Materiais: Aços carbono ou ligados, ligas de alumínio e titânio e superligas com ferro, níquel e cobalto, ligas de molibdênio, berílio e tungstênio.

Variações: Dobramento com matriz elástica, dobramento de chapas com um lado preso.

Aplicações: Produção de componentes com formas lineares de chapas ou placas.

Figura 2.33 Dobramento.

Calandragem



Definição: Este processo produz uma curvatura na chapa, barra ou outra seção usando três cilindros com distância ajustável.

Equipamento: Máquinas de calandragem (calandras), máquinas de cilindrar, máquinas com rolos em pirâmide.

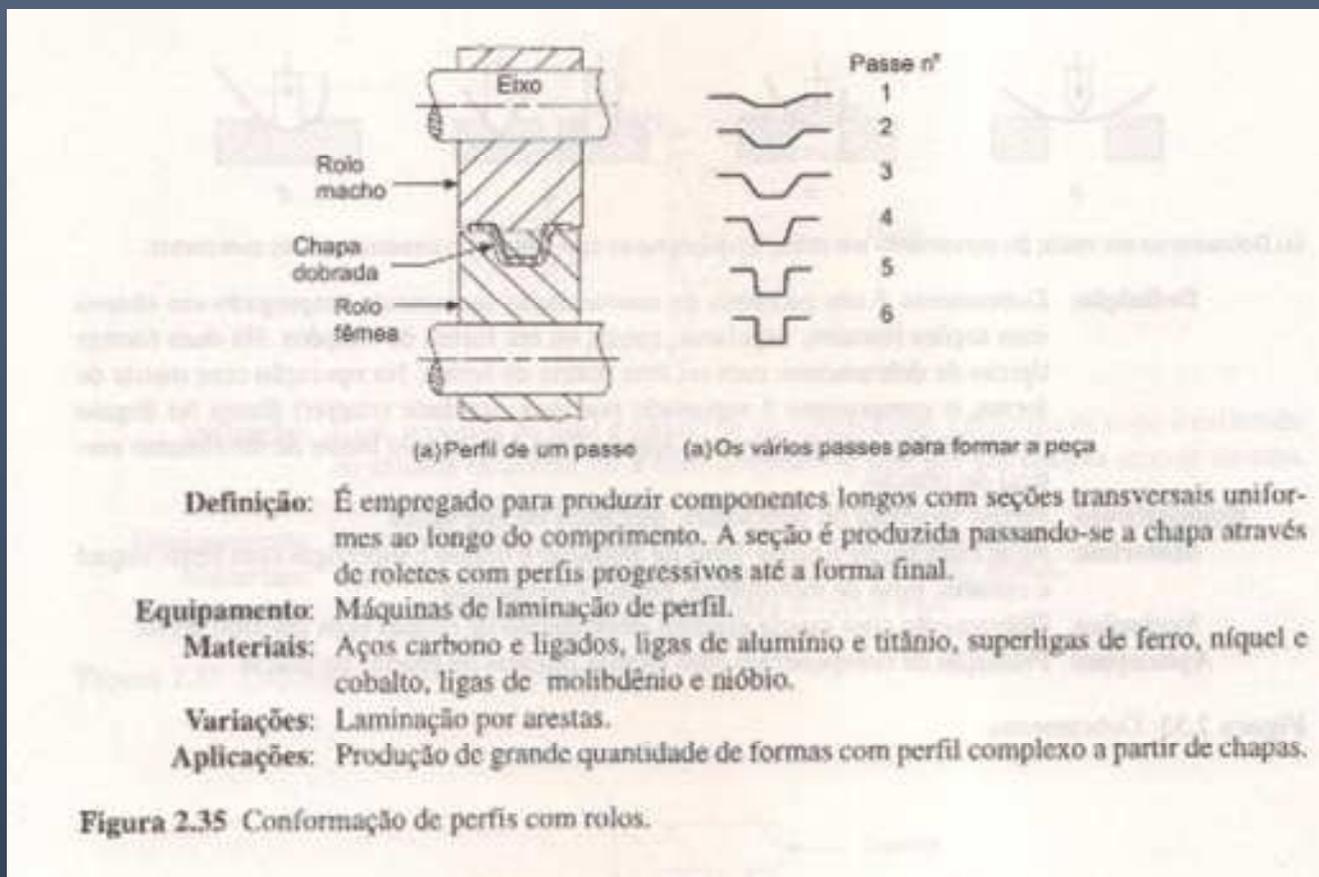
Materiais: Aços carbono e ligados, ligas de alumínio e titânio.

Variações: Roletador de alavancas.

Aplicações: Cilindros para tanques de pressão; tanques de aquecedores; tubos nervurados; cones para bicas de alimentação; seções regulares e irregulares para estruturas de submarinos, aviões e reatores nucleares.

Figura 2.34 Calandragem.

Conformação de perfil com rolos (roll forming)



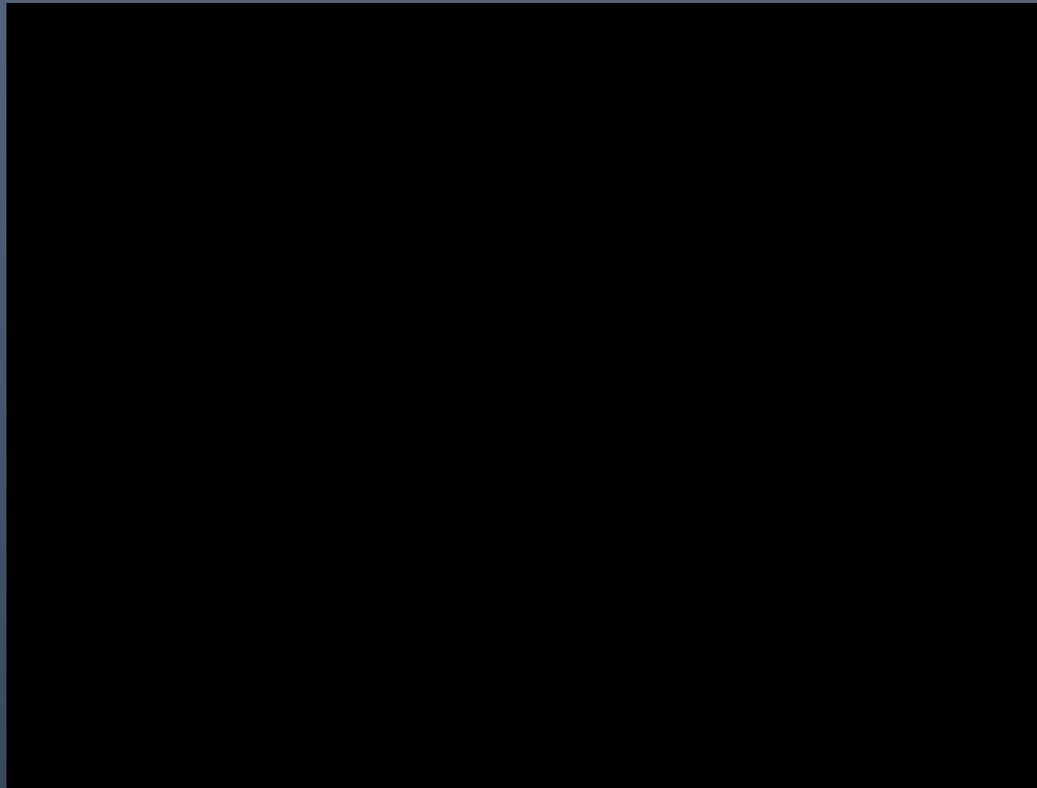
Conformação de perfil com rolos (roll forming)



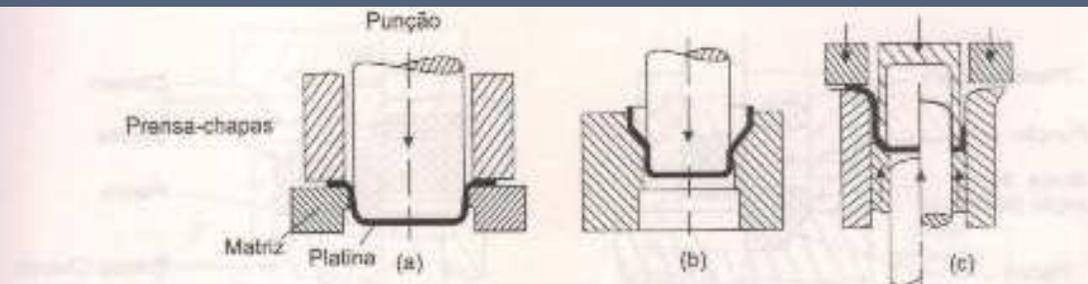
DALARNA
UNIVERSITY

www.du.se

Roll forming



Estampagem/embutimento



(a) Primeiro repuxo; (b) segundo repuxo; (c) repuxo inverso.

Definição: Neste processo de conformação, a chapa (quente ou fria) normalmente prensada nas bordas por prensa-chapas é forçada por um punção através de uma matriz para formar um recesso profundo contendo uma parede na mesma espessura da chapa original. Este processo é empregado para produzir componentes de forma prismática ou cilíndrica com ou sem flange. Componentes em forma de copo ou tubo podem ser obtidos por sucessivas operações de repuxo, que também podem calibrar o diâmetro externo.

Equipamento: Prensa hidráulica ou mecânica, prensas transfer.

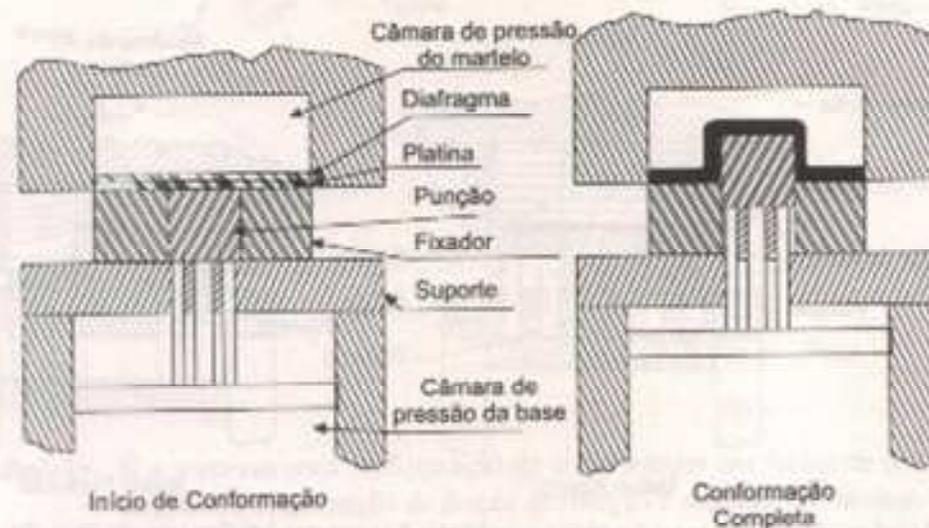
Materiais: Aços-carbono e ligados, ligas de alumínio e titânio, superligas de ferro, níquel e cobalto, ligas de molibdênio, nióbio e tungstênio.

Variações: Repuxo profundo com múltiplos punções, repuxo com punção de contorno rígido, conformação de horracha com ou sem prensa-chapas (processo Marform), conformação hidromecânica, conformação por explosivos, hidroconformação.

Aplicações: Repuxo de copos fundos e rasos, carcaças, cápsulas de munição, latas.

Figura 2.41 Embutimento profundo.

Hidroconformação



Definição: Neste processo, a platina é presa entre um diafragma, o qual encerra uma câmara com um fluido, e um prensa-chapas. Um punção pressiona a chapa contra a câmara fluidica, conformando a chapa em torno do punção com pressão isostática.

Equipamento: Prensa hidráulica de dupla ação, máquinas especiais.

Materiais: Aços carbono e ligados, ligas de alumínio.

Variações: Técnica Hi-Drawa processo Marform™.

Aplicações: Componentes com recesso profundo, com ou sem flanges.

Figura 2.44 Hidroconformação com diafragma de borracha.

Conformação de degraus/entalhamento

