

## **E depois da fundição?**

---

Panelas, 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.

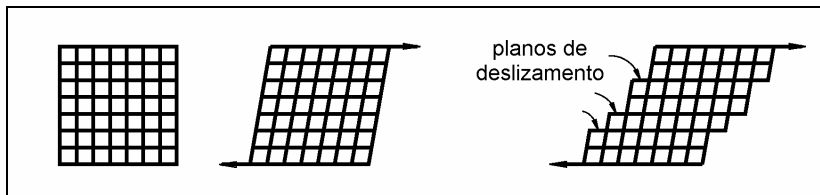
A segunda pergunta que você certamente fará é: “Mas, como é possível que materiais tão rígidos como o aço, ou o ferro, possam ser comprimidos, puxados e dobrados para adquirirem os formatos que o produto necessita?”

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.

Como você já estudou, 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. A 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.

### **Pare! Estude! Responda!**

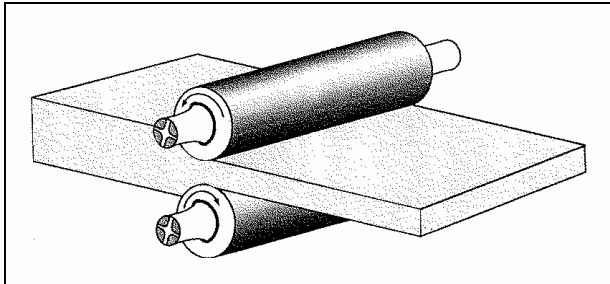
#### **Exercício**

1. Responda às seguintes perguntas.
  - a) Quais são as propriedades que permitem que os metais sejam conformados mecanicamente?
  - b) 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) 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...

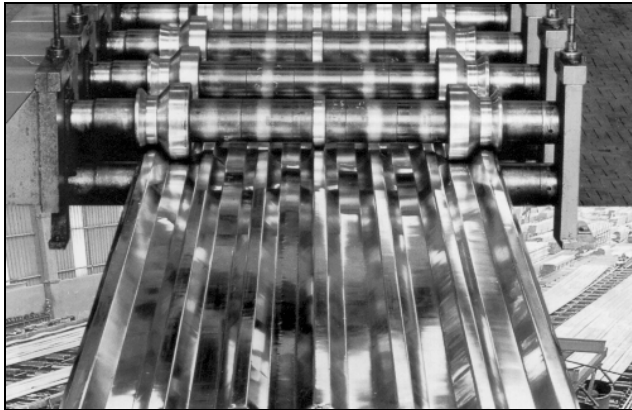
A laminação pode ser feita a quente ou a frio. Ela é feita a quente quando o material a ser conformado é difícil de laminar a frio ou quando necessita de grandes reduções de espessura. Assim, o aço, quando necessita de grandes reduções, é sempre laminado a quente porque, quando aquecido, sua estrutura cristalina apresenta a configuração FCC 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.

**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.

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.

Seja 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...

**Pare! Estude! Responda!**

### **Exercício**

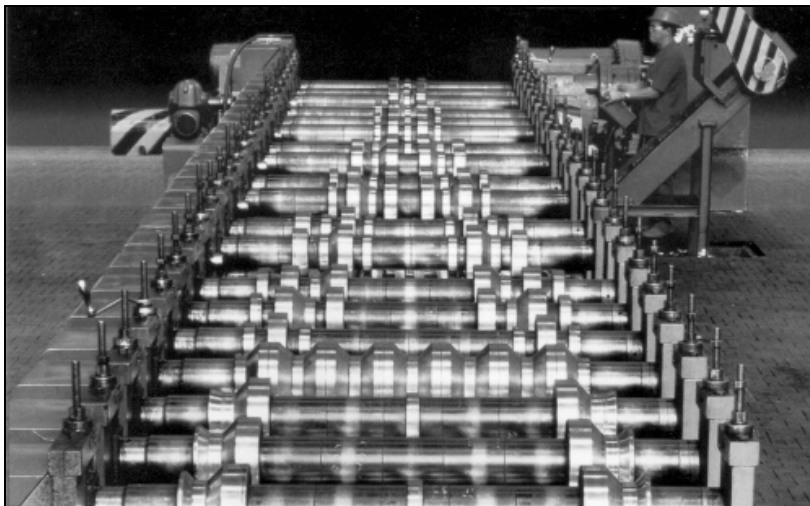
2. Responda às seguintes questões.
  - a) O que é laminação?
  - b) Qual a diferença entre um produto final e um produto intermediário? Dê exemplos.
  - c) Por que o aço é sempre aquecido para ser laminado?

## 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 sequência 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.



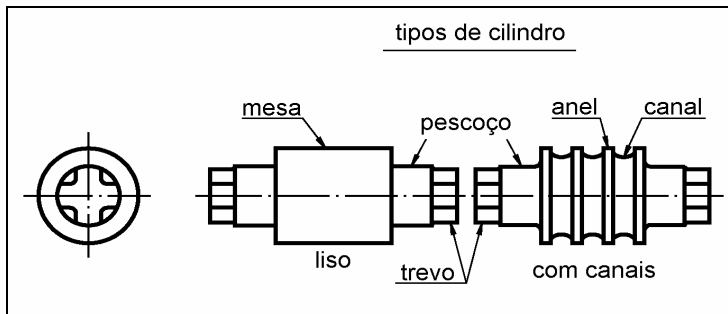
Ele é um conjunto mecânico bem parecido com a máquina do pasteleiro.

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

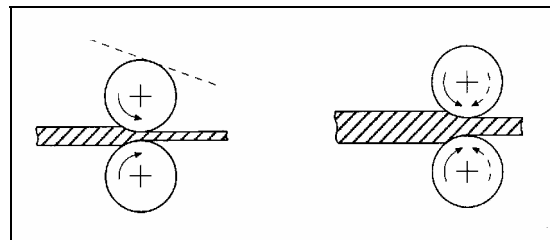
ser fundidos ou forjados; são fabricados em ferro fundido ou aço especial, dependendo das condições de trabalho a que eles são submetidos. Podem ser lisos, para a produção de placas e chapas, ou com canais, para a produção de perfis.



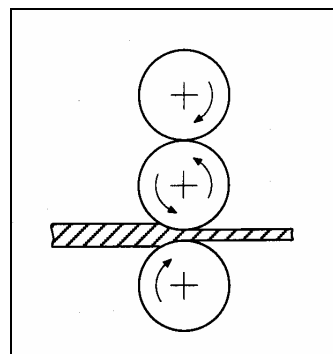
Os laminadores podem ser montados isoladamente ou em grupos, formando uma seqüência de vários laminadores em série. Esse conjunto recebe o nome de **trem de laminação**. Junto a esse conjunto, trabalham os equipamentos auxiliares, ou seja, os empurradores, as mesas transportadoras, as tesouras, as mesas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

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

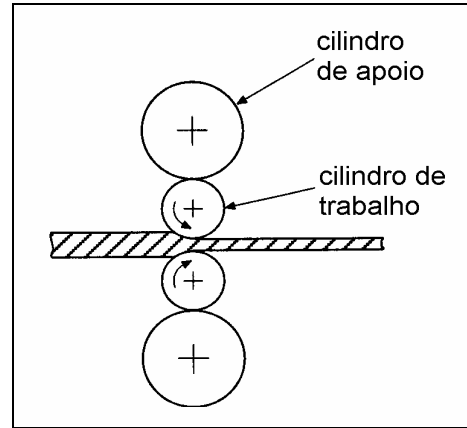
**Duo** - composto de dois cilindros de mesmo diâmetro, que giram em sentidos opostos, na mesma velocidade.



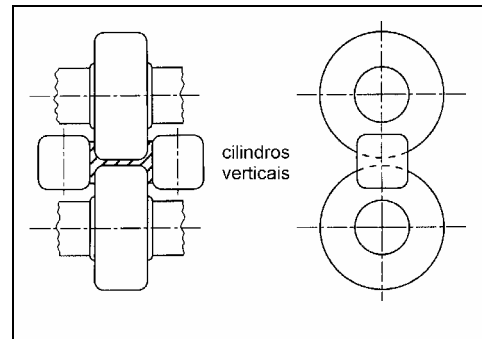
**Trio** - três cilindros dispostos uns sobre os outros. Quando o material passa pela primeira vez, ele passa entre o cilindro inferior e médio. Quando ele retorna, passa pelo cilindro médio e superior.



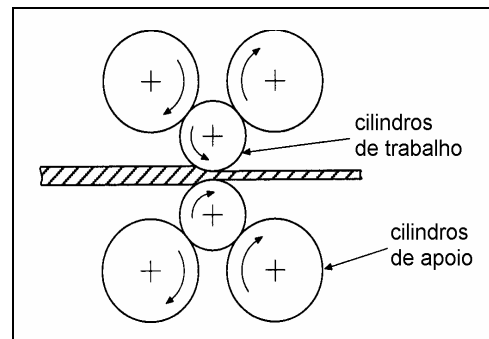
**Quádruo** - apresenta quatro cilindros: dois internos (de trabalho) e dois externos (de apoio).



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



**Sendzimir** - 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 ou 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.



## **Pare! Olhe! Responda!**

### **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 retorna 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 reaquelada 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.

### **Pare! Estude! Responda!**

#### **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 reaquelada 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 destaste e se transforma em uma placa.
  - e) ( ) A placa passa por um laminador duo universal e, em seguida por duas cadeiras do laminador quádruplo.

- 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.

A aula sobre laminação termina aqui. Se você quiser saber mais, consulte a bibliografia no final deste livro. Você vai descobrir que há ainda muito o que estudar e aprender!

### **Pare! Estude! Responda!**

#### **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.

## **Gabarito**

1.
  - a) Elasticidade, plasticidade.
  - b) Isso acontece porque o agrupamento atômico da estrutura do material permite o deslocamento de camadas de átomos sobre outras camadas.
  - c) Cobre, alumínio, níquel etc.
  - d) Sim, porque eles tem plasticidade podendo ser estirado e laminado.
  
2.
  - a) É um processo de conformação mecânica, pelo qual um lingote é forçado a passar por entre dois cilindros que giram em sentidos opostos, com a mesma velocidade.
  - b) Intermediário quando serão usados em outros processos de conformação mecânica - produto final - pode ser utilizado como tubos longarinas de perfis variados etc.
  - c) Porque sua configuração CFC se presta melhor à laminação.
  
3.
  - a) Realizar a laminação.
  - b) Cadeira, gaiola.
  - c) Universal, Duo, Sendzimir, Trio, Quádruo.
  
4. **a) (7) b) (2) c) (5) d) (1) e) (4) f) (3) g) (6)**
  
5. **1) (e) 2) (c) 3) (d) 4) (b) 5) (f) 6) (a)**