
CPM - Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção

Mecânica

Outros Processos

Outros Processos

© SENAI/ES, 1999

Este material didático foi preparado pelos técnicos do Centro de Educação Profissional Jerônimo Monteiro.

Coordenação Geral Paulo Sérgio Teles Braga

Elaboração

Revisão

Editoração Núcleo de Comunicação Empresarial

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

Av. Nossa Senhora da Penha, 2053, Ed. Guilherme Varejão, Santa Lúcia - Vitória/ES

CEP 29045-401 - Caixa Postal 5128

Telefax: (027) 334-5600

Sumário

FUNDIÇÃO	4
INTRODUÇÃO.....	4
QUE PROCESSO É ESSE	4
LEVANDO VANTAGEM EM TUDO	6
FUNDIÇÃO PASSO `A PASSO.....	7
CARACTERÍSTICAS E DEFEITOS DOS PRODUTOS FUNDIDOS.....	10
LAMINAÇÃO	12
INTRODUÇÃO.....	12
UMA GRANDE AJUDA: AS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.....	12
CONFORMAÇÃO POR LAMINAÇÃO	14
ENCRUAMENTO	15
A MÁQUINA DE LAMINAR CHAMA-SE	15
CARACTERÍSTICAS E DEFEITOS DOS PRODUTOS LAMINADOS.....	19
FORJAMENTO	22
INTRODUÇÃO.....	22
MARTELANDO, MARTELANDO	22
MATRIZ ABERTA OU FECHADA?	24
DEFEITOS DOS PRODUTOS FORJADOS	27
ESTAMPAGEM	30
INTRODUÇÃO.....	30
ESTAMPAGEM	30
ESTAMPAGEM PROFUNDA.....	38
EXTRUSÃO	41
INTRODUÇÃO.....	41
EXTRUSÃO: O MAIOR EMPURRA EM PURRA.....	41
ETAPAS DO PROCESSO	42
TIPOS DE PROCESSOS DE EXTRUSÃO	44
DEFEITOS DA EXTRUSÃO	45
TREFILAÇÃO	48
INTRODUÇÃO.....	48
ETAPAS DO PROCESSO	49
CARACTERÍSTICAS E DEFEITOS DOS OPRODUTOS TREFILADOS.....	50

Fundição

Introdução

Um bom começo

Quando se fala em Mecânica, o que vem à sua cabeça? Certamente máquinas. Grandes, pequenas, complexas, simples, automatizadas ou não, elas estão por toda a parte. E se integraram às nossas vidas como um complemento indispensável que nos ajuda a vencer a inferioridade física diante da natureza.

No caso do relacionamento do homem com os metais que já dura uns 6 mil anos. Você pode pensar nos conjuntos mecânicos que você conhece sem metais? Por enquanto não, certo? Todavia, o aperfeiçoamento desses conjuntos só se tornou possível com o domínio de dois conhecimentos: a tecnologia dos materiais e os processos de fabricação.

Sobre a tecnologia dos materiais, você já deve ter estudado um módulo chamado de **materiais**. Quanto aos processos de fabricação, vamos começar nosso estudo agora. Que tal, então, imaginar que você tenha de fabricar alguma coisa de metal. Você tem idéia por onde começar? Não? Pois vamos dar uma dica: vamos começar pela **fundição**.

"Como?!", você deve estar perguntando, "O que isso tem a ver com mecânica?" Mais do que você imagina. E nesta aula você vai ver por quê.

Que processo é esse?

Os processos de transformação dos metais e ligas metálicas em peças para utilização em conjuntos mecânicos são inúmeros e variados: você pode **fundir, conformar mecanicamente, soldar, utilizar a metalurgia do pó e usinar** o metal e, assim, obter a peça desejada. Evidentemente, vários fatores devem ser considerados quando se escolhe o processo de fabricação. Como exemplo, podemos lembrar: o formato da peça, as exigências de uso, o material a ser empregado, a e assim por diante.

Dentre essas várias maneiras de trabalhar o material metálico, a fundição se destaca, não só por ser um dos processos mais antigos, mas também porque é um dos mais versáteis, principalmente quando se considera os diferentes formatos e tamanhos das peças que se pode produzir por esse processo.

Mas, afinal, o que é fundição? É o processo de fabricação de peças metálicas que consiste essencialmente em encher com metal líquido a cavidade de um molde com formato e medidas correspondentes aos da peça a ser fabricada.



A fundição é um processo de fabricação inicial, porque permite a obtenção de peças com formas praticamente definitivas, com mínimas limitações de tamanho, formato e complexidade, e também é o processo pelo qual se fabricam os **lingotes**.

É a partir do lingote que se realizam os processos de conformação mecânica para a obtenção de chapas, placas, perfis etc.

Sempre que se fala em fundição, as pessoas logo pensam em ferro. Mas esse processo não se restringe só ao ferro, não. Ele pode ser empregado com os mais variados tipos de ligas metálicas, desde que elas apresentem as propriedades adequadas a esse processo, como por exemplo, **temperatura de fusão e fluidez**.

temperatura de fusão – é a temperatura em que o metal passa do estado sólido para o estado líquido.

Fluidez – é a capacidade de uma substância de escoar com maior ou menor facilidade. Por exemplo, a água tem mais fluidez que o óleo porque escorre com mais facilidade.

A fundição começou a ser usada pelo homem mais ou menos uns 3000 a.c. . Fundiu-se primeiro o cobre, depois o bronze, e, mais recentemente, o ferro, por causa da dificuldade em alcançar as temperaturas necessárias para a realização do processo. A arte cerâmica contribuiu bastante para isso, pois gerou as técnicas básicas para a execução dos moldes e para o uso controlado do calor já que forneceu os materiais refratários para a construção de fornos e cadinhos.

Sem dúvida, as descobertas da Revolução Industrial, como os fornos Cubilô os fornos elétricos, e a mecanização do processo, muito contribuíram para o desenvolvimento da fundição do ferro e, conseqüentemente, do aço. A maioria dos equipamentos de fundição foi concebida basicamente nesse período, quando surgiram também os vários métodos de fundição centrífuga. Ao século XX coube a tarefa de aperfeiçoar tudo isso.

Para entender melhor a importância disso, basta lembrar que a produção de máquinas em geral e de máquinas-ferramenta, máquinas operatrizes e agrícolas é impensável sem a fundição.

Exercício 1

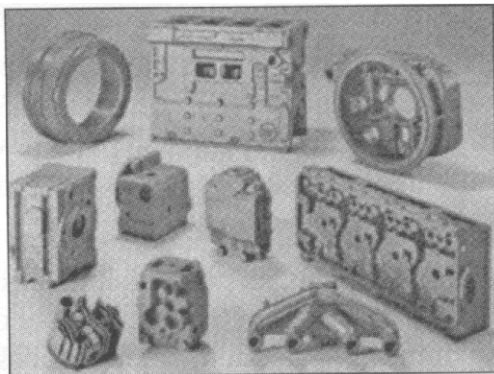
Responda às seguintes perguntas.

1. que é fundição?
2. Comparando o óleo com a água, qual possui maior fluidez?
3. Por que a fluidez é uma propriedade importante para o processo de fundição?
4. Sabendo que a temperatura de fusão do aço é de aproximadamente 1600°C e a do ferro fundido é de aproximadamente 1200°C, qual dos dois é melhor para a produção de peças fundidas?

Levando vantagem em tudo

Estudando este módulo sobre processos de fabricação mecânica, você vai perceber que esses utilizam sempre produtos semi-acabados, ou seja, chapas, barras, perfis, tubos, fios e arames, como matéria-prima. Quer dizer, existem várias etapas de fabricação que devem ser realizadas antes que o material metálico se transforme em uma peça.

Por outro lado, a fundição parte diretamente do metal líquido e, no mínimo, economiza etapas dentro do processo de fabricação. Vamos, então, ver mais algumas vantagens desse processo.



- a) As peças fundidas podem apresentar formas externas e internas desde as mais simples até as bem complicadas, com formatos impossíveis de serem obtidos por outros processos.
- b) As peças fundidas podem apresentar dimensões limitadas somente pelas restrições das instalações onde são produzidas. Isso quer dizer que é possível produzir peças de poucos gramas de peso e com espessura de parede de apenas alguns milímetros ou pesando muitas toneladas.
- c) A fundição permite um alto grau de automatização e, com isso, a produção rápida e em série de grandes quantidades de peças.

- d) As peças fundidas podem ser produzidas dentro de padrões variados de acabamento (mais liso ou mais áspero) e tolerância dimensional (entre $\pm 0,2$ mm e ± 6 mm) em função do processo de fundição usado. Por causa disso, há uma grande economia em operações de usinagem.
- e) A peça fundida possibilita grande economia de peso, porque permite a obtenção de paredes com espessuras quase ilimitadas.

Essas vantagens demonstram a grande diversidade de peças que podem ser produzidas por esse processo e que os outros não conseguem alcançar. Para você ter uma idéia, um automóvel não poderia sair do lugar se não fosse o motor. Nele, a maioria das peças é feita por meio de processos de fundição.

Exercício 2 .

Responda às seguintes perguntas.

1. Por que o processo de fundição é mais vantajoso quando comparado com outros processos de fabricação?
2. Escreva **V** para as sentenças corretas ou **F** para as sentenças erradas mostradas a seguir.
 - a) () Na fundição, a produção de peças é demorada e sempre em pequena, quantidade.
 - b) () As medidas das peças fundidas podem ter tolerâncias entre 0,2 e 6 mm.
 - c) () As peças fundidas podem ter tamanhos pequenos ou muito grandes e formatos simples ou complicados.
 - d) () A fundição só produz peças com acabamento muito áspero.

Fundição passo-a-passo

A matéria-prima metálica para a produção de peças fundidas é constituída pelas ligas metálicas ferrosas (ligas de ferro e carbono) e não-ferrosas (ligas de cobre, alumínio, zinco e magnésio).

O processo de fabricação dessas peças por meio de fundição pode ser resumido nas seguintes operações:

1. **Confeção do modelo** - Essa etapa consiste em construir um modelo com o formato aproximado da peça a ser fundida. Esse modelo vai servir para a construção do molde e suas dimensões devem prever a contração do metal quando ele se solidificar bem como um eventual sobremetal para posterior usinagem da peça. Ele é feito de madeira, alumínio, aço, resina plástica e até isopor.
2. **Confeção do molde** - O molde é o dispositivo no qual o metal fundido é colocado para que se obtenha a peça desejada. Ele é feito de material refratário composto de areia e aglomerante. Esse material é moldado sobre o modelo que, após retirado, deixa uma cavidade com o formato da peça a ser fundida.
3. **Confeção dos machos** - Macho é um dispositivo, feito também de areia, que tem a finalidade de formar os vazios, furos e reentrâncias da peça. Eles são colocados nos moldes antes que eles sejam fechados para receber o metal líquido.
4. **Fusão** – Etapa em que acontece a fusão do metal.
5. **Vazamento** – O vazamento é o enchimento do molde com metal líquido.
6. **Desmoldagem** - Após determinado período de tempo em que a peça se solidifica dentro do molde, e que depende do tipo de peça, do tipo de molde e do metal (ou liga metálica), ela é retirada do molde (desmoldagem) manualmente ou por processos mecânicos.
7. **Rebarbação** - A rebarbação é a retirada dos **canais de alimentação**¹, **massalotes**² e rebarbas que se formam durante a fundição. Ela é realizada quando a peça atinge temperaturas próximas às do ambiente.
8. **Limpeza** – A limpeza é necessária porque a peça apresenta uma série de incrustações de areia usada na confecção do molde. Geralmente ela é feita por meio de jatos abrasivos.

Canais de alimentação - são as vias, ou condutos, por onde o metal líquido passa para chegar ao molde.

Massalote – é uma espécie de reserva de metal que preenche os espaços que vão se formando à medida que a peça vai solidificando e se contraindo.



Essa seqüência de etapas é a que normalmente é seguida no processo de fundição por gravidade em areia, que é o mais utilizado. Um exemplo bem comum de produto fabricado por esse processo é o bloco dos motores de automóveis e caminhões.

O processo de fundição por gravidade com moldagem em areia apresenta variações. As principais são:

- fundição com moldagem em areia aglomerada com argila;
- fundição com moldagem em areia aglomerada com resinas.

A fundição por gravidade usa também moldes cerâmicos. Esse processo recebe o nome de fundição de precisão.

Existe ainda um outro processo de fundição por gravidade que usa moldes metálicos. Quando são usados moldes metálicos, não são necessárias as etapas de confecção do modelo e dos moldes, por nós descritas. Outro processo que usa molde metálico é o processo de **fundição sob pressão**.

Pelas informações desta parte da lição, você já percebeu a importância da fundição para a mecânica. É uma etapa fundamental de todo o processo de produção e dele depende muito a qualidade que o produto terá ao chegar ao consumidor.

Exercício 4

Relacione a coluna **A** com a coluna **B**.

Coluna A

- a. () Retirada de canais, massalotes e rebarbas da peça.
- b. () O metal é derretido em fornos especiais.
- c. () Retirada da peça sólida do molde.
- d. () O modelo é construído com madeira, metal ou resina.
- e. () O metal líquido é despejado no molde.
- f. () Etapa em que o molde é construído.
- g. () Etapa em que os machos são construídos.
- h. () Etapa em que a peça é jateada e limpa.

Coluna B

- 1. Confecção do molde
- 2. Confecção do macho
- 3. Confecção do modelo
- 4. Fusão
- 5. Vazamento
- 6. Desmoldagem
- 7. Rebarbação
- 8. Limpeza

Exercício 5

Responda às seguintes perguntas.

- Como se chamam os dutos que conduzem o metal líquido para o interior do molde?
- Qual é o nome do reservatório que serve para suprir a peça com metal à medida que ele se resfria e contrai?
- Escreva os nomes dos outros processos de fundição citados nesta parte da aula.

Características e defeitos dos produtos fundidos

Quando um novo produto é criado, ou quando se quer aperfeiçoar algo que já existe, o departamento de engenharia geralmente tem alguns critérios que ajudam a escolher o tipo de processo de fabricação para as peças projetadas.

No caso da fundição, vários fatores podem ser considerados:

- formato e complexidade da peça
- tamanho da peça
- quantidade de peças a serem produzidas
- matéria-prima metálica que será usada

Além disso, as peças fundidas apresentam características que estão estreitamente ligadas ao processo de fabricação como por exemplo:

- acréscimo de sobremetal, ou seja, a camada extra de metal que será desbastada por processo de usinagem.
- furos pequenos e detalhes complexos não são feitos na peça porque dificultam o processo de fundição, embora apareçam no desenho. Esses detalhes são depois executados também por meio de usinagem.
- arredondamento de cantos e engrossamento das paredes da peça para evitar defeitos como trincas e melhorar o preenchimento com o metal líquido.

Como em todo o processo, às vezes, alguma coisa "sai errado" e aparecem os defeitos. Alguns defeitos comuns das peças fundidas são:

- inclusão da areia do molde nas paredes internas ou externas da peça. Isso causa problemas de usinagem: os grãos de areia são abrasivos e, por isso, estragam a ferramenta. Além disso, causam defeitos na superfície da peça usinada.
- defeitos de composição da liga metálica que causam o aparecimento de partículas duras indesejáveis no material. Isso também causa desgaste da ferramenta de usinagem.

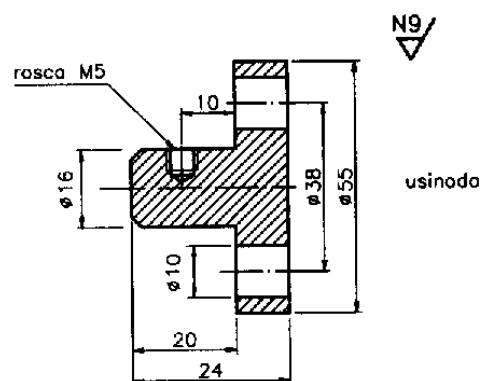
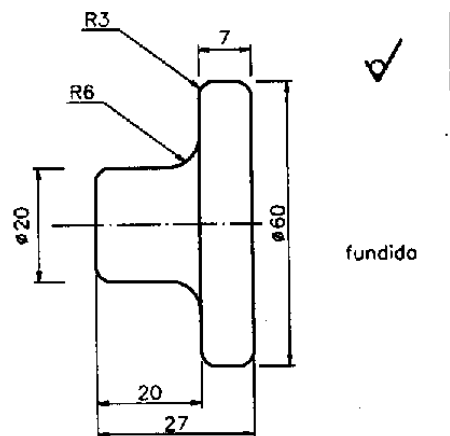
- rechupe, ou seja, falta de material devido ao processo de solidificação, causado por projeto de massalote malfeito.
- porosidade, ou seja, a existência de "buraquinhos" dentro da peça. Eles se originam quando os gases que existem dentro do metal líquido não são eliminados durante o processo de vazamento e solidificação. Isso causa fragilidade e defeitos superficiais na peça usinada.

Esta aula termina aqui. Nela você teve uma noção básica e geral sobre o que é fundição e como se obtêm as peças fundidas. Essa é uma etapa importante no processo de fabricação de peças para conjuntos mecânicos e pode ser que sobre para você usinar uma peça dessas, não é mesmo? Agora dê uma repassada na aula e faça os exercícios.

Exercício 6

Resolva às seguintes questões.

- a) Ao lado são apresentados dois desenhos: o primeiro de uma peça acabada, já usinada, e o segundo, da mesma peça, porém apenas fundida. Use os conhecimentos que você adquiriu nesta aula e responda porque a peça fundida teve que ser modificada e qual a finalidade de cada modificação feita.
- b) Se você estivesse usinando uma peça fundida e verificasse a presença de muitos buraquinhos, como você chamaria esse defeito? Qual sua causa?
- c) Se na usinagem você notar que a ferramenta está desgastando muito rapidamente, qual o defeito de fundição que estaria causando esse problema?



Laminação

Introdução

E depois da Fundição ?

Painéis, fogões, geladeiras, fornos de microondas, microcomputadores, automóveis, máquinas agrícolas, trens, navios, aviões, naves espaciais, satélites. Desde o produto mais simples até o mais sofisticado, todos dependem de processos de fabricação mecânica para existir. E eles são muitos. E se encadeiam para que o produto seja fabricado.

Por mais simples que a peça seja, é sempre necessário usar máquinas e realizar mais de uma operação para produzi-la. Começando pela fundição, seguindo pelos processos de conformação mecânica como a laminação e a trefilação, passando pelo torneamento, pela usinagem, as peças vão sendo fabricadas e reunidas para formar os conjuntos mecânicos sem os quais a vida moderna seria impensável.

E pensando na fundição como início dessa cadeia, a etapa seguinte é, na maioria dos casos, a laminação, um processo de conformação mecânica, que é o assunto desta nossa aula.

Uma grande ajuda: as propriedades dos materiais

Embora sem saber, você já deve ter conformado um metal em algum momento da sua vida. Aí vem a pergunta: "Mas, como? !". É simples. Ao dobrar um pedaço de arame, um fio de cobre, ou um pedaço de metal qualquer, ao martelar um prego, você aplicou esforços sobre o material e, desse esforço, resultou uma mudança de forma.

Em um ambiente industrial, a conformação mecânica é qualquer operação durante a qual se aplicam esforços mecânicos em metais, que resultam em uma mudança permanente em suas dimensões.

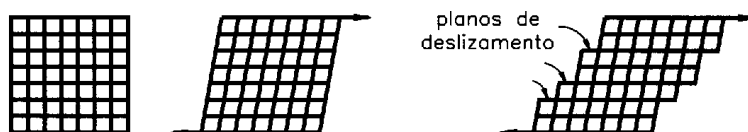
Para a produção de peças de metal, a conformação mecânica inclui um grande número de processos: laminação, forjamento, trefilação, extrusão, estampagem...Esses processos têm em comum o fato de que, para a produção da peça, algum esforço do tipo compressão, tração, dobramento, tem que ser aplicado sobre o material.

A segunda pergunta que você certamente fará é: "Mas, como é possível que materiais tão rígidos como o aço, ou o ferro, possam ser comprimidos, puxados e dobrados para adquirirem os formatos que o produto necessita?".

Bem, você deve se lembrar de que, quando estudamos as propriedades dos materiais, citamos suas propriedades mecânicas e dentre elas, falamos da elasticidade e da plasticidade. Dissemos que a elasticidade é a capacidade que o material tem de se deformar, se um esforço é aplicado sobre ele, e de voltar à forma anterior quando o esforço pára de existir. A plasticidade, por sua vez, permite que o material se deforme e mantenha essa deformação, se for submetido a um esforço de intensidade maior e mais prolongada. Essas duas propriedades são as que permitem a existência dos processos de conformação mecânica.

Eles também são ajudados pelo reticulado cristalino dos metais, que está associado ao modo como os átomos dos metais estão agrupados.

Materiais que têm estrutura CFC, ou seja, cúbica de face centrada, têm uma forma de agrupamento atômico que permite o deslocamento de camadas de átomos sobre outras camadas. Por isso, eles se deformam mais facilmente do que os que apresentam os outros tipos de arranjos. Isso acontece porque, nessa estrutura, os planos de escorregamento permitem que camadas de átomos "escorreguem" umas sobre as outras com mais facilidade.



Como exemplo de metais que apresentam esse tipo de estrutura após a solidificação, temos o cobre e o alumínio. Por isso, esses metais são mais fáceis de serem trabalhados por conformação mecânica. Prova disso é que o alumínio pode ser laminado até a espessura de uma folha de papel. Esse é o caso daqueles rolos de folhas de papel-alumínio que você compra no supermercado.

Exercício 1

Responda às seguintes perguntas.

- Quais são as propriedades que permitem que os metais sejam conformados mecanicamente?
- De que forma o reticulado cristalino contribui para a deformação dos metais?
- c) Dê um exemplo de material metálico com estrutura CFC e que não esteja citado no texto.
- d) d) você acha que o material metálico que você citou pode ser conformado mecanicamente? Por quê?

Conformação por laminação

A laminação é um processo de conformação mecânica pelo qual um lingote de metal é forçado a passar por entre dois cilindros que giram em sentidos opostos, com a mesma velocidade. Assim consegue-se a redução da espessura do metal a cada passe de laminação, que é como se chama cada passagem do metal pelos cilindros de laminação.

Ao passar entre os cilindros, o material sofre deformação plástica. Por causa disso, ele tem uma redução da espessura e um aumento na largura e no comprimento. Como a largura é limitada pelo tamanho dos cilindros, o aumento do comprimento é sempre maior do que o da largura.

Se você quer saber como isso funciona, pare numa pastelaria e veja como o pasteleiro estica a massa. Observe como, a cada passada, ele reajusta a distância entre os cilindros. Veja que a massa fica cada vez mais comprida e mais fina. Aproveite e coma um pastel e tome um caldo de cana geladinho. Não existe nada mais gostoso...

A laminação pode ser feita a quente ou a frio. Ela é feita a quente quando o material a ser conformado é difícil de laminar a frio ou quando necessita de grandes reduções de espessura. Assim, o aço, quando necessita de grandes reduções, é sempre laminado a quente porque, quando aquecido, sua estrutura cristalina apresenta a configuração CFC que, como já vimos, se presta melhor à laminação. Além disso, nesse tipo de estrutura, as forças de coesão são menores, o que também facilita a deformação.

A laminação a frio se aplica a metais de fácil conformação em temperatura ambiente, o que é mais econômico. É o caso do cobre, do alumínio e de algumas de suas ligas.

A laminação a frio também pode ser feita mesmo em metais cuja resistência à deformação é maior. São passes rápidos e brandos cuja finalidade é obter maior precisão nas dimensões das chapas. Em alguns casos, a dureza e a resistência do material melhoram já que, nesse caso, ele fica "encruado". Quando se necessita de precisão dimensional e ductilidade, a chapa laminada a frio passa por um tratamento térmico chamado recozimento.

Sendo a quente ou a frio, a laminação parte dos lingotes que, passando pelos laminadores, pode se transformar em produtos de uso imediato como trilhos vigas e perfis. Pode se transformar também em produtos intermediários que serão usados em outros processos de conformação mecânica.

É o caso de tarugos que passarão por forjamento, extrusão e trefilação e das chapas que serão estampadas para a fabricação de automóveis, ônibus, fogões, geladeiras...

Encruamento

É o resultado de uma mudança na estrutura do metal, associada a uma deformação permanente dos grãos do material, quando este é submetido à deformação a frio. O encruamento aumenta a dureza e a resistência mecânica.

Exercício 2

Responda às seguintes questões.

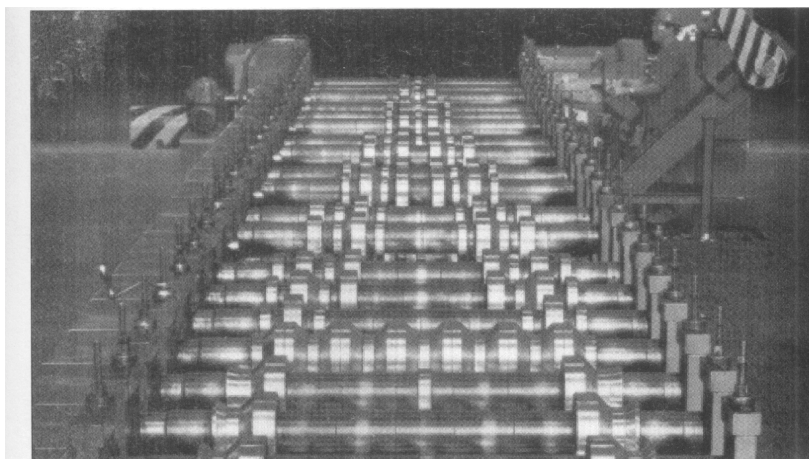
- a) O que é laminação?
- b) Qual a diferença entre um produto final e um produto intermediário? Dê exemplos.
- c) Por que o aço é sempre aquecido para ser laminado?

A máquina de laminar chama-se...

Isso mesmo, caro aluno, laminador. O laminador é o equipamento que realiza a laminação.

Mas, não é só de laminadores que a laminação é composta. Um setor de laminação é organizado de tal modo que a produção é seriada e os equipamentos são dispostos de acordo com a seqüência de operações de produção, na qual os lingotes entram e, ao saírem, já estão com o formato final desejado seja como produto final, seja como produto intermediário.

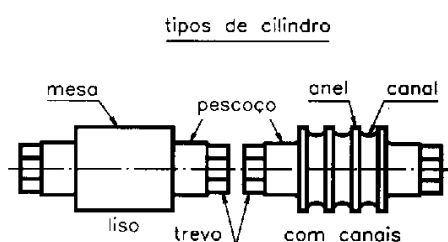
As instalações de uma laminação são compostas por fornos de aquecimento e reaquecimento de lingotes, placas e tarugos, sistemas de roletes para deslocar os produtos, mesas de elevação e basculamento, tesouras de corte e, principalmente, o laminador.



Ele é um conjunto mecânico bem parecido com a máquina do pasteleiro. É composto de:

- **Cadeira** - é o laminador propriamente dito e que contém a gaiola, os cilindros e os acessórios.
- **Gaiola** - estrutura que sustenta os cilindros.

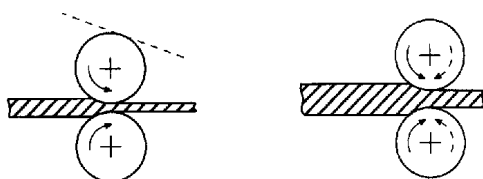
Os cilindros são as peças-chave dos laminadores, porque são eles que aplicam os esforços para deformar o metal. Eles podem ser fundidos ou forjados; são fabricados em ferro fundido ou aço especial, dependendo das condições de trabalho a que eles são submetidos. Podem ser lisos, para a produção de placas e chapas, ou com canais, para a produção de perfis.



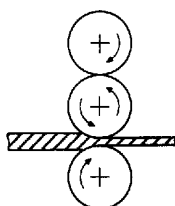
Os laminadores podem ser montados isoladamente ou em grupos, formando uma seqüência de vários laminadores em série. Esse conjunto recebe o nome de trem de laminação. Junto a esse conjunto, trabalham os equipamentos auxiliares, ou seja, os empurradores, as mesas transportadoras, as tesouras, as mesas de elevação...

Os laminadores podem ser classificados quanto ao número de cilindros que eles apresentam. Assim temos:

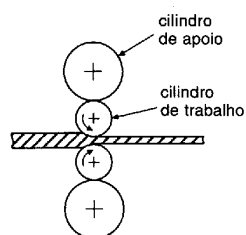
- **Duo** - composto de dois cilindros de mesmo diâmetro, que giram em sentidos opostos, na mesma velocidade.



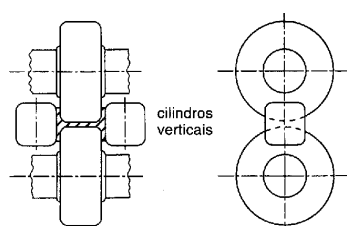
- **Trio** - três cilindros dispostos uns sobre os outros. Quando o material passa pela primeira vez, ele passa entre o cilindro inferior e médio. Quando ele retorna, passa pelo cilindro médio e superior.



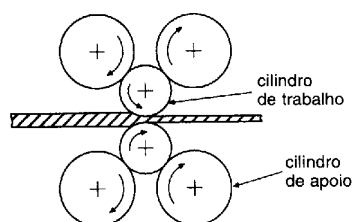
- **Quádruplo** - apresenta quatro cilindros: cilindro dois internos (de trabalho) e dois externos (de apoio).



- **Universal** - apresenta quatro cilindros, combinados: dois horizontais e dois verticais. Ele é utilizado para a laminação de trilhos.



- **Senzimir** - apresenta seis cilindros dos quais dois são de trabalho e quatro são de apoio.



A laminação nunca é feita de uma só vez. Assim como o pasteleiro passa a massa pela máquina várias vezes até que ela tenha a espessura desejada, o metal também é passado diversas vezes pelo laminador a fim de que o perfil ou a chapa adquiram o formato, ou a espessura adequada para o próximo uso.

Nessas passagens, você obtém inicialmente a laminação de desbaste, cuja função é transformar os lingotes de metal em produtos intermediários ou semi-acabados como blocos, placas e tarugos. Esses produtos passam depois pelos laminadores acabadores onde são transformados em produtos acabados como perfilados, trilhos, chapas, tiras.

Exercício 3

Responda às seguintes questões.

a) Qual é a função do laminador?

b) Cite as partes de um laminador.

c) Preencha os espaços em branco com o nome dos laminadores a seguir:

Apresenta quatro cilindros: dois horizontais e dois verticais:
.....

Apresenta dois cilindros de mesmo diâmetro:

Apresenta seis cilindros: dois de trabalho e quatro de apoio:
.....

Nesse laminador, o material passa pelos cilindros inferior e médio e retoma pelo médio e superior:

Tem quatro cilindros: dois internos (de trabalho) e dois externos (de apoio):.....

Laminando um produto plano

Como já dissemos, para obter um produto laminado, ele tem que passar diversas vezes pelos laminadores. Na verdade, esse processo tem várias etapas, porque além da passagem pelos cilindros, algumas coisas vão acontecendo à medida que o produto vai sendo laminado. Essas etapas são, em geral, as seguintes:

1. O lingote, pré-aquecido em fornos especiais, passa pelo laminador de desbaste e se transforma em placas.
2. A placa é reaquescida e passa então por um laminador que quebra a camada de óxido que se formou no aquecimento. Nessa operação usa-se também jato de água de alta pressão.
3. Por meio de transportadores de roletes, a placa é levada a um outro laminador que diminui a espessura e também aumenta a largura da placa original. Na saída dessa etapa, a chapa também passa por um dispositivo que achata suas bordas e por uma tesoura de corte a quente.
4. Finalmente, a placa é encaminhada para o conjunto de laminadores acabadores, que pode ser formado de seis laminadores quádruplos. Nessa etapa ela sofre reduções sucessivas, até atingir a espessura desejada e se transformar finalmente em uma chapa.
5. Quando sai da última cadeira acabadora, a chapa é enrolada em bobina por meio de bobinadeiras.

Para a obtenção de espessuras ainda menores, a laminação prossegue, porém a frio. Para isso, as bobinas passam por um processo de limpeza da superfície chamado de decapagem.

Após a laminação a frio, que dá à superfície da chapa um acabamento melhor, ela é rebobinada. A bobina resultante passa por um processo de tratamento térmico que produz a recristalização do material e anula o encruamento ocorrido durante a deformação a frio.

Além da grande variedade de produtos de aço que se pode fabricar por laminação, esse processo de conformação mecânica também é aplicável ao cobre e suas ligas, ao alumínio e suas ligas, à borracha e ao papel.

Exercício 4

Coloque na ordem correta de execução as etapas de laminação descritas a seguir.

- a) () A chapa sai da cadeira acabadora e é enrolada na bobinadeira.
- b) () A placa é reaquecida e acontece a quebra da carepa no laminador duo.
- c) () As extremidades da placa são cortadas em uma tesoura rotativa.
- d) () O lingote pré-aquecido passa pelo laminador de desbaste e se transforma em uma placa.
- e) () A placa passa por um laminador duo universal e, em seguida por duas cadeiras do laminador quádruo.
- f) () A placa é levada a um laminador quádruo onde sua espessura é diminuída e a largura, aumentada.
- g) () A placa é encaminhada para os laminadores acabadores.

Características e defeitos dos produtos laminados

Cada produto industrial tem características que o diferenciam dos outros.

Não é diferente com relação aos produtos laminados.

Por exemplo, as formas desses produtos são muito simples: barras, perfis, chapas. Seu comprimento é sempre muito maior que sua largura e, na maioria dos casos, as espessuras também são reduzidas.

Os produtos laminados são empregados tanto na construção civil (casas, apartamentos, prédios industriais, pontes, viadutos), quanto na indústria mecânica, na usinagem para a produção em

série de grandes quantidades de peças como parafusos, brocas, pinos, eixos, barras de seções diversas e chapas trabalhadas (furadas, cortadas, fresadas, retificadas). Em geral, o formato adequado do produto laminado, próximo do produto final usinado, aumenta muito a produtividade dos setores de usinagem.

Além das características, os produtos laminados apresentam defeitos que, geralmente, originam-se dos defeitos de fabricação do próprio lingote. Assim, os defeitos mais comuns dos produtos laminados são:

- **Vazios** - podem ter origem nos rechupes ou nos gases retidos durante a solidificação do lingote. Eles causam tanto defeitos de superfície quanto enfraquecimento da resistência mecânica do produto.
- **Gotas frias** - são respingos de metal que se solidificam nas paredes da lingoteira durante o vazamento. Posteriormente, eles se agregam ao lingote e permanecem no material até o produto acabado na forma de defeitos na superfície.
- **Trincas** - aparecem no próprio lingote ou durante as operações de redução que acontecem em temperaturas inadequadas.
- **Dobras** - são provenientes de reduções excessivas em que um excesso de massa metálica ultrapassa os limites do canal e sofre recalque no passe seguinte.
- **Inclusões** - são partículas resultantes da combinação de elementos presentes na composição química do lingote, ou do desgaste de refratários e cuja presença pode tanto fragilizar o material durante a laminação, quanto causar defeitos na superfície.
- **Segregações** - acontecem pela concentração de alguns elementos nas partes mais quentes do lingote, as últimas a se solidificarem. Elas podem acarretar heterogeneidades nas propriedades como também fragilização e enfraquecimento de seções dos produtos laminados.

Além disso, o produto pode ficar empenado, retorcido, ou fora de seção, em consequência de deficiências no equipamento, e nas condições de temperatura sem uniformidade ao longo do processo.

Exercício 5

Relacione a coluna A (defeito) com a coluna B (característica do defeito).

Coluna A

- a) () vazio
- b) () gota fria
- c) () trinca
- d) () dobra
- e) () inclusão
- f) () segregação

Coluna B

1. Partículas resultantes da combinação de elementos presentes na composição química.
2. Origina-se nos rechupes.
3. Alguns elementos concentrados nas partes mais quentes do lingote.
4. Aparecem no lingote ou durante as operações de redução.
5. Respingo de metal que se solidifica na parede da lingoteira.
6. Excesso de massa metálica que é recalçada na operação seguinte.

Forjamento

Introdução

Casa de ferreiro, espeto de... aço

Uma das profissões mais antigas do mundo é a do ferreiro. Quem não se lembra de já ter visto, em filmes históricos ou de faroeste, um homem bem forte, todo suado, retirando com uma tenaz um pedaço de metal incandescente do fogo, colocando-o sobre uma bigorna e martelando com força para que o metal adquirisse a forma desejada? Podia ser uma espada, a parte de uma armadura, ou uma ferradura. Não importa o que fosse produzido, tudo dependia da força e da arte do homem, seu martelo e sua bigorna.

Hoje em dia, o martelo e a bigorna foram substituídos por máquinas e matrizes que permitem a produção constante de milhares de peças. Esse processo de conformação mecânica, tão antigo quanto o uso dos metais, é o **forjamento**.

Nesta aula, vamos estudar esse processo de fabricação. Fique ligado.

Martelando, martelando...

Entre os processos de conformação mecânica, já estudamos os processos de laminação, extrusão e trefilação. O que esses três processos têm em comum é o fato de não fornecerem produtos acabados, mas apenas matéria-prima para, a partir dela, fabricar-se outros produtos. Assim, a chapa obtida na laminação será transformada em partes da lataria dos automóveis. Os perfis de alumínio, obtidos pela extrusão, serão matéria-prima para a fabricação das janelas das nossas casas. Os fios trefilados são usados na produção de condutores elétricos.

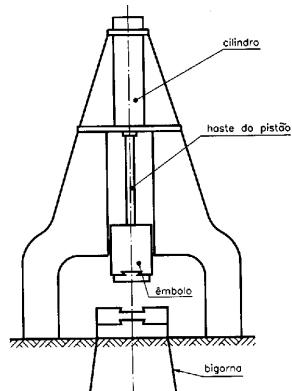
O **forjamento**, um processo de conformação mecânica em que o material é deformado por martelamento ou prensagem, é empregado para a fabricação de produtos acabados ou semi-acabados de alta resistência mecânica, destinados a sofrer grandes esforços e solicitações em sua utilização.

Embora, hoje em dia, o forjamento seja feito por meio de equipamentos, o princípio do processo continua o mesmo: aplicação individual e intermitente de pressão, quer dizer, o velho martelamento, ou então, a prensagem.

O forjamento **por martelamento** é feito aplicando-se golpes rápidos e sucessivos no metal. Desse modo, a pressão máxima acontece quando o martelo toca o metal, decrescendo rapidamente de intensidade à medida que a energia do golpe é absorvida na deformação do material. O resultado é que o martelamento produz deformação principalmente nas camadas superficiais da peça, o que dá uma deformação irregular nas

fibras do material. Pontas de eixo, virabrequins, discos de turbinas são exemplos de produtos forjados fabricados por martelamento.

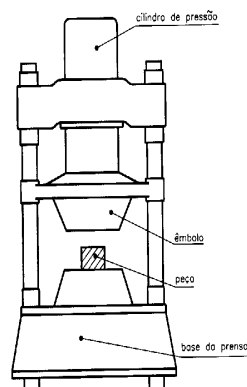
No forjamento por martelamento são usados martelos de forja que aplicam golpes rápidos e sucessivos ao metal por meio de uma massa de 200 a 3.000kg que cai livremente ou é impulsionada de uma certa altura que varia entre 1 e 3,5 m.



Na **prensagem**, o metal fica sujeito à ação da força de compressão em baixa velocidade e a pressão atinge seu valor máximo pouco antes de ser retirada, de modo que as camadas mais profundas da estrutura do material são atingidas no processo de conformação. A deformação resultante é, então, mais regular do que a produzida pela ação dinâmica do martelamento. Palhetas de turbinas e forjados de liga leve são produtos fabricados por prensagem.

O forjamento por prensagem é realizado por prensas mecânicas ou hidráulicas. As prensas mecânicas, de curso limitado, são acionadas por eixos excêntricos e podem aplicar cargas entre 100 e 8.000 toneladas. As prensas hidráulicas podem ter um grande curso e são acionadas por pistões hidráulicos. Sua capacidade de aplicação de carga fica entre 300 e 50.000 toneladas. Elas são bem mais caras que as prensas mecânicas.

As operações de forjamento são realizadas a quente, em temperaturas superiores às de recristalização do metal. É importante que a peça seja aquecida uniformemente e em temperatura adequada.



Esse aquecimento é feito em fornos de tamanhos e formatos variados, relacionados ao tipo de metal usado e de peças a serem produzidas e vão desde os fornos de câmara simples até os fornos com controle específico de atmosfera e temperatura. Alguns metais não ferrosos podem ser forjados a frio.

Exercício 1

Complete as definições a seguir.

- a) forjamento é um processo de, no qual o material é.....
- b) forjamento é feito aplicando-se golpes rápidos e sucessivos ao metal.
- c) No forjamento , a força de compressão é aplicada em baixa velocidade de forma contínua.

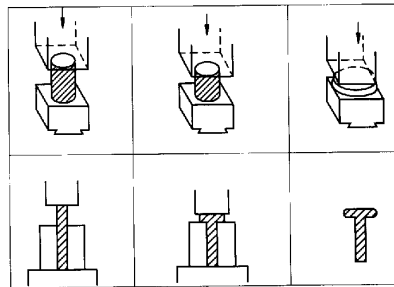
Matriz aberta ou fechada?

Toda a operação de forjamento precisa de uma matriz. É ela que ajuda a fornecer o formato final da peça forjada. E ajuda também a classificar os processos de forjamento, que podem ser:

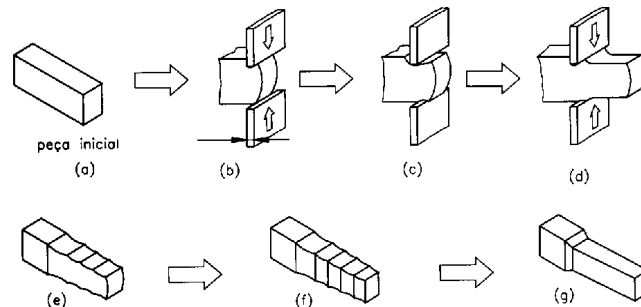
- forjamento em matrizes abertas, ou forjamento livre;
- forjamento em matrizes fechadas.

As matrizes de forjamento são submetidas a altas tensões de compressão, altas solicitações térmicas e, ainda, a choques mecânicos. Devido a essas condições de trabalho, é necessário que essas matrizes apresentem alta dureza, elevada tenacidade, resistência à fadiga, alta resistência mecânica a quente e alta resistência ao desgaste. Por isso, elas são feitas, em sua maioria, de blocos de aço-liga forjados e tratadas termicamente. Quando as solicitações são ainda maiores, as matrizes são fabricadas com metal duro.

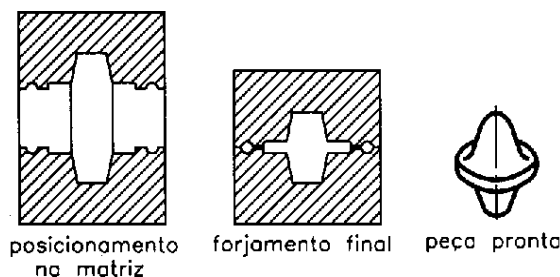
No **forjamento livre**, as matrizes têm geometria ou formatos bastante simples. Esse tipo de forjamento é usado quando o número de peças que se deseja produzir é pequeno e seu tamanho é grande. É o caso de eixos de navios, turbinas, virabrequins e anéis de grande porte.



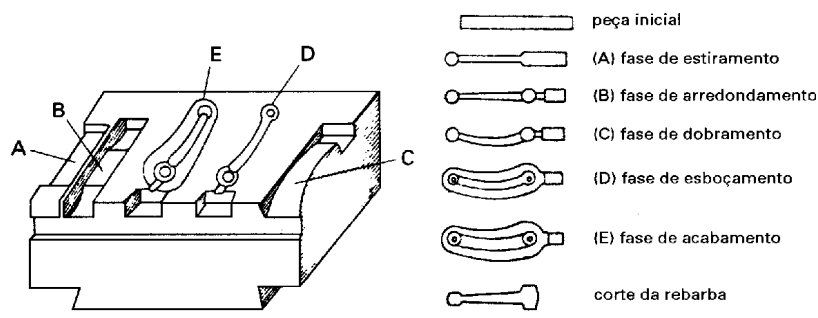
A operação de forjamento livre é realizada em várias etapas. Como exemplo, a ilustração mostra o estiramento de uma parte de uma barra. observe a peça inicial (a) e o resultado final (e). A operação é iniciada com uma matriz de pequena largura. O estiramento acontece por meio de golpes sucessivos e avanços da barra. A barra (b,c,d,e) é girada 90° e o processo repetido (f). Para obter o acabamento mostrado em (g), as matrizes são trocadas por outras de maior largura.



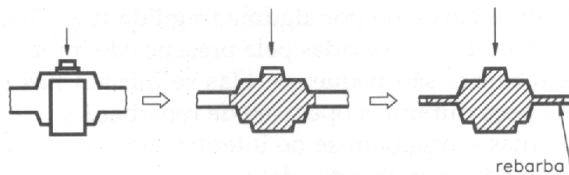
No forjamento em **matrizes fechadas**, o metal adquire o formato da cavidade esculpida na matriz e, por causa disso, há forte restrição ao escoamento do material para as laterais. Essa matriz é construída em duas metades: a metade de baixo fica presa à bigorna e nela é colocado o metal aquecido. A outra metade está presa ao martelo (ou à parte superior da prensa) que cai sobre a metade inferior, fazendo o material escoar e preencher a cavidade da matriz.



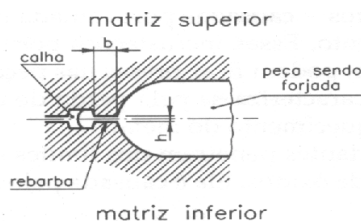
Uma peça forjada acabada geralmente não é conformada em um só golpe, porque tanto a direção quanto a extensão na qual o metal pode escoar são pequenas. Por isso, para a confecção de uma única peça são necessárias várias matrizes com cavidades correspondentes aos formatos intermediários que o produto vai adquirindo durante o processo de fabricação.



A matriz apresenta uma cavidade extra em sua periferia e que tem o objetivo de conter o excesso de material necessário para garantir o total preenchimento da matriz durante o forjamento. Esse excesso de material chama-se **rebarba** e deve ser retirado da peça em uma operação posterior de corte.



A rebarba é um dos problemas do forjamento por matriz fechada. Para minimizá-lo, as matrizes apresentam calhas para evitar que a rebarba seja muito grande.



Para peças não muito complexas, são aplicadas as seguintes etapas no forjamento em matriz fechada:

1. Corte do blank, ou seja, do pedaço de metal em barra no tamanho necessário.
2. Aquecimento - realizado em fornos.
3. Forjamento intermediário, realizado somente quando é difícil a conformação em uma única etapa.
4. Forjamento final - feito em matriz, já com as dimensões finais da peça.
5. Tratamento térmico - para a remoção das tensões, homogeneização da estrutura, melhoria da usinabilidade e das propriedades mecânicas.

É hora de estudar um pouco. Vamos lá?

Exercício 2

Relacione as características listadas com o tipo de forjamento

Coluna A

Coluna B

- a) () Matrizes de geometria simples.
 - b) () Peças de tamanho grande como eixos de navio
 - c) () Utiliza uma matriz na qual está esculpida a cavidade da peças.
 - d) () Necessita de várias matrizes com formatos intermediários.
 - e) () As matrizes apresentam calhas para conter as rebarbas
- 1. Forjamento livre.
 - 2. Forjamento em matriz fechada.

Defeitos dos produtos forjados

Os produtos forjados também apresentam defeitos típicos. Eles são:

- **Falta de redução** - caracteriza-se pela penetração incompleta do metal na cavidade da ferramenta. Isso altera o formato da peça e acontece quando são usados golpes rápidos e leves do martelo.
- **Trincas superficiais** - causadas por trabalho excessivo na periferia da peça em temperatura baixa, ou por alguma fragilidade a quente.
- **Trincas nas rebarbas** - causadas pela presença de impurezas nos metais ou porque as rebarbas são pequenas. Elas se iniciam nas rebarbas e podem penetrar na peça durante a operação de rebarbação.
- **Trincas internas** - originam-se no interior da peça, como consequência de tensões originadas por grandes deformações.
- **Gotas frias**- são descontinuidades originadas pela dobra de superfícies, sem a ocorrência de soldagem. Elas são causadas por fluxos anormais de material quente dentro das matrizes, incrustações de rebarbas, colocação inadequada do material na matriz.
- **Incrustações de óxidos** - causadas pela camada de óxidos que se formam durante o aquecimento. Essas incrustações normalmente se desprendem mas, ocasionalmente, podem ficar presas nas peças.
- **Descarbonetação** - caracteriza-se pela perda de carbono na superfície do aço, causada pelo aquecimento do metal.
- **Queima** - gases oxidantes penetram nos limites dos contornos dos grãos, formando películas de óxidos. Ela é causada pelo aquecimento próximo ao ponto de fusão.

Exercício 3

Uma peça forjada apresenta uma rachadura próxima à periferia da peça na região da rebarba. Na sua opinião, qual a possível causa desse defeito?

Exercício 4

Relacione a característica com o respectivo processo de forjamento.

Coluna A

- a. () Golpes rápidos e sucessivos.
- b. () A deformação atinge as camadas mais profundas do material.
- c. () A deformação das fibras do material é mais regular.
- d. () A pressão máxima ocorre quando a matriz toca o metal.
- e. () A pressão máxima é atingida pouco antes da carga ser retirada.
- f. () A deformação é maior nas camadas superficiais da peça.
- g. () A deformação das fibras do material é irregular.

Coluna B

- 1. Forjamento por martelamento.
- 2. Forjamento por prensagem.

Estampagem

Introdução

Dando forma às chapas

Se a família dos processos de fabricação fosse um objeto que se pudesse tocar, com certeza, ela seria uma corrente na qual cada elo representaria um determinado processo que estaria encadeado em outro, que, por sua vez, estaria encadeado em outro, e assim por diante.

Se não, vejamos: alguns produtos da fundição como lingotes e tarugos podem ser forjados e laminados; os produtos da laminação podem ser cortados, dobrados, curvados, estampados. As peças resultantes podem passar por etapas de usinagem, soldagem, rebitagem... e por aí vai.

Isso porque, quando alguma coisa é produzida, você nunca tem apenas uma operação envolvida nessa fabricação. Geralmente, o que se tem são produtos intermediários, como na laminação, em que as chapas laminadas, após bobinadas, são usadas na fabricação de peças para a indústria automobilística, naval, eletroeletrônica e mecânica em geral.

E para que as chapas adquiram o formato desejado, é necessário que elas passem por um processo de conformação mecânica que visa dar-lhes forma final.

Esse processo você ainda não estudou. Ele é chamado de **estampagem**.

Estampagem

Estampagem é um processo de conformação mecânica, geralmente realizado a frio, que engloba um conjunto de operações. Por meio dessas operações, a chapa plana é submetida a transformações que a fazem adquirir uma nova forma geométrica, plana ou oca. Isso só é possível por causa de uma propriedade mecânica que os metais têm: a **plasticidade**.

As operações básicas de estampagem são:

- corte
- dobramento
- estampagem profunda (ou "repuxo")

Assim como nem todo material pode ser laminado, nem todo material pode passar pelas operações de estampagem. As chapas metálicas de uso mais comum na estampagem são as feitas com as ligas de aço de baixo carbono, os aços inoxidáveis, as ligas alumínio-manganês, alumínio-magnésio e o **latão 70-30**,

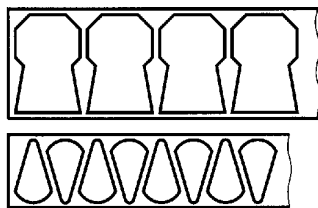
que tem um dos melhores índices de estampabilidade entre os materiais metálicos.

Além do material, outro fator que se deve considerar nesse processo é a qualidade da chapa. Os itens que ajudam na avaliação da qualidade são: a composição química, as propriedades mecânicas, as especificações dimensionais, acabamento e aparência da superfície.

A composição química deve ser controlada no processo de fabricação do metal. A segregação de elementos químicos, por exemplo, que pode estar presente no lingote que deu origem à chapa, causa o comportamento irregular do material durante a estampagem.

As propriedades mecânicas, como dureza e resistência à tração, são importantíssimas na estampagem. Elas são determinadas por meio de ensaios mecânicos que nada mais são do que testes feitos com equipamentos especiais. Esses dados, juntamente com dados sobre a composição química, geralmente são fornecidos nas especificações dos materiais, presentes nos catálogos dos fabricantes das chapas e padronizados através de normas.

As especificações das dimensões ajudam no melhor aproveitamento possível do material, quando é necessário cortá-lo para a fabricação da peça. Uma chapa fora dos padrões de dimensão impede seu bom aproveitamento em termos de distribuição e quantidade das peças a serem cortadas. O ideal é obter a menor quantidade possível de sobras e retalhos que não podem ser aproveitados. Esse aproveitamento ideal envolve também o estudo da distribuição das peças na chapa.

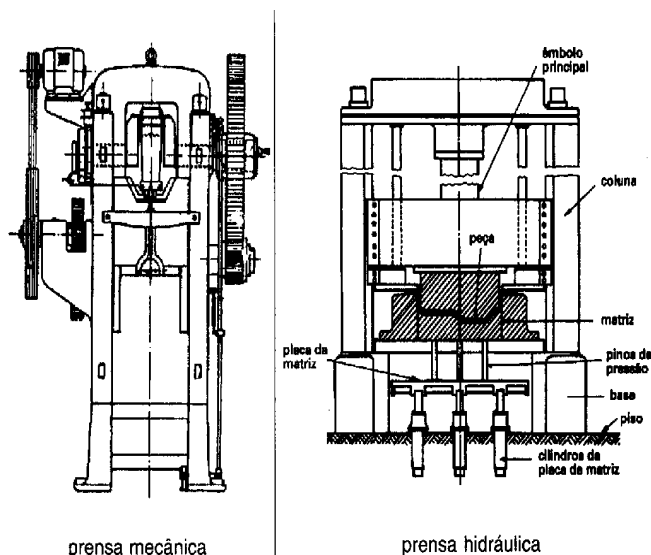


Os defeitos de superfície prejudicam não só a qualidade da peça estampada, como também influenciam no acabamento quando o produto deve receber pintura ou algum tipo de revestimento como a cromação, por exemplo. Por isso, esse é um fator que também deve ser controlado.

As operações de estampagem são realizadas por meio de prensas que podem ser mecânicas ou hidráulicas, dotadas ou não de dispositivos de alimentação automática das chapas, tiras cortadas, ou bobinas.

A seleção de uma prensa depende do formato, tamanho e quantidade de peças a serem produzidas e, conseqüentemente,

do tipo de ferramental que será usado. Normalmente, as prensas mecânicas são usadas nas operações de corte, dobramento e estampagem rasa. As prensas hidráulicas são mais usadas na estampagem profunda.



Na estampagem, além das prensas, são usadas ferramentas especiais chamadas **estampos** que se constituem basicamente de um punção (ou macho) e uma matriz. Essas ferramentas são classificadas de acordo com o tipo de operação a ser executada. Assim, temos:

- ferramentas para corte
- ferramentas para dobramento
- ferramentas para estampagem profunda

Na prensa, o punção geralmente é preso na parte superior que executa os movimentos verticais de subida e descida. A matriz é presa na parte inferior constituída por uma mesa fixa.

Esse ferramental deve ser resistente ao desgaste, ao choque e à deformação, ter usinabilidade e grande dureza. De acordo com a quantidade de peças e o material a serem estampados, os estampos são fabricados com aços ligados, chamados de aços para ferramentas e matrizes.

O fio de corte da ferramenta é muito importante e seu desgaste, com o uso, provoca rebarbas e contornos pouco definidos das peças cortadas. A capacidade de corte de uma ferramenta pode ser recuperada por meio de retificação para obter a afiação.

Exercício 1

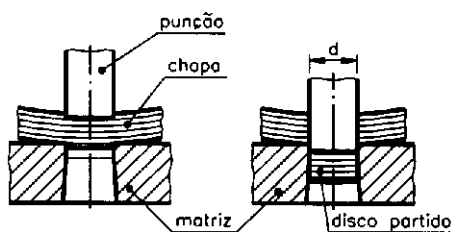
Assinale a alternativa que completa corretamente as afirmações a seguir.

1. A estampagem é um processo de que produz peças a partir de
 - a) () Laminação a frio - chapas planas
 - b) () Conformação mecânica - chapas planas
 - c) () Laminação - sucata de aço
 - d) () Conformação mecânica - tarugos
 - e) () Conformação mecânica - laminados em geral

2. A propriedade dos materiais que possibilita a estampagem é a:
 - a) () dureza.
 - b) () resistência à tração
 - c) () plasticidade
 - d) () elasticidade
 - e) () composição química

Corte de chapas

O corte é a operação de cisalhamento de um material na qual uma ferramenta ou **punção de corte** é forçada contra uma **matriz** por intermédio da pressão exercida por uma prensa. Quando o punção desce, empurra o material para dentro da abertura da matriz.



Dica tecnológica

Em princípio, a espessura da chapa a ser cortada deve ser **igual ou menor** que o diâmetro do punção.

As peças obtidas por corte, podem, eventualmente, ser submetidas a uma operação posterior de estampagem profunda.

O corte permite a produção de peças nos mais variados formatos. Estes são determinados pelos formatos do punção e da matriz. A folga entre um e outra é muito importante e deve ser controlada, já que o aspecto final da peça depende desse fator. Ela está relacionada também com a espessura, a dureza e o tipo de material da chapa.

Dica tecnológica

Para o aço, a folga é de 5 a 8% da espessura da chapa; para o latão, ela fica entre 4 e 8%; para o cobre, entre 6 e 10%; para o alumínio, em torno de 3% e para o alumínio, entre 7 e 8%.

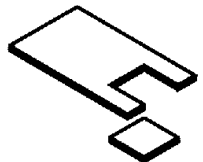
Folgas muito grandes provocam rebarbas que podem ferir os operadores. As folgas pequenas provocam fissuras, ou seja, rachaduras, que causarão problemas nas operações posteriores. Quanto menores forem as espessuras das chapas e o diâmetro do punção, menor será a folga e vice-versa.

Dependendo da complexidade do perfil a ser cortado, o corte pode ser feito em uma única etapa ou em várias etapas até chegar ao perfil final. Isso determina também os vários tipos de corte que podem ser executados:



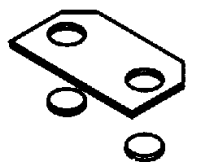
Corte (simples)

Produção de uma peça de um formato qualquer a partir de uma chapa



Entalhe

Corte de um entalhe no contorno da peça.



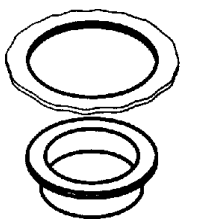
Puncionamento

Corte que produz furos de pequenas dimensões.



Corte parcial

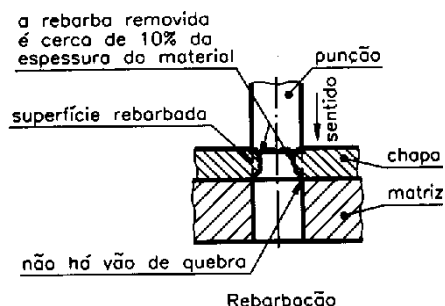
Corte incompleto no qual uma parte da peça cortada fica presa à chapa



Recorte

Corte de excedentes de material de uma peça que já passou por um processo de conformação.

Um corte, por mais perfeito que seja, sempre apresenta uma superfície de aparência "rasgada". Por isso, é necessário fazer a **rebarbação**, que melhora o acabamento das paredes do corte.



Fique por dentro

Pode-se cortar papel, borracha e outros materiais não metálicos com um punção de ângulo vivo. Nesse caso, o material fica apoiado sobre uma base sólida de madeira ou outro material mole.

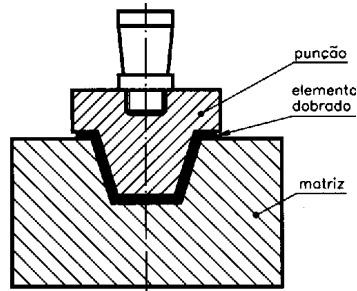
Exercício 2

Complete as seguintes afirmações.

- a) corte é uma operação de..... de um material.
- b) Para o corte, usamos um..... que é forçado contra uma..... por intermédio da pressão exercida por uma.....
- c) Depois do corte, efetua-se uma operação depara melhorar o acabamento das paredes do corte.

Dobramento e curvamento

O dobramento é a operação pela qual a peça anteriormente recortada é conformada com o auxílio de **estampos de dobramento**. Estes são formados por um punção e uma matriz normalmente montados em uma prensa. O material, em forma de chapa, barra, tubo ou vareta, é colocado entre o punção e a matriz. Na prensagem, uma parte é forçada contra a outra e com isso se obtém o perfil desejado.



Em toda e qualquer operação de dobramento, o material sofre deformações além do seu limite elástico. No lado externo há um esforço de tração, o metal se alonga e há uma redução de espessura. No lado interno, o esforço é de compressão.



Por causa da elasticidade do material, sempre há um pequeno retorno para um ângulo ligeiramente menor que o inicial, embora a chapa tenha sido dobrada além de seu limite elástico. Por causa disso, quando se constrói o estampo, o cálculo do ângulo de dobramento deve considerar esse retorno e prever um dobramento em um ângulo levemente superior ao desejado.

Dica tecnológica

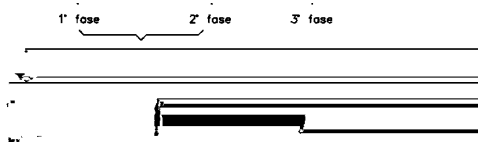
Existe uma região interna do material que não sofre nenhum efeito dos esforços de tração e compressão aos quais a chapa é submetida durante o dobramento. Essa região é chamada de

linha neutra.

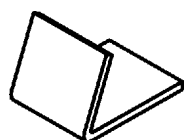
Outro fator a considerar é a existência dos raios de curvatura. Cantos vivos ou raios pequenos podem provocar a ruptura durante o dobramento. Em geral, a determinação do raio de curvatura é função do projeto ou desenho da peça, do tipo de material usado, da espessura da peça e do sentido da laminação da chapa. Materiais mais dúcteis como o alumínio, o cobre, o

latão e o aço com baixo teor de carbono necessitam de raios menores do que materiais mais duros como os aços de médio e alto teores de carbono, aços ligados etc.

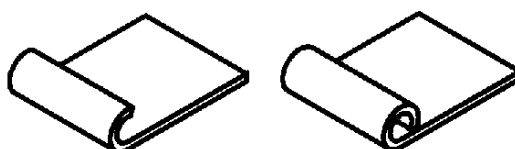
Até atingir o formato final, o produto pode ser dobrado com o auxílio de apenas um estampo em uma única ou em mais fases ou, então, com mais de um estampo.



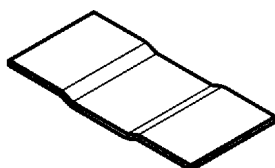
E para obter os variados formatos que o dobramento proporciona, realizam-se as seguintes operações:



Dobramento
Simple e duplo



Dobramento em anel
Aberto ou fechado



Nervuramento



Corrugamento

Exercício 3

Responda às seguintes perguntas.

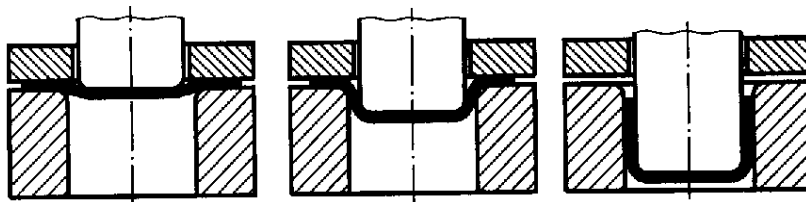
- O que é dobramento?
- Por que no dobramento há um retorno do material para um ângulo ligeiramente menor que o inicial?
- que é linha neutra?
- Quais são os fatores que determinam o raio de curvatura no dobramento?
- Quais são os fatores que podem provocar a ruptura durante o dobramento?

Estampagem profunda

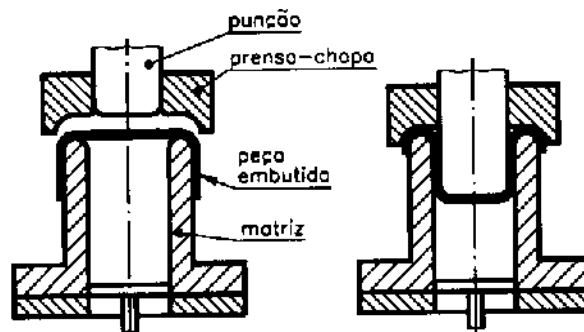
A estampagem profunda é um processo de conformação mecânica em que chapas planas são conformadas no formato de um copo. Ela é realizada a frio e, dependendo da característica do produto, em uma ou mais fases de conformação. Por esse processo, produzem-se painéis, partes das latarias de carros como páralamas, capôs, portas, e peças como cartuchos e refletores parabólicos.

Na estampagem profunda, a chapa metálica sofre alongamento em ao menos uma direção e compressão em outra direção. Geralmente, um compensa o outro e não há mudança na espessura da chapa.

Assim como no dobramento, a estampagem profunda também é realizada com o auxílio de estampos formados por um punção, uma matriz e um sujeitador presos a prensas mecânicas ou hidráulicas. A chapa, já cortada nas dimensões determinadas, é presa entre a matriz e o sujeitador que mantém sobre ela uma pressão constante durante o embutimento. Isso evita que ocorra o enrugamento da superfície da peça. O punção é acionado, desce e força a chapa para baixo, através da matriz. Nessa operação, também é necessário um controle sobre a folga entre o punção e a matriz.



Quando a profundidade do embutimento é grande, ou seja, tem a altura maior que o diâmetro da peça, e são necessárias várias operações sucessivas para obtê-la, tem-se a **reestampagem**. Isso pode ser feito com o mesmo punção, ou com punções diferentes quando o perfil da peça deve ser alterado numa segunda ou terceira estampagem.



A ferramenta deve ter uma superfície lisa e bem acabada para minimizar o atrito entre matriz-chapa-punção e, desse modo, diminuir o esforço de compressão e o desgaste da ferramenta. Para diminuir o atrito pode-se usar também um Lubrificante.

Exercício 4

Responda às seguintes perguntas.

- a) que é estampagem profunda?
- b) que acontece com a chapa metálica na estampagem profunda?

Exercício 5

Cite abaixo os nomes de produtos que estão em sua casa e que foram fabricados por:

- a) Corte

- b) Dobramento

- c) Estampagem profunda

Extrusão

Introdução

Empurra, estica, puxa...

Tubos de metal, portas e janelas para residências e edifícios, arames, cabos de aço e fios elétricos são produtos tão comuns no nosso dia-a-dia que a gente nem se dá ao trabalho de prestar atenção neles.

Mas nem por isso eles deixam de ser importantes. Muito pelo contrário!. Quanto mais usados mais necessários eles se tornam. Você já imaginou a vida em uma cidade, grande ou pequena, sem cabos elétricos ou telefônicos? E sem outra coisa bem simples e muito barata que todo mundo precisa usar, principalmente em um país tropical como o nosso. Que coisa é essa? É o guarda-chuva!.

Impossível fabricá-lo sem tubos e varetas de metal, produzidos pelos processos de conformação mecânica que estudaremos nesta aula: a **extrusão** e a **trefilação**.

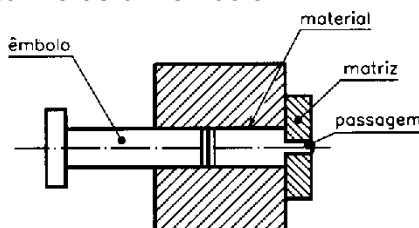
Aqui você vai aprender que se a necessidade é de perfis de formatos complicados ou, então, de tubos, o processo de fabricação será a **extrusão**. Por outro lado, se o que se quer fabricar, são rolos de arame, cabos ou fios elétricos, o processo indicado é a **trefilação**. Fique ligado.

Extrusão: o maior empurra-empurra.

Assim como a laminação, a extrusão é um processo de fabricação de produtos semi-acabados, ou seja, produtos que ainda sofrerão outras operações, tais como corte, estampagem, usinagem ou forjamento, antes de seu uso final.

Como resultado disso, obtém-se uma das importantes características do produto extrudado: seção transversal reduzida e grande comprimento.

O processo de extrusão consiste basicamente em forçar a passagem de um bloco de metal através do orifício de uma matriz. Isso é conseguido aplicando-se altas pressões ao material com o auxílio de um êmbolo.



Trata-se de um processo de fabricação relativamente novo, se comparado com a maioria dos outros processos de conformação mecânica. As primeiras experiências com extrusão foram feitas com chumbo no final do século passado. O maior avanço aconteceu durante a Segunda Guerra Mundial, com a produção de grandes quantidades de perfis de alumínio para serem usados na indústria aeronáutica.

Atualmente, não só metais mais dúcteis, como o alumínio e suas ligas e o cobre e suas ligas, podem passar pelo processo de extrusão. Também é possível fabricar produtos de aço ao carbono e aço inoxidável por meio de extrusão. Produtos de plástico, principalmente embalagens, também são fabricados por extrusão.

No que se refere ao uso do alumínio, as variedades de perfis que se pode fabricar é quase ilimitada. As seções obtidas são mais resistentes porque não apresentam juntas frágeis e há melhor distribuição do metal. O processo fornece, também, uma boa aparência para as superfícies.

Etapas do processo

De acordo com o tipo de metal, que deve suportar rigorosas condições de atrito e temperatura, e com a seção a ser obtida, a extrusão pode ser realizada **a quente** ou **a frio**.

Os metais mais duros, como o aço, passam normalmente pelo processo de extrusão a quente. Esse processo envolve as seguintes etapas:

1. Fabricação de lingote ou tarugo de seção circular.
2. Aquecimento uniforme do lingote ou tarugo.
3. Transporte do lingote ou tarugo aquecido para a câmara de extrusão. Essa etapa deve ser executada o mais rapidamente possível para diminuir a oxidação na superfície do metal aquecido.
4. Execução da extrusão: com o tarugo aquecido apoiado diante da câmara de extrusão, o pistão é acionado e o material é empurrado para o interior da câmara.
5. Fim da extrusão: o pistão recua e a câmara se afasta para a retirada do disco e da parte restante do tarugo.
6. Remoção dos resíduos de óxido com o auxílio de disco raspador acionado pelo pistão.

Lingote

É o bloco de metal produzido por fundição.

Tarugo

É o bloco de metal obtido pela laminação de um lingote.

Considerando-se que o trabalho a quente traz problemas de oxidação do bloco de metal e das ferramentas de extrusão, a temperatura de trabalho deve ser a mínima necessária para fornecer ao metal o grau de plasticidade adequado.

Devido à intensa deformação produzida durante a extrusão, pode ocorrer um sensível aquecimento do metal. Portanto, a temperatura máxima do processo deve ser **seguramente** inferior à temperatura de "liquação", ou seja, aquela em que acontece a fusão do contorno dos grãos.

Se a temperatura de extrusão ficar muito próxima à de liquação, o aquecimento produzido pelo atrito e pela compressão da matriz, poderá atingir a temperatura de fusão e impedir a fabricação do produto por extrusão.

Deve-se lembrar, também, de que a temperatura do material na zona de deformação depende da velocidade de deformação e do grau de compressão. Isso significa que a temperatura **umenta** quando **umentam** a velocidade e a deformação, por causa do aumento do atrito devido ao aumento da velocidade de deformação e do grau de compressão.

Na extrusão a quente, as reduções de área conseguidas são da ordem de 1:20 (um para vinte). Isso significa que, se você tiver uma barra de 100 mm² de área, ela pode ter sua área reduzida para 5 mm².

Os materiais mais dúcteis, como o alumínio, podem passar por extrusão tanto a frio quanto a quente e obtêm reduções de área da ordem de 1:100 (um para cem).

Na extrusão a frio, o material endurece por encruamento durante a deformação porque os grãos do metal se quebram e assim permanecem, aumentando as tensões na estrutura e, conseqüentemente, sua dureza. Na extrusão a quente, os grãos se reconstituem após a extrusão por causa da alta temperatura.

Exercício1

Responda às seguintes questões.

- a) O que é extrusão?

- b) Que tipos de produtos são fabricados pelo processo de extrusão? Dê exemplos diferentes do texto.

Exercício 2

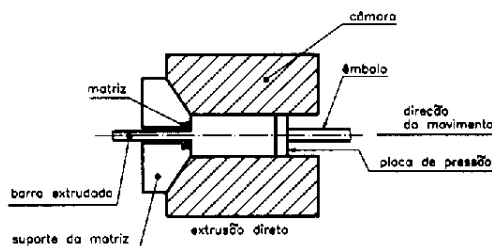
Escreva **C** para as afirmações corretas e corrija as erradas.

- a) () Rolos de arame, cabos e fios elétricos são produtos fabricados por extrusão.
- b) () O alumínio pode ser extrudado em uma grande quantidade de perfis.
- c) () A temperatura de aquecimento do bloco de metal a ser extrudado deve ser a mais alta possível.

Tipos de processos de extrusão

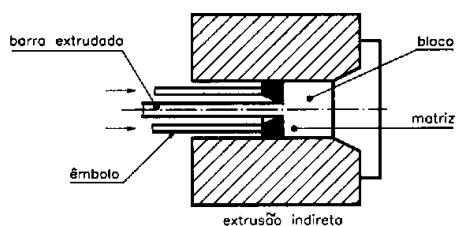
A extrusão pode ser realizada de duas maneiras básicas: **direta** ou **indiretamente**.

Na **extrusão direta** o bloco metálico a ser processado é colocado em uma câmara ou cilindro, e empurrado contra uma matriz através de um pistão, acionado por meios mecânicos ou hidráulicos.



Para proteger o pistão da alta temperatura e da abrasão resultantes do processo de extrusão direta, emprega-se um bloco de aço, chamado de **falso pistão** entre o material metálico e o êmbolo. Usa-se também um pedaço de grafite entre o metal e o pistão a fim de assegurar que todo o material metálico passe pela matriz.

Nesse processo, a deformação ocorre na matriz, enquanto que o resto do material é contido pelas paredes do cilindro. Desse modo, não se produz nenhuma instabilidade no material. Isso torna possível alcançar elevadas reduções (até 99%) no material processado.



Na **extrusão indireta**, o êmbolo é oco e está ligado à matriz. A extremidade oposta da câmara é fechada com uma placa. O êmbolo oco empurra a matriz de encontro ao metal e este sai da matriz em **sentido contrário** ao movimento da haste.

Como não há movimento relativo entre o bloco de metal e as paredes da câmara, as forças de atrito são muito menores e as pressões necessárias são também menores do que na extrusão direta. Por outro lado, como o êmbolo é furado, as cargas a serem utilizadas são limitadas e não é possível obter perfis com formatos complexos. Por isso, o processo de extrusão **direta** é o mais empregado.

Os equipamentos usados na extrusão consistem em prensas horizontais, mecânicas ou hidráulicas, com capacidades normais entre 1.500 e 5 mil toneladas. Prensas hidráulicas conseguem cargas de até 30 mil toneladas!

Além dessas prensas, são necessários equipamentos auxiliares para a realização do processo. Eles incluem fornos para aquecimento dos tarugos, fornos de tratamento térmico, além de equipamentos para transporte e corte dos perfis.

Defeitos da extrusão

Existem vários defeitos típicos dos processos de extrusão. Por exemplo: no processo de extrusão, a deformação não é uniforme. Por isso, o centro do tarugo move-se mais rapidamente que a periferia, e forma-se uma "zona morta" ao longo da superfície externa do tarugo. Quando a maior parte do bloco de metal já passou pela matriz, a superfície externa move-se para o centro e começa a fluir pela matriz. Como essa superfície externa contém uma película de óxido, aparecem **linhas internas de óxido** no interior do produto.

Se esse produto for cortado transversalmente, esse óxido aparecerá na forma de um anel que não permite a colagem das partes a ele adjacentes.

Outro defeito que pode aparecer por causa da diferença de velocidade entre o núcleo do tarugo e a periferia, é a **formação de uma cavidade** no centro da superfície do material em contato com o pistão, quando o processo de extrusão atinge a etapa final.

Essa cavidade cresce gradualmente em diâmetro e profundidade, transformando a barra em um tubo. Por isso, essa parte final do produto deverá ser descartada. O aspecto desse defeito é semelhante ao de um rechupe interno.

O **arrancamento** é o defeito que se forma na superfície do produto e aparece na forma de perda de material da superfície, quando o produto passa muito rapidamente pela matriz.

Produtos fabricados pelo processo de extrusão podem apresentar também **bolhas** na superfície. Elas podem ser causadas pela presença de hidrogênio e materiais provenientes da fundição do lingote ou por ar contido dentro do recipiente da prensa.

Os defeitos que acabamos de descrever podem ser evitados da seguinte forma:

Cavidade no produto - Descartar a porção final do produto.

Anel de óxido - Não extrudar o tarugo até o fim;

Aquecimento - O recipiente a uma temperatura 50°C menor que a temperatura do tarugo;

Dimensões - Não deixar o diâmetro do produto extrudado ultrapassar um valor a partir do qual o anel de óxido começa a aparecer.

Arrancamento - Diminuir a velocidade de extrusão, diminuir a temperatura de extrusão.

Bolhas - Eliminar gases dissolvidos no metal líquido durante a fundição do lingote.

Já temos bastante informações para você estudar. Que tal fazer isso agora?

Exercício 3

Complete as definições abaixo:

- a) Na extrusão direta, o bloco metálico é.....
- b) Na extrusão indireta, a matriz é

Exercício 4

Como é possível evitar os seguintes defeitos?

- a) Cavidade no produto
- b) Anel de óxido
- c) Arrancamento
- d) Bolhas

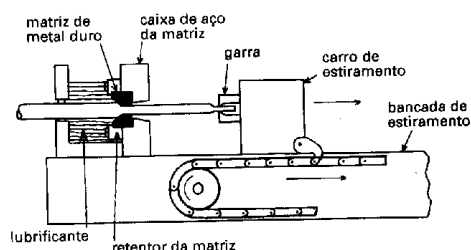
Trefilação

Introdução

Puxa e estica

Acender a luz, falar ao telefone, ligar o som, a televisão ou um outro eletrodoméstico qualquer, andar de elevador. Nada disso seria possível sem a trefilação, pois os fios elétricos de cobre ou alumínio, os cabos e arames de aço necessários para essas atividades tão comuns do século vinte são fabricados por esse processo de conformação mecânica.

Por esse processo, é possível obter produtos de grande comprimento contínuo, seções pequenas, boa qualidade de superfície e excelente controle dimensional.



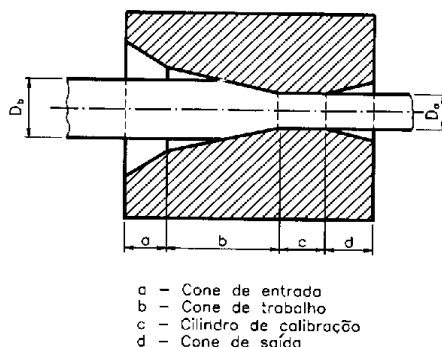
O princípio do processo de trefilação é, de certa forma, parecido com o da extrusão, ou seja, é necessário que o material metálico passe por uma matriz para ter seu diâmetro diminuído e seu comprimento aumentado. A grande diferença está no fato de que, em vez de ser empurrado, o material é puxado. Além disso, a trefilação é normalmente realizada a frio.

Existem bancos de tração de até 100 toneladas, capazes de trabalhar a uma velocidade de até 100 metros por minuto, percorrendo distâncias de até 30 metros. Em alguns casos, vários conjuntos desse tipo podem ser montados em série, a fim de produzir arames e fios com diâmetros ainda menores.

A barra que deve ser trefilada é chamada de fio de máquina. Ela deve ser apontada, para facilitar a passagem pela fieira, e presa por garras de tração que vão puxar o material para que ele adquira o diâmetro desejado.

A fieira é uma ferramenta cilíndrica que contém um furo no centro por onde passa o fio, e cujo diâmetro vai diminuindo. Assim seu perfil apresenta o formato de um funil.

A razão da presença desse ângulo, geralmente maior que o ângulo de trefilação, é facilitar a lubrificação e, conseqüentemente, a passagem do material. A lubrificação é necessária para facilitar a passagem do metal pela fieira, a fim de diminuir o atrito entre o fio e o cone de trabalho.



O cilindro de calibração serve para ajustar o diâmetro do fio. O cone de saída, por sua vez, permite a saída livre do fio.

A fieira é construída de metal duro para fios de diâmetro maior que 2 mm, ou diamante para fios de diâmetro de até 2 mm. Esses materiais são usados para que a fieira possa resistir às condições severas e grandes solicitações características desse processo.

Etapas do processo

O processo de trefilação compreende as seguintes etapas:

- Laminação e usinagem para a produção do fio máquina;
- Decapagem mecânica ou química que retira os óxidos presentes na superfície do fio máquina;
- Trefilação;
- Tratamento térmico de recozimento, quando é necessário restabelecer a ductibilidade do material;

Para a trefilação propriamente dita, existem dois tipos básicos de máquinas de trefilar:

Sem deslizamento

Nessa máquina, o fio é tracionado, ou seja, puxado, e depois de passar pelo furo da fieira, ele vai para um anel tirante que acumula o fio antes de liberar sua movimentação em direção a uma segunda fieira onde o processo se repete. Isso é feito quantas vezes forem necessárias para obter a bitola desejada para o fio. Ao término desse processo, o fio é enrolado em uma bobinadeira.

Com deslizamento

Essa máquina é usada para a trefilação de fios metálicos de pequeno diâmetro. Nela, o fio parte de uma bobina, passa por uma roldana e segue alinhado até a primeira fieira. Na saída da

fieira, o fio é tracionado por um anel tirante e é enrolado nele com um número de voltas que depende da força do atrito necessária para tracionar o fio através da primeira fieira.

O movimento helicoidal do fio provoca seu deslizamento lateral pelo anelo o sistema prossegue dessa forma para as demais fieiras e anéis.

Características e defeitos dos produtos trefilados

Como já dissemos, os produtos trefilados caracterizam-se por seu grande comprimento e pequena seção transversal.

Dependendo de sua utilização, formato, seção transversal, eles recebem uma denominação. Assim, as barras possuem diâmetro maior que 5 mm; os arames ou fios possuem diâmetro menor. O arame é usado para a construção mecânica. O fio é usado em aplicações elétricas.

Esses produtos apresentam os seguintes defeitos típicos:

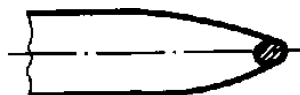
Diâmetro escalonado

Causado por partículas duras retidas na fieira e que se desprendem depois.



Fratura irregular

Com estrangulamento, causada por esforço excessivo devido à lubrificação deficiente, excesso de espiras no anel tirante, anel tirante rugoso, anel tirante com diâmetro incorreto, redução excessiva.



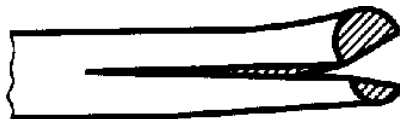
Fratura com risco lateral ao redor da marca de inclusão,

Causada por partícula dura incluída no fio inicial proveniente da laminação ou extrusão.



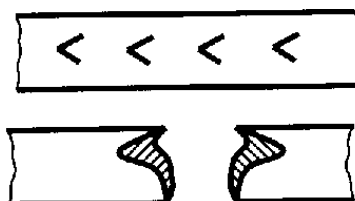
Fratura com trinca

Aberta em duas partes, causada por trincas de laminação.



Marcas em forma de V ou fratura em ângulo

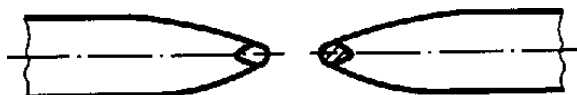
Causadas por redução grande e parte cilíndrica pequena, com inclinação do fio na saída; ruptura de parte da fieira com inclusão de partículas no contato fio-fieira; inclusão de partículas duras estranhas.



Ruptura taça-cone

Causada por redução pequena e ângulo de fieira muito grande, com acentuada deformação da parte central.

Aqui terminamos o estudo de mais dois processos de conformação mecânica. Há muito mais do que isso a ser apreendido. Por isso, não deixe a peteca cair! Para saber mais consulte a nossa bibliografia no final deste livro.



Exercício 5

Complete as seguintes frases:

- a) () A trefilação é o processo utilizado para a produção de e
- b) () Na trefilação, o material éatravés de uma matriz e é normalmente realizada a
- c) () A barra a ser trefilada é chamada de

Exercício 6

Descreva a função das seguintes partes da fieira:

- a) () Cone de entrada:.....
- b) () Cone de trabalho:.....
- c) () Cilindro de calibração:
- d) () Cone de saída:

Exercício 7

Descreva com suas palavras o processo de trefilação

- a) () Com deslizamento:.....
- b) () Sem deslizamento:.....