GERDAU

CILINDROS DE LAMINAÇÃO

GERDAU

Claudia Regina Serantoni

Siderurgia é o maior mercado para cilindros de laminação! Como está seu conhecimento deste tema?

1) A principal aplicação de cilindros de laminação é na fabricação de aços. Um dos principais clientes da Villares Rolls é a CSN. Qual a ordem de grandeza da produção horária de aço laminado na CSN?
a) 1 t/h b) 10 t/h c) 100 t/h d) 1 000 t/h e) 10 000 t/h

2) Quanto tempo um cilindro de trabalho opera num laminador de tiras a quente em condições normais de operação
a) 3 min b) 30 min c) 3 h d) 3 dias e) 30 dias

3) Quanto tempo um cilindro de encosto opera num laminador de tiras a quente em condições normais de operação
a) 3 min b) 30 min c) 3 h d) 3 dias e) 30 dias

4) Qual o menor tempo necessário para se fazer a troca dos cilindros de trabalho (em condições normais de operação) num laminador?
a) 1 s b) 1 min c) 10 min d) 1 h e) 10h

5) Qual país poderia ser o maior comprador de cilindros do mundo? Por que?

6) Para quais países a Villares Rolls exporta mais cilindros de laminação, para qual cliente?

7) Cite dois produtos fabricados com cilindros de laminação.

OBJETIVO

O objetivo desta apresentação é proporcionar aos alunos a contextualização de cilindros de laminação: o que são e para que servem, bem como os avanços e desenvolvimentos relacionados ao produto CILINDRO DE LAMINAÇÃO e à tecnologia de LAMINAÇÃO.

ÍNDICE

- Indústria Siderúrgica
- Processo de Laminação
- Laminadores
- Cilindros de Laminação
- Evolução das Tecnologias

ÍNDICE

- Indústria Siderúrgica
- Processo de Laminação
- Laminadores
- Cilindros de Laminação
- Evolução das Tecnologias

ⓘ Siderurgia é o ramo da metalurgia que se dedica à fabricação e ao tratamento do aço.

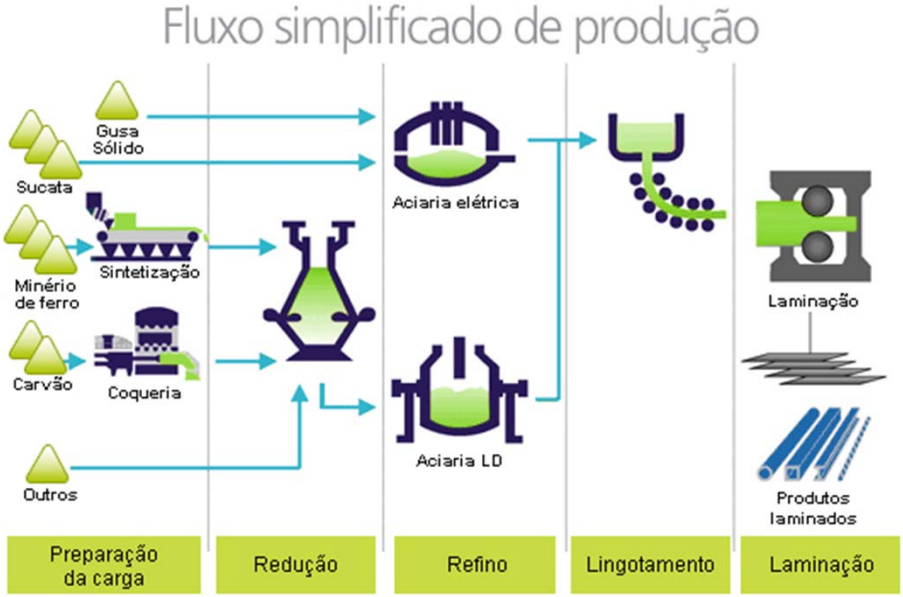
> ⓘ *Siderurgia é o ramo da metalurgia que se dedica à fabricação e ao tratamento do aço.*

Tipos de usinas:

Integradas – redução, refino e laminação;

Semi-integradas – refino e laminação.

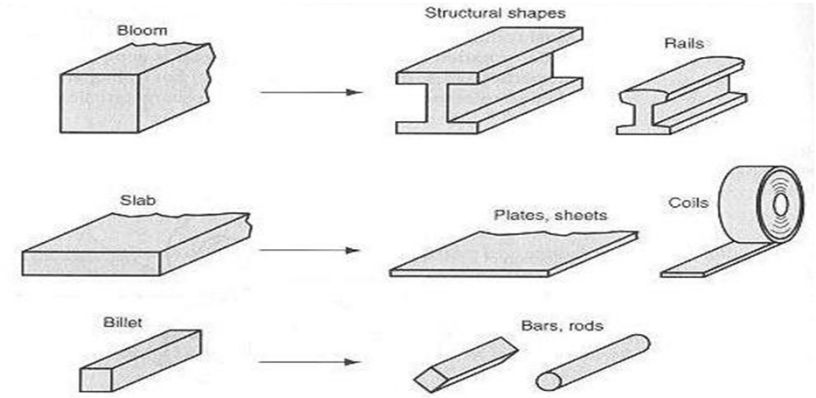
Não-integradas – redução ou processamento



Fluxo de produção: siderúrgica integrada*

(*): Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/processo--etapas.asp>. Acesso em 12nov2009.

ⓘ *Siderurgia é o ramo da metalurgia que se dedica à fabricação e ao tratamento do aço.*



Tipos de produtos:

Semi-acabados – placas, blocos e tarugos

Planos – chapas e bobinas, em aço carbono e/ou aços especiais/ligados

Longos – barras, perfis, fio máquina, vergalhões, arames e tubos sem costura, em aço carbono e/ou aços especiais/ligados

ⓘ *Siderurgia é o ramo da metalurgia que se dedica à fabricação e ao tratamento do aço.*

ⓘ *As indústrias siderúrgicas **Integradas**, **Semi-Integradas** e a maioria das **Não-Integradas**, que fabricam produtos **Planos** e **Longos** (tanto de aço carbono quanto de aços especiais/ligados) são os usuários de **CILINDROS DE LAMINAÇÃO**.*

ÍNDICE

- Indústria Siderúrgica
- Processo de Laminação
- Laminadores
- Cilindros de Laminação
- Evolução das Tecnologias

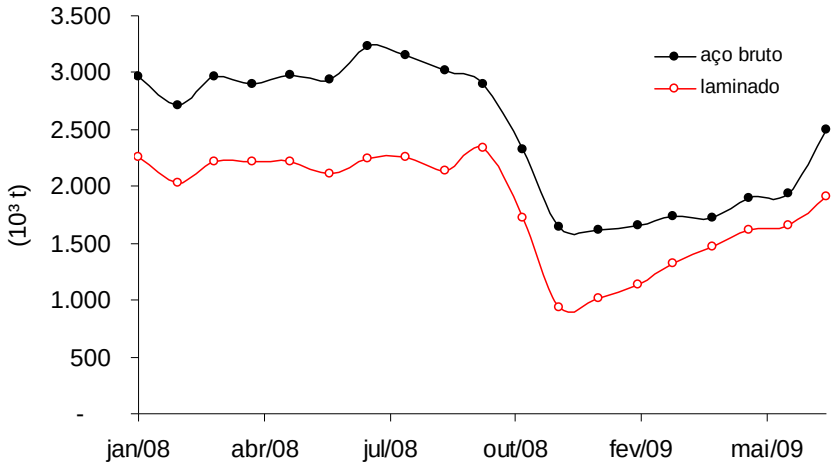
ⓘ *Laminação é o processo de conformação mecânica que consiste em deformar o metal pela passagem entre dois cilindros com geratriz retilínea (laminação de produtos* ***planos****) ou contendo canais entalhados de forma mais ou menos complexa (laminação de produtos* ***longos****).*

*ⓘ Laminação é o processo de conformação mecânica que consiste em deformar o metal pela passagem entre dois cilindros com geratriz retilínea (laminação de produtos **planos**) ou contendo canais entalhados de forma mais ou menos complexa (laminação de produtos **longos**).*

A laminação é o processo mais empregado dentre os processos de conformação mecânica de metais.

Segundo o Instituto Aço Brasil, em 2008, 73% do aço bruto produzido no Brasil foi conformado por laminação.

Desses, 58% foi laminado em produtos planos e 42% em produtos longos.



(*): Fonte: Instituto Aço Brasil.

Em função da temperatura de trabalho na laminação, podem-se classificar os processos de laminação em dois grupos principais:
laminação a quente e **laminação a frio**.

Em função da temperatura de trabalho na laminação, podem-se classificar os processos de laminação em dois grupos principais:
laminação a quente e **laminação a frio**.

A **laminação a quente** modifica por completo a estrutura bruta de fundição e refina o grão do metal que foi laminado, melhorando suas propriedades mecânicas e metalúrgicas, no sentido da laminação.

Em função da temperatura de trabalho na laminação, podem-se classificar os processos de laminação em dois grupos principais:
laminação a quente e **laminação a frio**.

A **laminação a quente** modifica por completo a estrutura bruta de fundição e refina o grão do metal que foi laminado, melhorando suas propriedades mecânicas e metalúrgicas, no sentido da laminação.

Na **laminação a frio** consegue-se um aumento da resistência mecânica da chapa laminada e um excelente acabamento superficial (até polido, se desejado).

Em função da temperatura de trabalho na laminação, podem-se classificar os processos de laminação em dois grupos principais:
laminação a quente e **laminação a frio**.

A **laminação a quente** modifica por completo a estrutura bruta de fundição e refina o grão do metal que foi laminado, melhorando suas propriedades mecânicas e metalúrgicas, no sentido da laminação.

Na **laminação a frio** consegue-se um aumento da resistência mecânica da chapa laminada e um excelente acabamento superficial (até polido, se desejado).

Na laminação a quente, o grau de deformação é tipicamente da ordem de centenas de vezes, enquanto que na laminação a frio este grau de deformação é pelo menos dez vezes menor.

Em função da temperatura de trabalho na laminação, podem-se classificar os processos de laminação em dois grupos principais:
laminação a quente e **laminação a frio**.

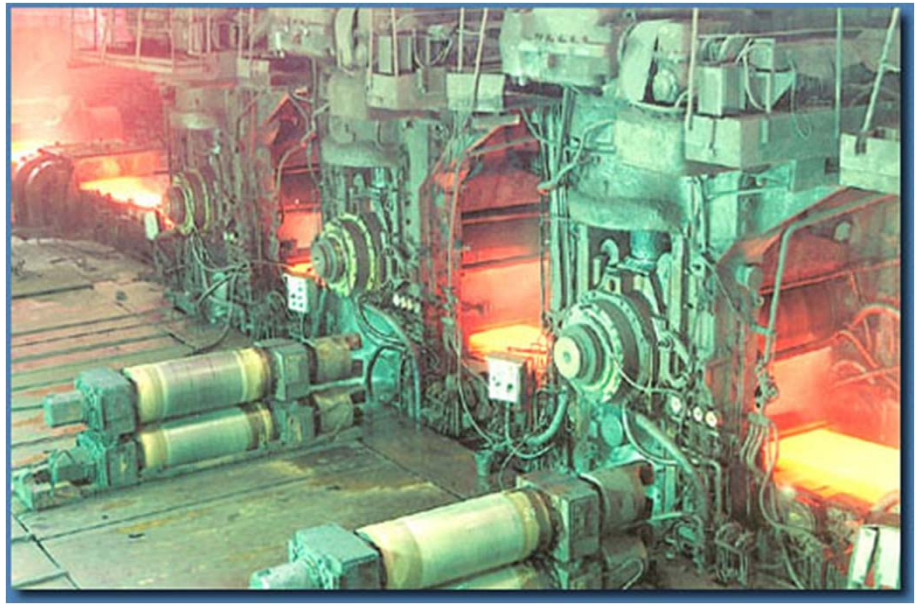
A **laminação a quente** modifica por completo a estrutura bruta de fundição e refina o grão do metal que foi laminado, melhorando suas propriedades mecânicas e metalúrgicas, no sentido da laminação.

Na **laminação a frio** consegue-se um aumento da resistência mecânica da chapa laminada por encruamento e um excelente acabamento superficial (até polido, se desejado).

Na laminação a quente, o grau de deformação é tipicamente da ordem de centenas de vezes, enquanto que na laminação a frio este grau de deformação é pelo menos dez vezes menor.

ⓘ *Grau de deformação, em laminação, é a relação entre a espessura inicial e a espessura final do material laminado. Pode ser analisado em cada passe ou considerando a deformação total.*

LAMINAÇÃO A QUENTE



Laminador de tiras a quente(*)

Laminador de tiras a quente(**)

(*): Disponível em: <www.nkmz.com/English/rolling.html>. Acesso em 12nov2009.

(**): Disponível em: <http://www.voestalpine.com/grobblech/en/op2/produktion/walzung.html>. Acesso em 12nov2009.

EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÕES DE LAMINADORES A QUENTE

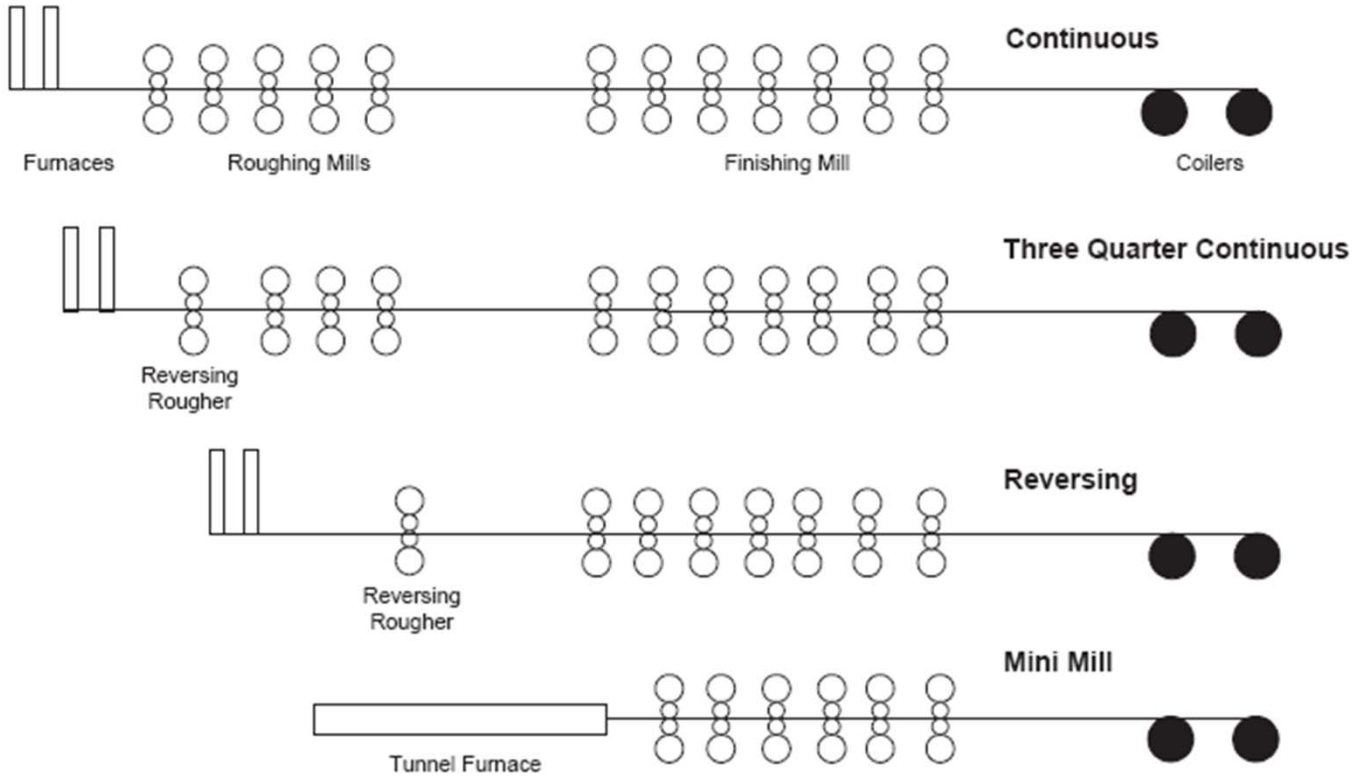
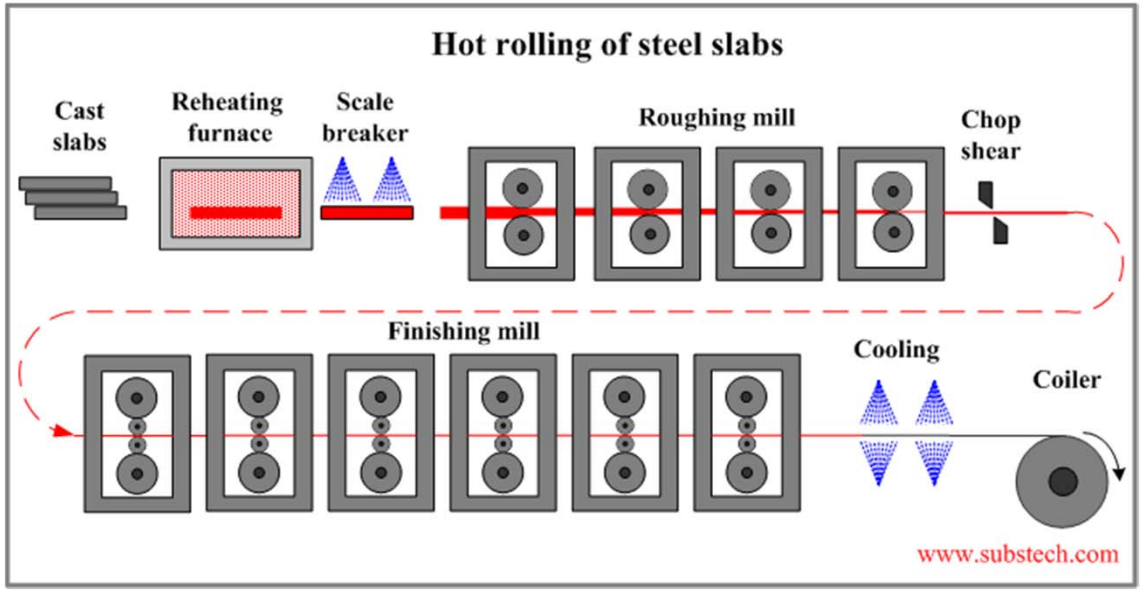


Figure 1 Examples of various hot strip mill configurations

(*): Rolls for the Metalworking Industry.

LAMINAÇÃO A QUENTE

- Aquecimento/manutenção da temperatura do material
- Limpeza superficial primária da carepa do material
- Laminação de desbaste (redução da placa de ~ 200 mm até ~ 50 mm)
- Limpeza superficial secundária da carepa do material



(*): Disponível em: <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=steel_strip_processing>. Acesso em 12nov2009.

LAMINAÇÃO A QUENTE

- Aquecimento/manutenção da temperatura do material
- Limpeza superficial primária da carepa do material
- Laminação de desbaste (redução da placa de ~ 200 mm até ~ 50 mm)
- Limpeza superficial secundária da carepa do material

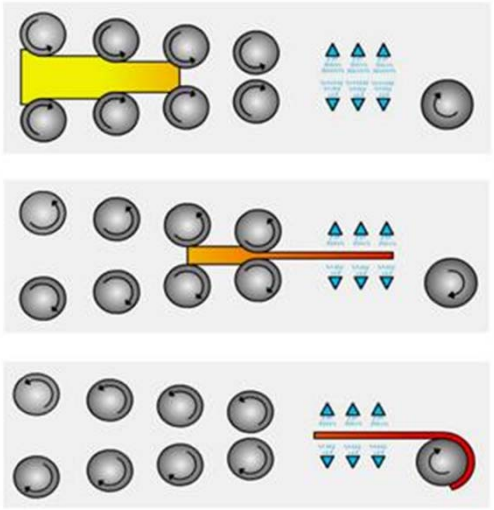
LAMINAÇÃO DE TIRAS A QUENTE

LAMINAÇÃO DE BARRAS E PERFIS

LAMINAÇÃO A QUENTE

- Aquecimento/manutenção da temperatura do material
- Limpeza superficial primária da carepa do material
- Laminação de desbaste (redução da placa de ~ 200 mm até ~ 50 mm)
- Limpeza superficial secundária da carepa do material

LAMINAÇÃO DE TIRAS A QUENTE



Em geral, laminadores de tiras a quente têm suas cadeiras acabadoras contínuas e suas cadeiras desbastadoras contínuas ou reversíveis

Cada bobina de aço pode chegar a até 30 toneladas e sua temperatura fica em torno de 600°C.

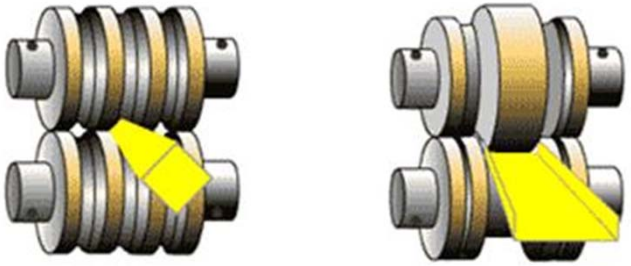
Bobina de aço*

(*): Disponível em: <http://www.steelrerollingmills.com/hot-rolling.html>. Acesso em 12nov2009.

LAMINAÇÃO A QUENTE

- Aquecimento/manutenção da temperatura do material
- Limpeza superficial primária da carepa do material
- Laminação de desbaste (redução da placa de ~ 200 mm até ~ 50 mm)
- Limpeza superficial secundária da carepa do material

LAMINAÇÃO DE BARRAS E PERFIS



A laminação de barras e perfis difere da laminação de planos, pois a seção transversal do metal é reduzida em duas direções.

LAMINAÇÃO A FRIO

LAMINAÇÃO A FRIO

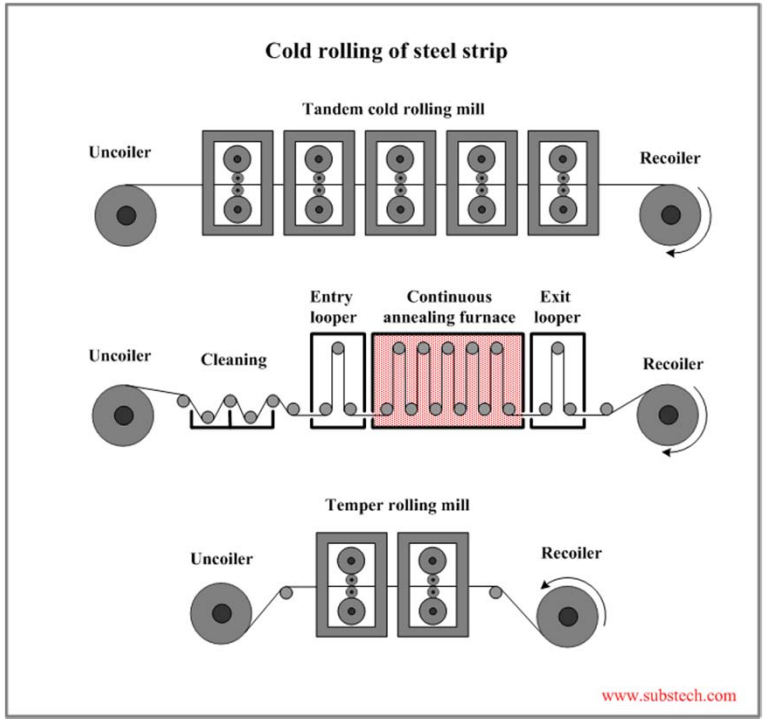
- *acabamento superficial e tolerâncias dimensionais superiores às tiras produzidas por laminação a quente*

- *o encruamento resultante da redução a frio garante maior resistência ao produto final, além de melhor aspecto superficial (menor rugosidade e livre de oxidações aparentes).*

LAMINAÇÃO A FRIO

- *acabamento superficial e tolerâncias dimensionais superiores às tiras produzidas por laminação a quente*

- *o encruamento resultante da redução a frio garante maior resistência ao produto final, além de melhor aspecto superficial (menor rugosidade e livre de oxidações aparentes).*

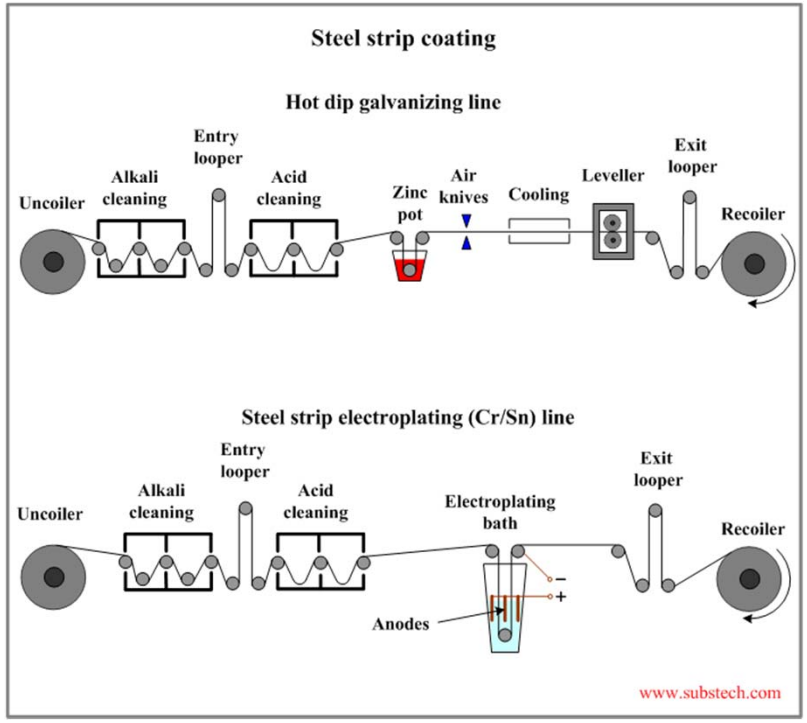


(*): Disponível em: <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=steel_strip_processing>. Acesso em 12nov2009.

LAMINAÇÃO A FRIO

- *acabamento superficial e tolerâncias dimensionais superiores às tiras produzidas por laminação a quente*

- *o encruamento resultante da redução a frio garante maior resistência ao produto final, além de melhor aspecto superficial (menor rugosidade e livre de oxidações aparentes).*



(*): Disponível em: <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=steel_strip_processing>. Acesso em 12nov2009.

DEFEITOS DE CHAPAS LAMINADAS

DEFEITOS DE CHAPAS LAMINADAS

•*<u>Rugosidade</u>: Afeta toda a largura da chapa – é constituída de partículas de carepa engastadas na superfície, que desaparecem depois da decapagem e deixam um aspecto áspero.*

DEFEITOS DE CHAPAS LAMINADAS

•*Rugosidade: Afeta toda a largura da chapa – é constituída de partículas de carepa engastadas na superfície, que desaparecem depois da decapagem e deixam um aspecto áspero.*

•*Marcas de cilindros- Tem origem numa irregularidade na superfície do cilindro de trabalho e que, a cada rotação, são reproduzidas na superfície do metal.*

DEFEITOS DE CHAPAS LAMINADAS

•*Rugosidade: Afeta toda a largura da chapa – é constituída de partículas de carepa engastadas na superfície, que desaparecem depois da decapagem e deixam um aspecto áspero.*

•*Marcas de cilindros- Tem origem numa irregularidade na superfície do cilindro de trabalho e que, a cada rotação, são reproduzidas na superfície do metal.*

•*Ondulações- Resultam de tensão muito baixa, má planicidade ou perfil assimétrico da tira do acabador.*

DEFEITOS DE CHAPAS LAMINADAS

•*Rugosidade: Afeta toda a largura da chapa – é constituída de partículas de carepa engastadas na superfície, que desaparecem depois da decapagem e deixam um aspecto áspero.*

•*Marcas de cilindros- Tem origem numa irregularidade na superfície do cilindro de trabalho e que, a cada rotação, são reproduzidas na superfície do metal.*

•*Ondulações- Resultam de tensão muito baixa, má planicidade ou perfil assimétrico da tira do acabador.*

•*Vazios: São locais onde aparecem "buracos" no produto laminado e podem ser oriundos de rechupes ou dos gases retidos no metal, quando da sua fundição. Este tipo de defeito reduz a resistência mecânica do produto.*

DEFEITOS DE CHAPAS LAMINADAS

•*Rugosidade: Afeta toda a largura da chapa – é constituída de partículas de carepa engastadas na superfície, que desaparecem depois da decapagem e deixam um aspecto áspero.*

•*Marcas de cilindros- Tem origem numa irregularidade na superfície do cilindro de trabalho e que, a cada rotação, são reproduzidas na superfície do metal.*

•*Ondulações- Resultam de tensão muito baixa, má planicidade ou perfil assimétrico da tira do acabador.*

•*Vazios: São locais onde aparecem "buracos" no produto laminado e podem ser oriundos de rechupes ou dos gases retidos no metal, quando da sua fundição. Este tipo de defeito reduz a resistência mecânica do produto.*

•*Gotas Frias: São pingos de metal que se solidificam na parede da lingoteira durante o vazamento do metal na fundição e, quando o líquido chega nestes pingos solidificados para preencher e formar o bloco que será laminado, a "gota fria" adere-se ao bloco e forma o defeito.*

DEFEITOS DE CHAPAS LAMINADAS

•*Rugosidade: Afeta toda a largura da chapa – é constituída de partículas de carepa engastadas na superfície, que desaparecem depois da decapagem e deixam um aspecto áspero.*

•*Marcas de cilindros- Tem origem numa irregularidade na superfície do cilindro de trabalho e que, a cada rotação, são reproduzidas na superfície do metal.*

•*Ondulações- Resultam de tensão muito baixa, má planicidade ou perfil assimétrico da tira do acabador.*

•*Vazios: São locais onde aparecem "buracos" no produto laminado e podem ser oriundos de rechupes ou dos gases retidos no metal, quando da sua fundição. Este tipo de defeito reduz a resistência mecânica do produto.*

•*Gotas Frias: São pingos de metal que se solidificam na parede da lingoteira durante o vazamento do metal na fundição e, quando o líquido chega nestes pingos solidificados para preencher e formar o bloco que será laminado, a "gota fria" adere-se ao bloco e forma o defeito.*

•*Trincas: São rachaduras que aparecem nas peças laminadas e, tipicamente, são oriundas de temperaturas inadequadas durante a laminação.*

DEFEITOS DE CHAPAS LAMINADAS

•*Rugosidade: Afeta toda a largura da chapa – é constituída de partículas de carepa engastadas na superfície, que desaparecem depois da decapagem e deixam um aspecto áspero.*

•*Marcas de cilindros- Tem origem numa irregularidade na superfície do cilindro de trabalho e que, a cada rotação, são reproduzidas na superfície do metal.*

•*Ondulações- Resultam de tensão muito baixa, má planicidade ou perfil assimétrico da tira do acabador.*

•*Vazios: São locais onde aparecem "buracos" no produto laminado e podem ser oriundos de rechupes ou dos gases retidos no metal, quando da sua fundição. Este tipo de defeito reduz a resistência mecânica do produto.*

•*Gotas Frias: São pingos de metal que se solidificam na parede da lingoteira durante o vazamento do metal na fundição e, quando o líquido chega nestes pingos solidificados para preencher e formar o bloco que será laminado, a "gota fria" adere-se ao bloco e forma o defeito.*

•*Trincas: São rachaduras que aparecem nas peças laminadas e, tipicamente, são oriundas de temperaturas inadequadas durante a laminação.*

•*Dobras: São oriundas de reduções de espessura muito elevadas.*

DEFEITOS DE CHAPAS LAMINADAS

•*Rugosidade: Afeta toda a largura da chapa – é constituída de partículas de carepa engastadas na superfície, que desaparecem depois da decapagem e deixam um aspecto áspero.*

•*Marcas de cilindros- Tem origem numa irregularidade na superfície do cilindro de trabalho e que, a cada rotação, são reproduzidas na superfície do metal.*

•*Ondulações- Resultam de tensão muito baixa, má planicidade ou perfil assimétrico da tira do acabador.*

•*Vazios: São locais onde aparecem "buracos" no produto laminado e podem ser oriundos de rechupes ou dos gases retidos no metal, quando da sua fundição. Este tipo de defeito reduz a resistência mecânica do produto.*

•*Gotas Frias: São pingos de metal que se solidificam na parede da lingoteira durante o vazamento do metal na fundição e, quando o líquido chega nestes pingos solidificados para preencher e formar o bloco que será laminado, a "gota fria" adere-se ao bloco e forma o defeito.*

•*Trincas: São rachaduras que aparecem nas peças laminadas e, tipicamente, são oriundas de temperaturas inadequadas durante a laminação.*

•*Dobras: São oriundas de reduções de espessura muito elevadas.*

•*Inclusões: São oriundas do processo de fundição (óxidos, cinzas, escórias, pedaços do refratário do forno de fundição, ou qualquer outro tipo de contaminação sólida inadequada no metal a ser laminado). Normalmente são óxidos metálicos muito mais duros do que os rolos laminadores e provocam a deformação ou marcação destes definitivamente.*

FATORES QUE AFETAM A LAMINAÇÃO

FATORES QUE AFETAM A LAMINAÇÃO

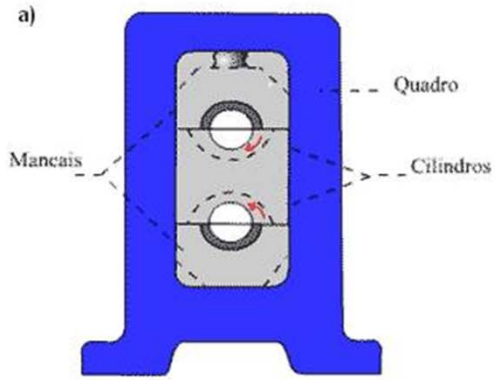
- *Definição do correto processo de laminação*
- *Tipos de laminadores a serem utilizados*
- *Aspectos metalúrgicos a serem considerados*
- *Relações geométricas na laminação (região de deformação, coeficientes de deformação, arco de contato, ângulo de mordida, fatores geométricos que afetam a mordida e o arraste, ângulo neutro, plano neutro e deslizamento)*
- *Mordida do esboço pelos cilindros*
- *Carga de laminação*
- *Alargamento na laminação*
- *Velocidade de deformação*
- *Cálculo da resistência à deformação a quente e a frio*
- *Lubrificação*
- *Atrito*
- *Instrumentação necessária para controle do processo produtivo*
- *Medição da espessura e largura*
- *Medição das forças e esforços envolvidos*
- *Medição e controle da temperatura, da velocidade de trabalho e da planicidade da chapa*
- *Quantidade de recozimentos necessários*

ÍNDICE

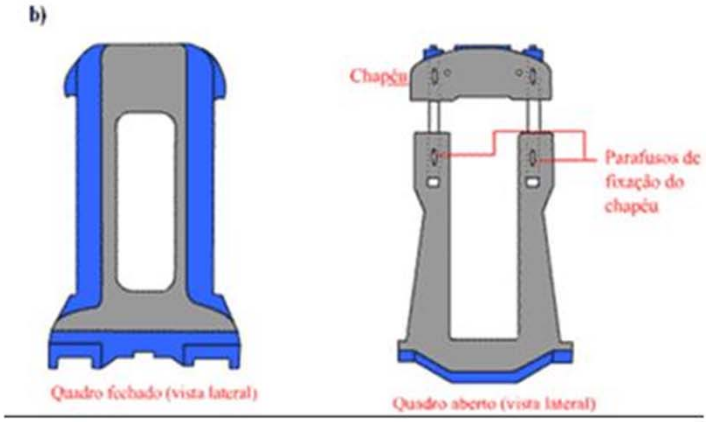
- Indústria Siderúrgica
- Processo de Laminação
- Laminadores
- Cilindros de Laminação
- Evolução das Tecnologias

Partes do laminador: cilindros, mancais, uma carcaça (chamada de quadro, gaiola ou ***cadeira***) e um motor.

Partes do laminador: cilindros, mancais, uma carcaça (chamada de quadro, gaiola ou ***cadeira***) e um motor.



Representação esquemática de uma laminador duo.



Representação esquemática dos dois tipos de gaiolas: fechada e aberta

Partes do laminador: cilindros, mancais, uma carcaça (chamada de quadro, gaiola ou ***cadeira***) e um motor.

O conjunto de cadeiras que compõem um laminador denomina-se ***trem de laminação***.

Partes do laminador: cilindros, mancais, uma carcaça (chamada de quadro, gaiola ou ***cadeira***) e um motor.

O conjunto de cadeiras que compõem um laminador denomina-se ***trem de laminação***.

ⓘ Trem de laminação é a denominação do conjunto de todos os órgãos necessários para se obter um produto final, partindo-se de um lingote sobre o qual é efetuado um trabalho mecânico.

Laminador de tiras a quente(*)

(*): Disponível em: <http://www.sms-demag.com/en/1553.html>. Acesso em 12nov2009.

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

- ***TREM DESBASTADOR**: tem por objetivo reduzir as dimensões do material (lingote ou placa), sem atingir a dimensão final.*

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

- ***TREM DESBASTADOR**: tem por objetivo reduzir as dimensões do material (lingote ou placa), sem atingir a dimensão final.*

- ***TREM INTERMEDIÁRIO**: processa a redução das dimensões da peça sem atingir a forma final, mas com possibilidade disso acontecer.*

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

- ***TREM DESBASTADOR**: tem por objetivo reduzir as dimensões do material (lingote ou placa), sem atingir a dimensão final.*

- ***TREM INTERMEDIÁRIO**: processa a redução das dimensões da peça sem atingir a forma final, mas com possibilidade disso acontecer.*

***TREM DE ACABAMENTO**: processa o material até que este atinja as dimensões finais.*

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

- *Laminação de Planos*
  - ***CHAPAS GROSSAS**: espessura maior do que 6 mm*
  - ***TIRAS A QUENTE**: espessura entre 1 e 6 mm*
  - ***TIRAS A FRIO**: espessura entre 0,3 e 2 mm*
  - ***CHAPAS GALVANIZADAS**: laminadas com revestimento protetor de zinco (por imersão em zinco fundido – processo mais usado – ou por deposição eletrolítica)*
  - ***CHAPAS ESTANHADAS** = folhas de flandres. Chapa fina de aço laminada a frio, com revestimento protetor de estanho (por imersão ou deposição eletrolítica)*

- *Laminação de Longos*
  - *Diversos tipos de **PERFIS: T, Y, V, L, duplo T***
  - ***TARUGOS** de seção quadrada, redonda, sextavada...*
  - ***FERROS FINOS** de seção quadrada, redonda, chata...*
  - ***FIO MÁQUINA:** materiais ferrosos de seção redonda, condicionados em bobinas*

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

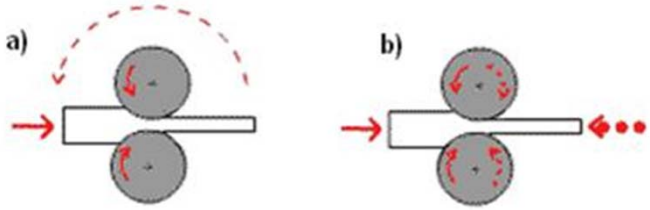
Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

•***DUO**: o mais simples de todos, é constituído por dois cilindros de eixos horizontais, colocados verticalmente um sobre o outro. Pode ser reversível ou não.*



CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

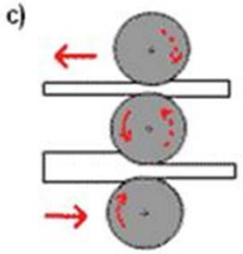
Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

- ***DUO**: o mais simples de todos, é constituído por dois cilindros de eixos horizontais, colocados verticalmente um sobre o outro. Pode ser reversível ou não.*

- ***TRIO**: os cilindros sempre giram no mesmo sentido. Porém, o material pode ser laminado nos dois sentidos, passando-o alternadamente entre o cilindro superior e o intermediário e entre o intermediário e o inferior.*



CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

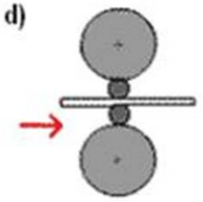
Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

ⓘ Os cilindros de laminação podem ser classificados como cilindros de encosto e cilindros de trabalho. Os cilindros de trabalho são aqueles que entram em contato direto com o material laminado e os cilindros de encosto são aqueles que apóiam os cilindros de trabalho.

- ***DUO**: o mais simples de todos, é constituído por dois cilindros de eixos horizontais, colocados verticalmente um sobre o outro. Pode ser reversível ou não.*
- ***TRIO**: os cilindros sempre giram no mesmo sentido. Porém, o material pode ser laminado nos dois sentidos, passando-o alternadamente entre o cilindro superior e o intermediário e entre o intermediário e o inferior.*
- ***QUADRUO**: para a laminação de materiais de menor espessura é interessante utilizar cilindros de trabalho de pequeno diâmetro. Entretanto, estes cilindros podem sofrer flexão. Para evitar a flexão, estes cilindros são apoiados por cilindros denominados cilindros de encosto*



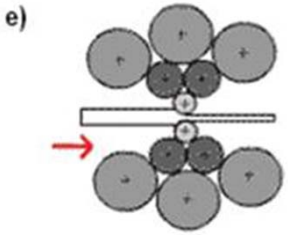
CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro



- ***DUO**: o mais simples de todos, é constituído por dois cilindros de eixos horizontais, colocados verticalmente um sobre o outro. Pode ser reversível ou não.*
- ***TRIO**: os cilindros sempre giram no mesmo sentido. Porém, o material pode ser laminado nos dois sentidos, passando-o alternadamente entre o cilindro superior e o intermediário e entre o intermediário e o inferior.*
- ***QUADRUO**: para a laminação de materiais de menor espessura é interessante utilizar cilindros de trabalho de pequeno diâmetro. Entretanto, estes cilindros podem sofrer flexão. Para evitar a flexão, estes cilindros são apoiados por cilindros denominados cilindros de encosto*
- ***SENDZIMIR**: quando o diâmetro dos cilindros de trabalho é pequeno (<100 mm), eles podem sofrer flexão tanto na direção vertical quanto na horizontal. Para evitar a flexão, os cilindros devem ser apoiados em ambas as direções*

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

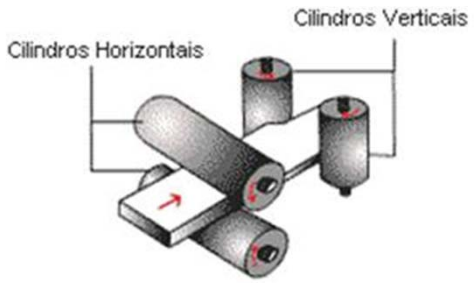
Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

f)



- ***DUO**: o mais simples de todos, é constituído por dois cilindros de eixos horizontais, colocados verticalmente um sobre o outro. Pode ser reversível ou não.*
- ***TRIO**: os cilindros sempre giram no mesmo sentido. Porém, o material pode ser laminado nos dois sentidos, passando-o alternadamente entre o cilindro superior e o intermediário e entre o intermediário e o inferior.*
- ***QUADRUO**: para a laminação de materiais de menor espessura é interessante utilizar cilindros de trabalho de pequeno diâmetro. Entretanto, estes cilindros podem sofrer flexão. Para evitar a flexão, estes cilindros são apoiados por cilindros denominados cilindros de encosto*
- ***SENDZIMIR**: quando o diâmetro dos cilindros de trabalho é pequeno (<100 mm), eles podem sofrer flexão tanto na direção vertical quanto na horizontal. Para evitar a flexão, os cilindros devem ser apoiados em ambas as direções*
- ***UNIVERSAL**: dispõe de dois pares de cilindros de trabalho, com eixos verticais e horizontais*

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

- ***MESA LISA*** *(laminador de planos)*

CLASSIFICAÇÃO DE LAMINADORES

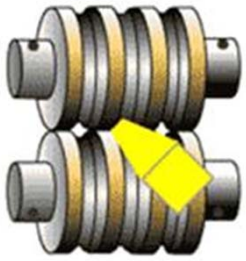
Conforme o produto que trabalham

Conforme o produto que produzem

Conforme o número de cilindros por cadeira

Conforme o formato da mesa do cilindro

- ***MESA LISA*** *(laminador de planos)*
- ***MESA RANHURADA*** *(laminadores de perfis)*



ÍNDICE

- Indústria Siderúrgica
- Processo de Laminação
- Laminadores
- Cilindros de Laminação
- Evolução das Tecnologias

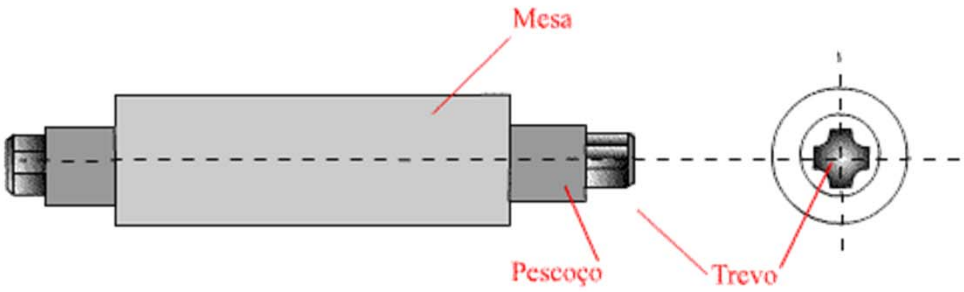
Os cilindros são componentes de destaque inegável na elaboração dos laminados: mantém contato direto com o produto acabado e são responsáveis por sua forma e aspecto.

Os cilindros de laminação são compostos de três partes principais:

- *MESA: região do cilindro onde ocorre o contato com o material a ser laminado – pode ser lisa ou com canais*

- *PESCOÇOS: região dos cilindros onde se encaixam os mancais*

- *TREVOS OU GARFOS DE ACIONAMENTO: serve de ligação do cilindro com os eixos de força, por meio de uma luva.*

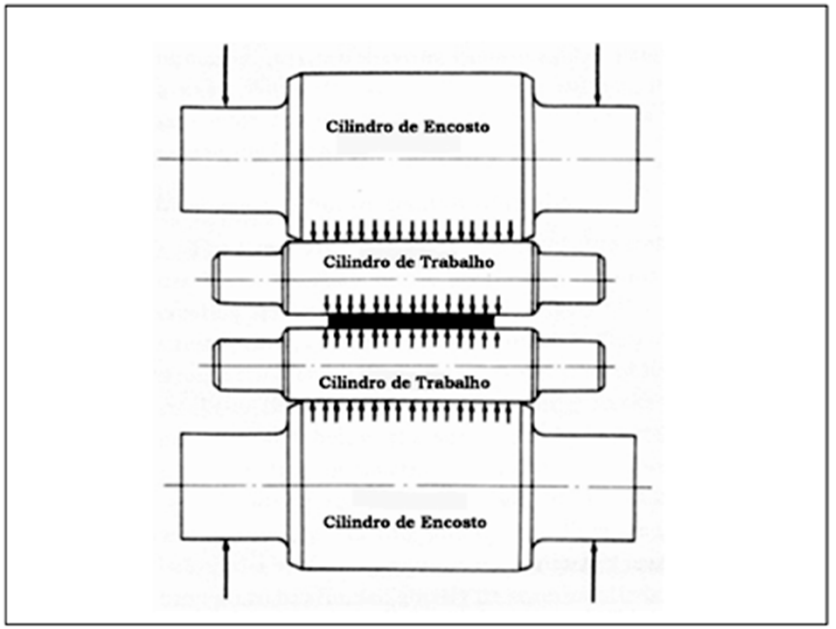


Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6476-laminadores>. Acesso em maio 2011.

Os cilindros de laminação podem utilizados como cilindros de trabalho ou cilindros de encosto (ou apoio).

- Os cilindros de trabalho são aqueles que entram em contato direto com o material laminado. Sofrem, portanto, as maiores solicitações de temperatura e desgaste.

- Os cilindros de encosto (ou apoio) são aqueles que não entram em contato com o material laminado, mas sim com o cilindro de trabalho. Servem para apoiar o cilindro de trabalho impedindo sua flexão. Para isso, são cilindros de maior porte.



Disponível em: <http://www.scielo.br/img/revistas/rem/v56n2/0021i01.gif>. Acesso em jun 2011.

CLASSIFICAÇÃO DOS CILINDROS

QUANTO A APLICAÇÃO

- CILINDROS PARA LAMINAÇÃO DE TIRAS À FRIO – LTF
- CILINDROS PARA LAMINAÇÃO DE TIRAS À QUENTE – LTQ
- CILINDROS PARA LAMINAÇÃO DE LONGOS

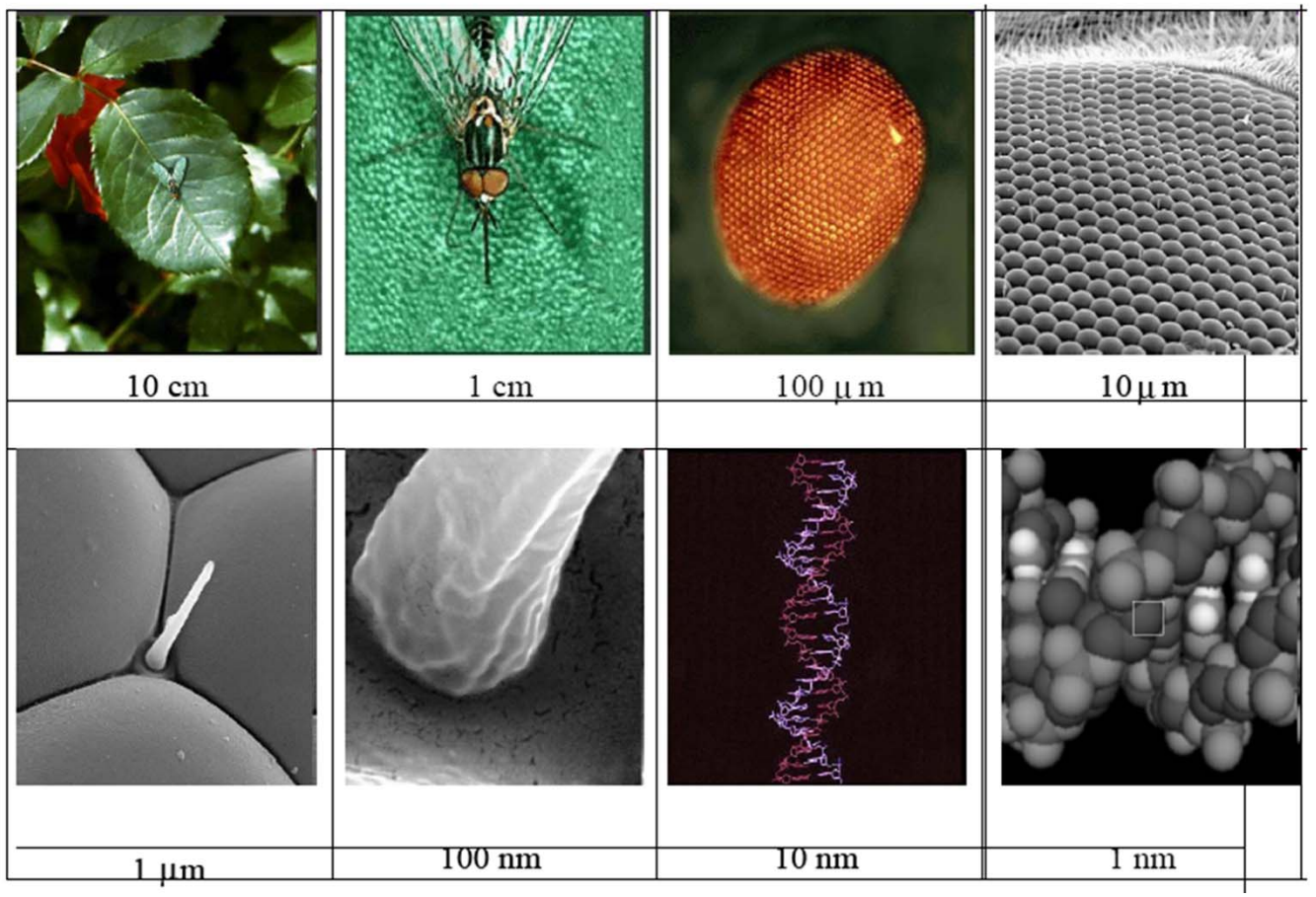
QUANTO AO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

- CILINDROS FUNDIDOS
  - Fundidos convencionais
  - Fundidos por centrifugação
- CILINDROS FORJADOS

COMO OLHAR PARA OS CILINDROS

ESCALAS - CURIOSIDADE

Vemos um jardim e uma mosca numa folha (10^{-1}); um detalhe da mosca (10^{-2}); o olho da mosca e detalhes deste órgão, lembrando um favo (10^{-4}); o olho da mosca, esta constituído por centenas de olhos facetados (10^{-5}); um detalhe de pêlo sensor na superfície do olho (10^{-6}); a base deste sensor (10^{-7}); material genético da mosca (10^{-8}) e aglomerados atômicos nanométricos (10^{-9}).



Disponível em: <http://microcosm.web.cern.ch/microcosm>. Acesso em maio2011.

COMO OLHAR PARA OS CILINDROS

ESCALAS – CILINDRO: A PEÇA

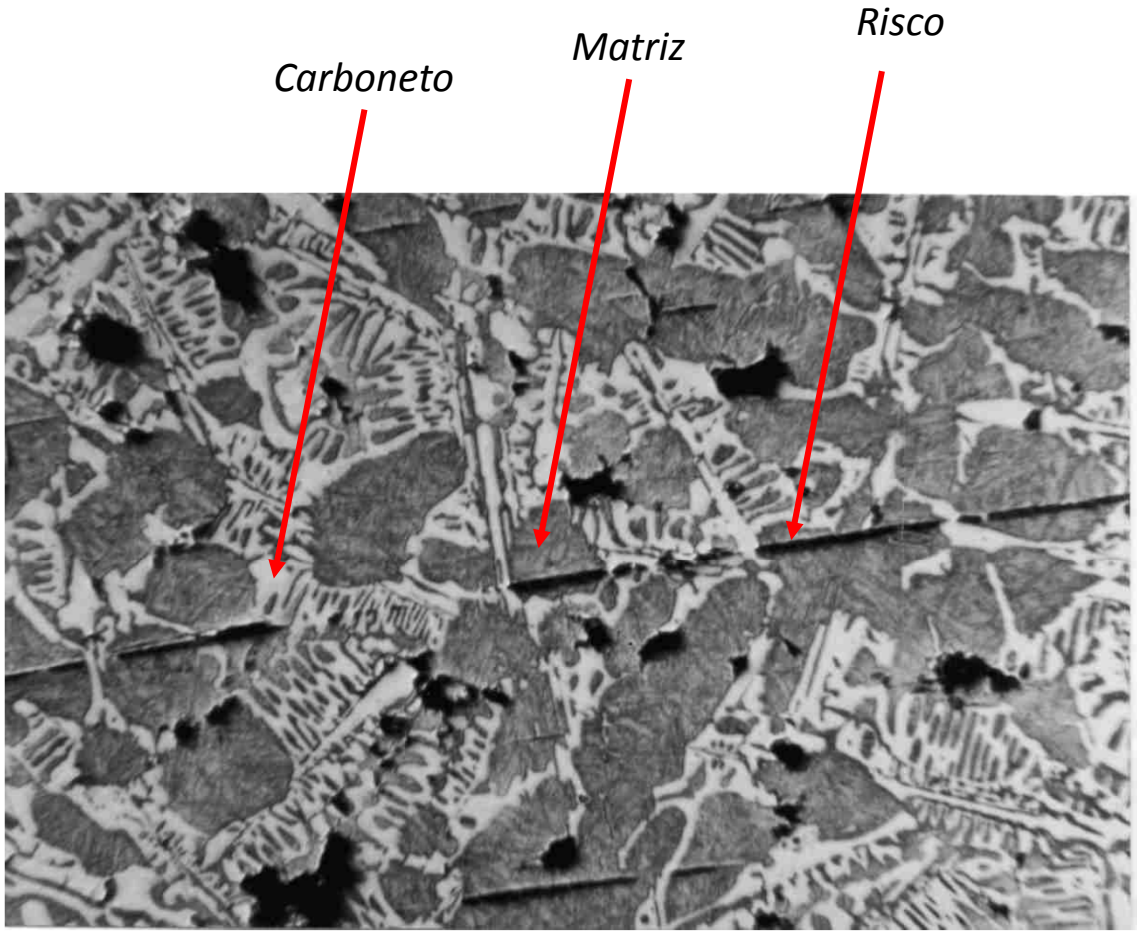
COMO OLHAR PARA OS CILINDROS

ESCALAS – CILINDRO: A MACROGRAFIA

Macrografia VC10

COMO OLHAR PARA OS CILINDROS

ESCALAS – CILINDRO: A MICROGRAFIA

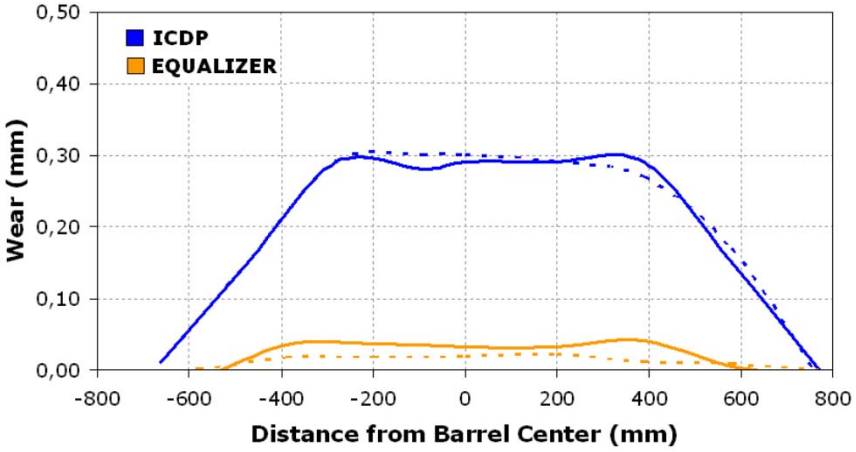


Microestrutura
CI82

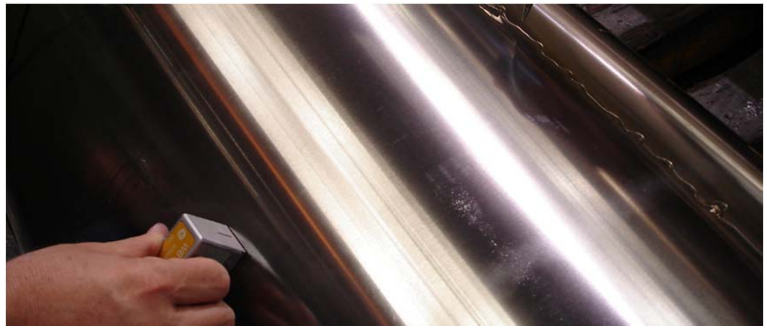
COMO OLHAR PARA OS CILINDROS

ESCALAS – CILINDRO: DO DESVIO DE FORMA À RUGOSIDADE

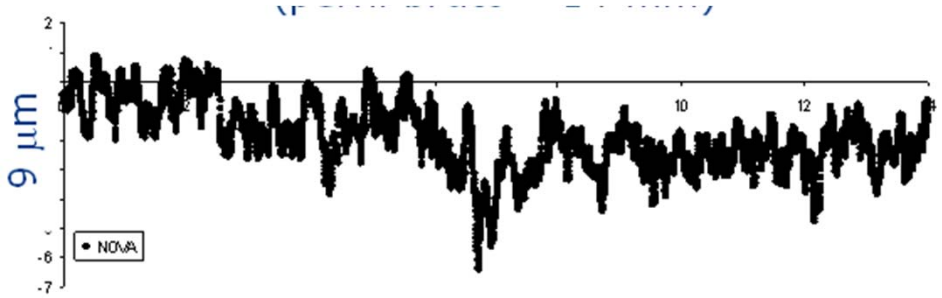
Foto cilindro



Perfil de desgaste (FORMA)



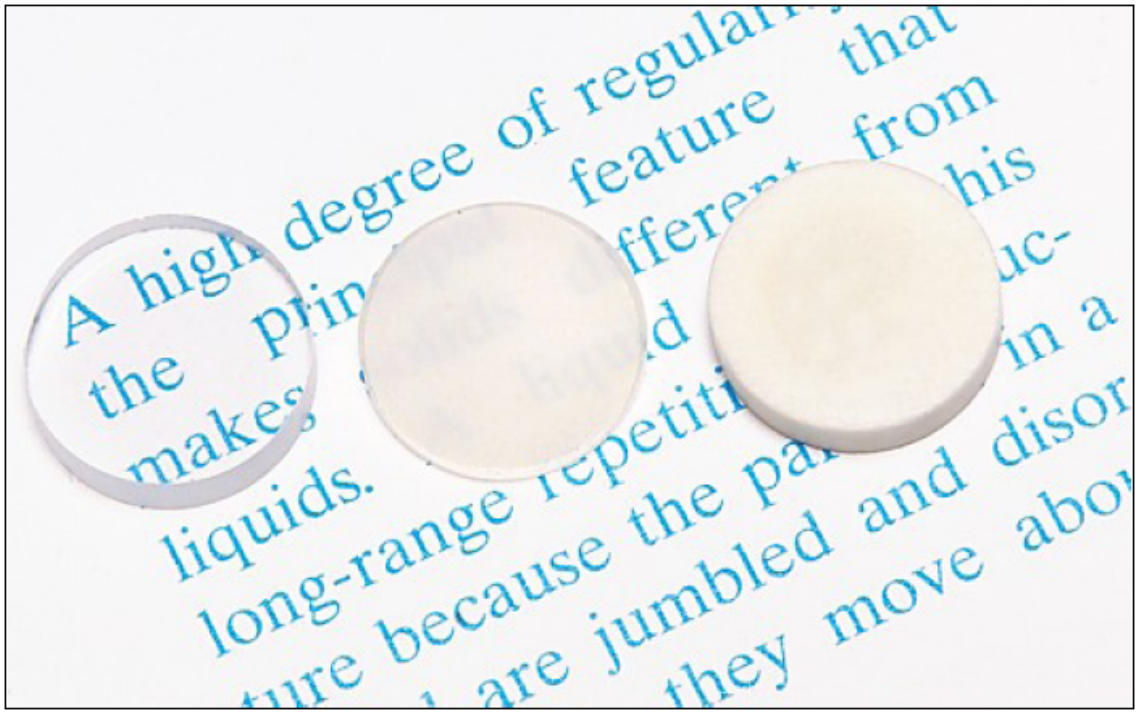
Forma – cilindro retificado



Rugosidade – cilindro retificado

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

CORRELAÇÃO ESTRUTURA-PROPRIEDADES



Exemplo: Três amostras de alumina (Al2O3) processadas por diferentes rotas. Da esquerda para a direita: (i) monocristal (transparente), (ii) policristal denso (translúcido) e (iii) policristal poroso (opaco).

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

MICROESTRUTURA

A microestrutura de um material compreende as características físicas do material que podem ser observadas ao microscópio (macroestrutura, em contrapartida, se refere às características observáveis ao olho nú).

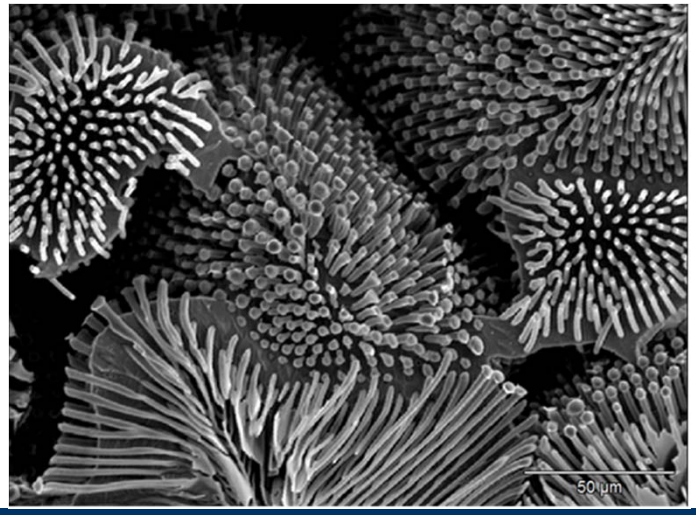
A microestrutura cobre uma faixa de características entre $1E10^{-9}$ m (1 nm, ou 10 Å) até 1000 µm (isto é: $1E10^{-3}$ m, ou 1 mm).

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

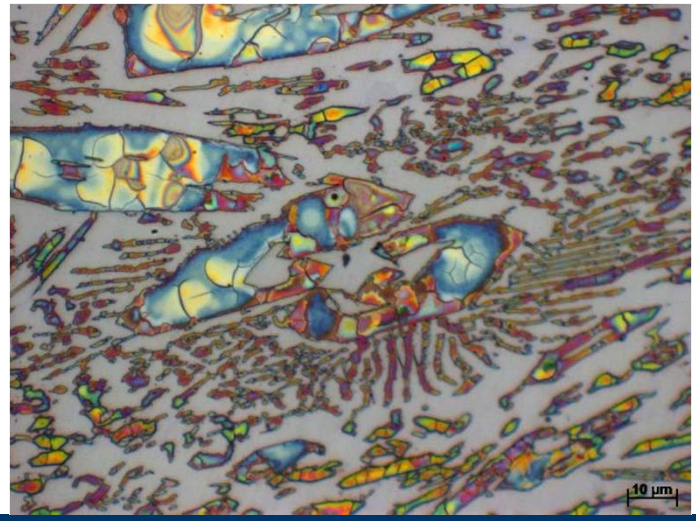
O que são carbonetos? Para que servem?

- São compostos de metais e carbono com fórmula genérica M_xC_y (MC, M_2C, M_3C, M_7C_3). Os principais metais que formam carbonetos são: ferro, cromo, molibdênio, vanádio, nióbio e titânio.
- Servem para garantir resistência mecânica e resistência ao desgaste.

Carboneto de Vanádio – MC



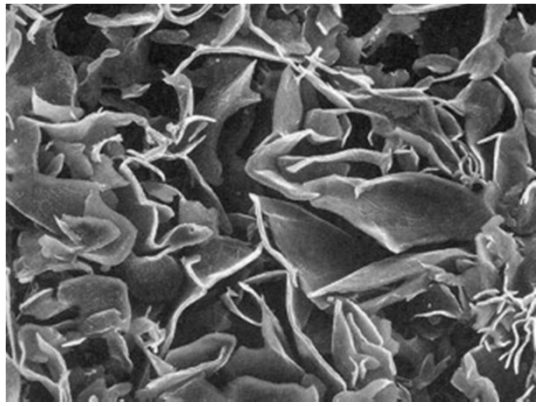
Carboneto de Cromo – M_7C_3



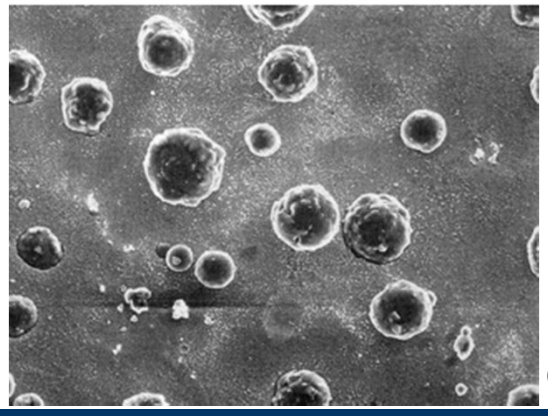
TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

O que é grafita? Para que serve?

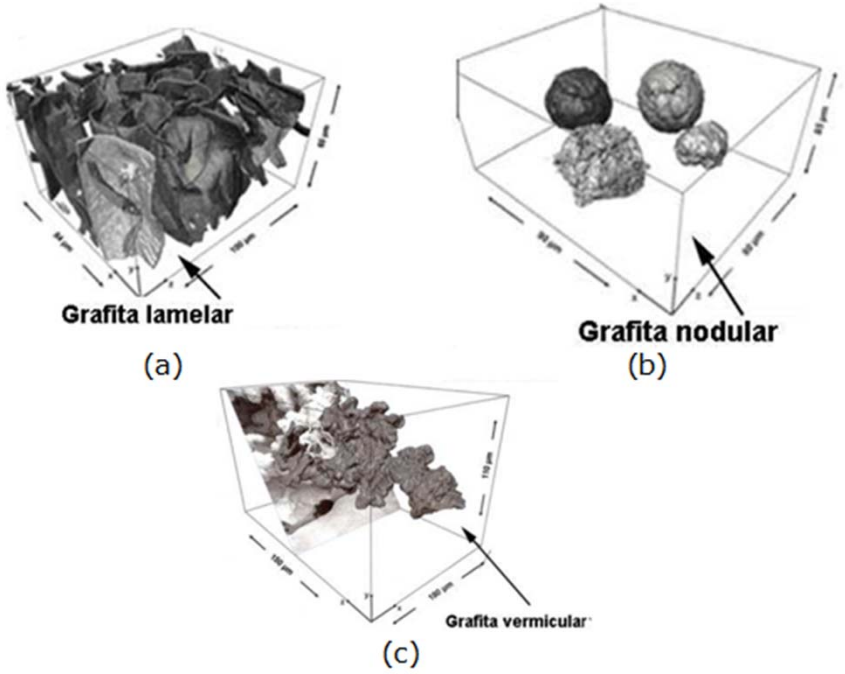
É uma substância simples formada apenas por carbono.



Grafita lamelar



Grafita nodular



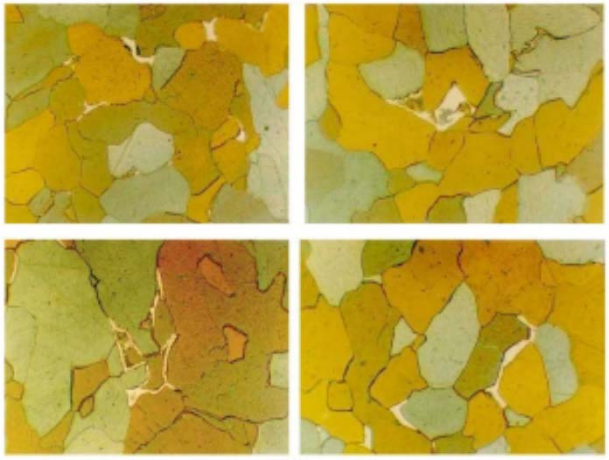
Disponível em: <http://www.magmasoft.de/ms/_data/Iron_320x240.gif>. Acesso em mai 2011.

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

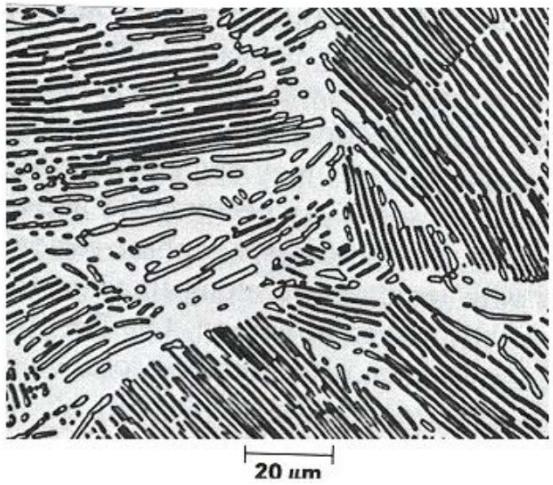
O que é matriz? Para que serve?

- É todo o resto da microestrutura (excluindo carbonetos e grafitas).
- Serve, em especial, para conferir tenacidade ao cilindro de laminação.

Ferrita



Perlita



Martensita

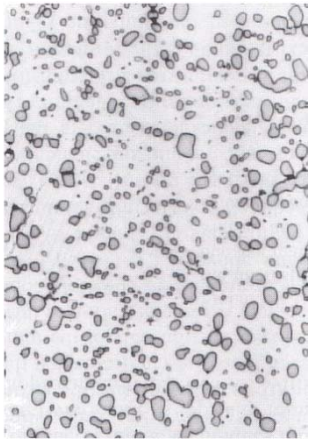
TENDÊNCIA GERAL

Resistência

NODC, NODB
VAF

ACIC
NODE

VHCR
VHSS

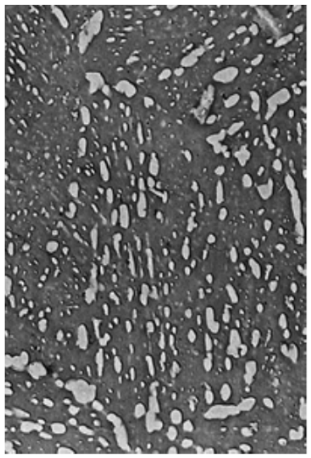


Perlita esferoidizada

Perlita grosseira

Perlita fina

Bainita



Martensita revenida

Martensita

Dutilidade

Usinabilidade

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

Materiais para cascas

Materiais para núcleos

O que se espera no cliente de cada um destes grupos de materiais?

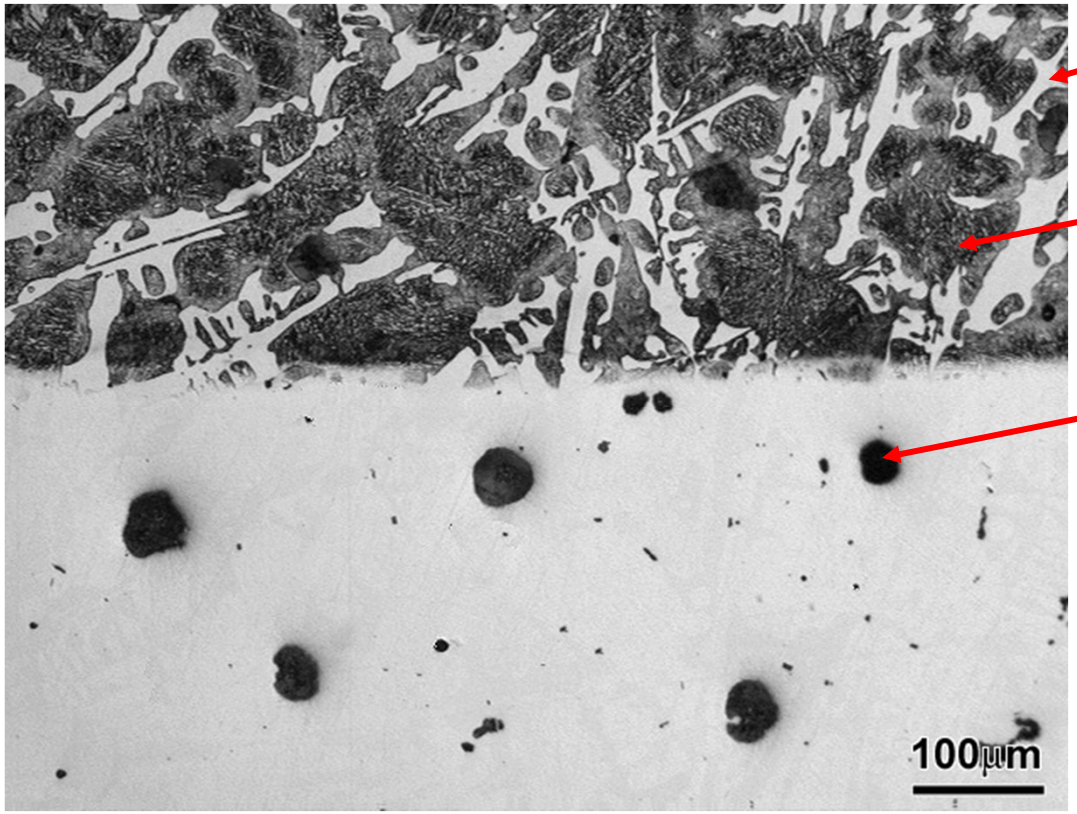
O que se espera na usinagem de cada um destes grupos de materiais?

O que se espera no tratamento térmico de cada um destes grupos de materiais?

O que se espera na fundição de cada um desses grupos de materiais?

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

FERROS FUNDIDOS NODULARES: são caracterizados por apresentar grafita (fase de carbono puro) no formato esférico.



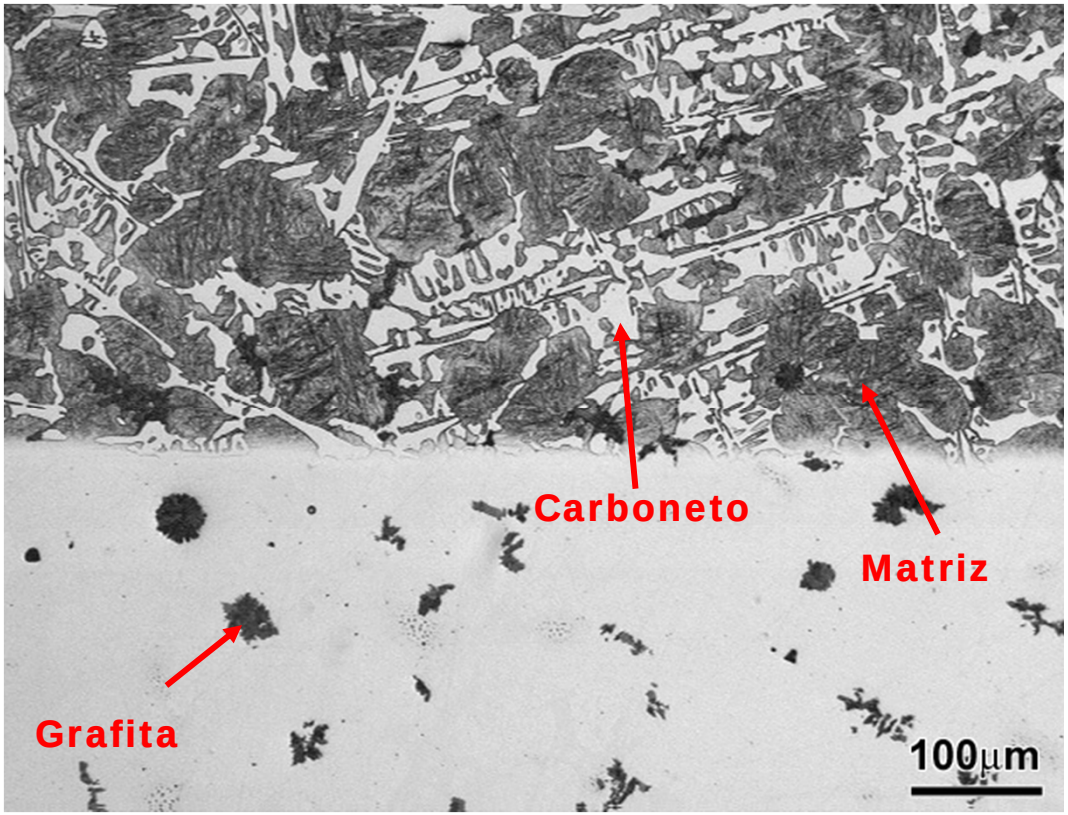
Exemplo de microestrutura de ferros Fundidos nodulares – ACIC C.

Ferros fundidos nodulares são amplamente utilizados em cilindros de laminação das cadeiras desbastadoras e intermediárias de longos e cadeiras verticais de LTQs.

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

FERROS FUNDIDOS DE COQUILHAMENTO INDEFINIDO: *'indefinite chill' ou ferro fundido do tipo "Ni-hard" apresentam uma rica constituição em carbonetos eutéticos. São chamados de indefinidos pelo fato de também apresentar grafita em sua microestrutura, estando em posição intermediária entre o ferro fundido branco e o cinzento. Entretanto, a grafita observada possui morfologia intermediária entre veios e nódulos.*

Carboneto. Sobrenome: de ferro

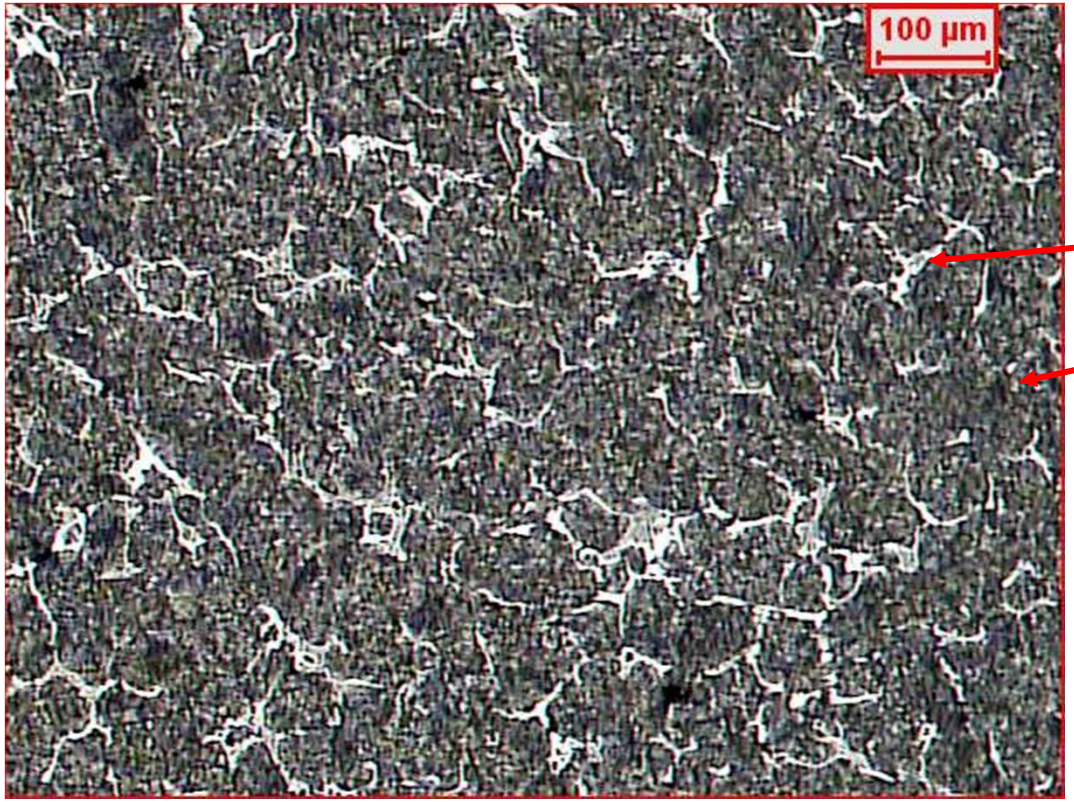


Exemplo de microestrutura de ferro fundido de coquilhamento indefinido – CI80S.

Ferros fundidos indefinidos **são amplamente empregados em cilindros de laminação das últimas cadeiras do laminador de tiras a quente e nas cadeiras intermediárias da laminação de longos.**

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

AÇOS DE ALTO CROMO: *constituídos por carbonetos do tipo M_7C_3 dispersos aleatoriamente em uma matriz martensítica com precipitação secundária de carbonetos.*

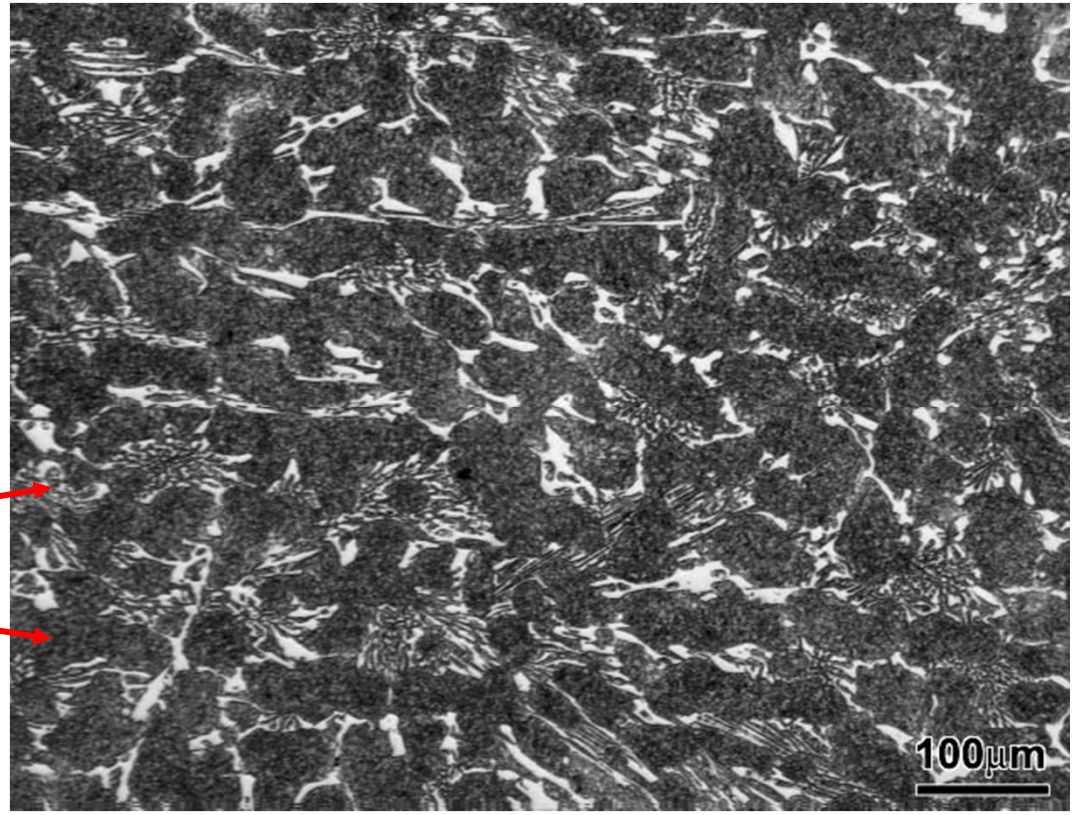


Exemplo de microestrutura de aços de alto cromo

***Aços de alto cromo** são comumente utilizados em cilindros de laminação das cadeiras desbastadoras de produtos planos.*

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

***FERROS FUNDIDOS BRANCOS DE ALTO CROMO**: apresentam elevada resistência ao desgaste abrasivo e erosivo. Isso se deve aos carbonetos do tipo M_7C_3, que apresentam satisfatória relação dureza/tenacidade, quando comparados aos do tipo M_3C.*

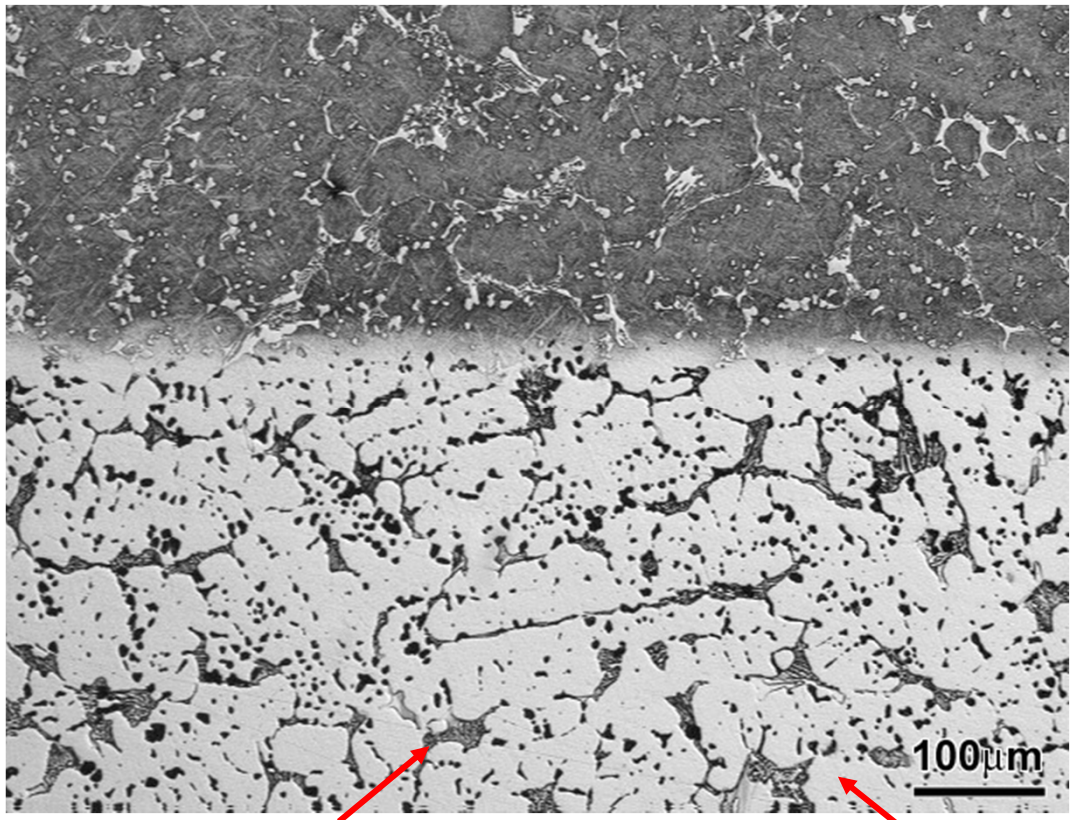


Exemplo de microestrutura de ferro fundido branco de alto cromo – VHCr14.

***Ferros fundidos brancos de alto cromo** são normalmente empregados em cilindros de laminação para as primeiras cadeiras do laminador de tiras a quente ou para as cadeiras desbastadoras.*

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

***FERROS FUNDIDOS BRANCOS MULTICOMPONENTES**:*
constituídos por carbonetos de elevada dureza, cujo principal propósito é elevar a resistência ao desgaste, propriedade muito importante para cilindros laminadores. Esse tipo de material apresenta carbonetos do tipo MC e M_2C, este último podendo ser decomposto em MC e M_6C, por tratamento térmico.



Exemplo de microestrutura de ferro fundido branco multicomponente – VHSS20WR

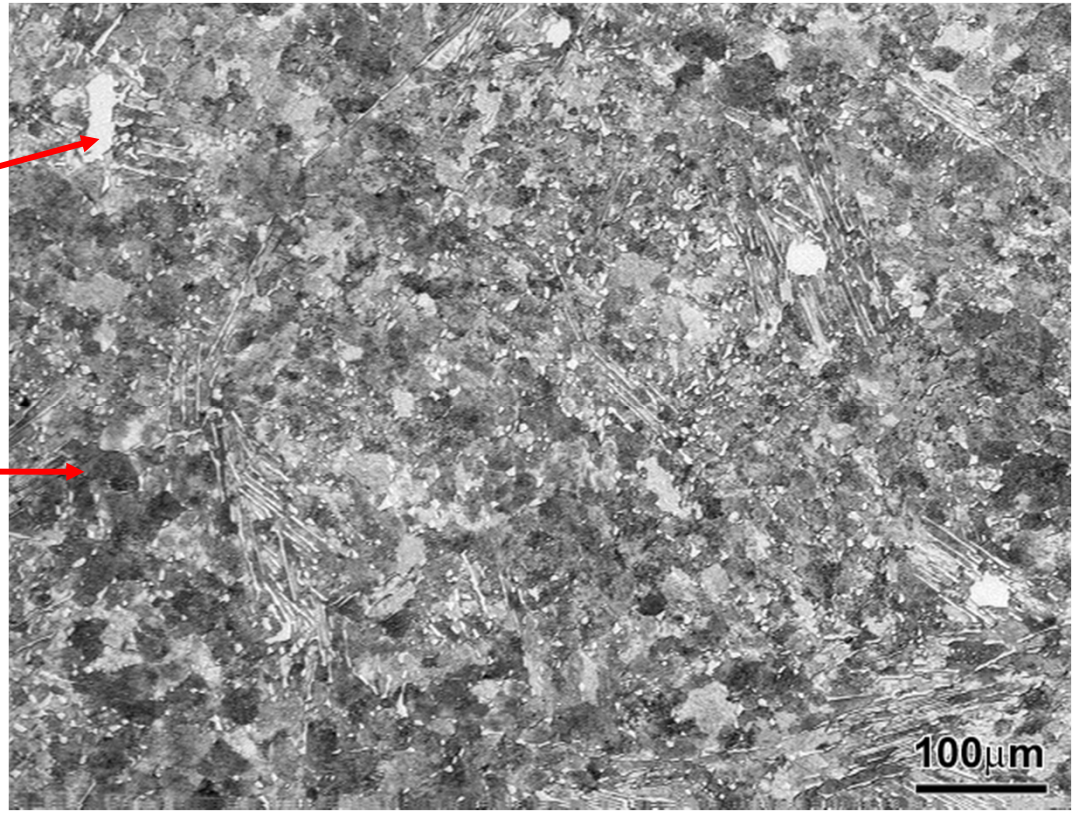
ⓘ ***Ferros fundidos brancos multicomponente** são normalmente empregados em cilindros das primeiras cadeiras do laminador de tiras a quente e em cilindros desbastadores (em laminadores de alto desempenho e com elevada estabilidade operacional) e nas cadeiras de acabamento da laminação de longos.*

TIPOS DE MATERIAS DOS CILINDROS

***AÇOS FORJADOS**: apresentam microestrutura mais refinada quando comparados aos obtidos pelo processo de fundição.*

Carboneto. Sobrenome: de ferro

Matriz

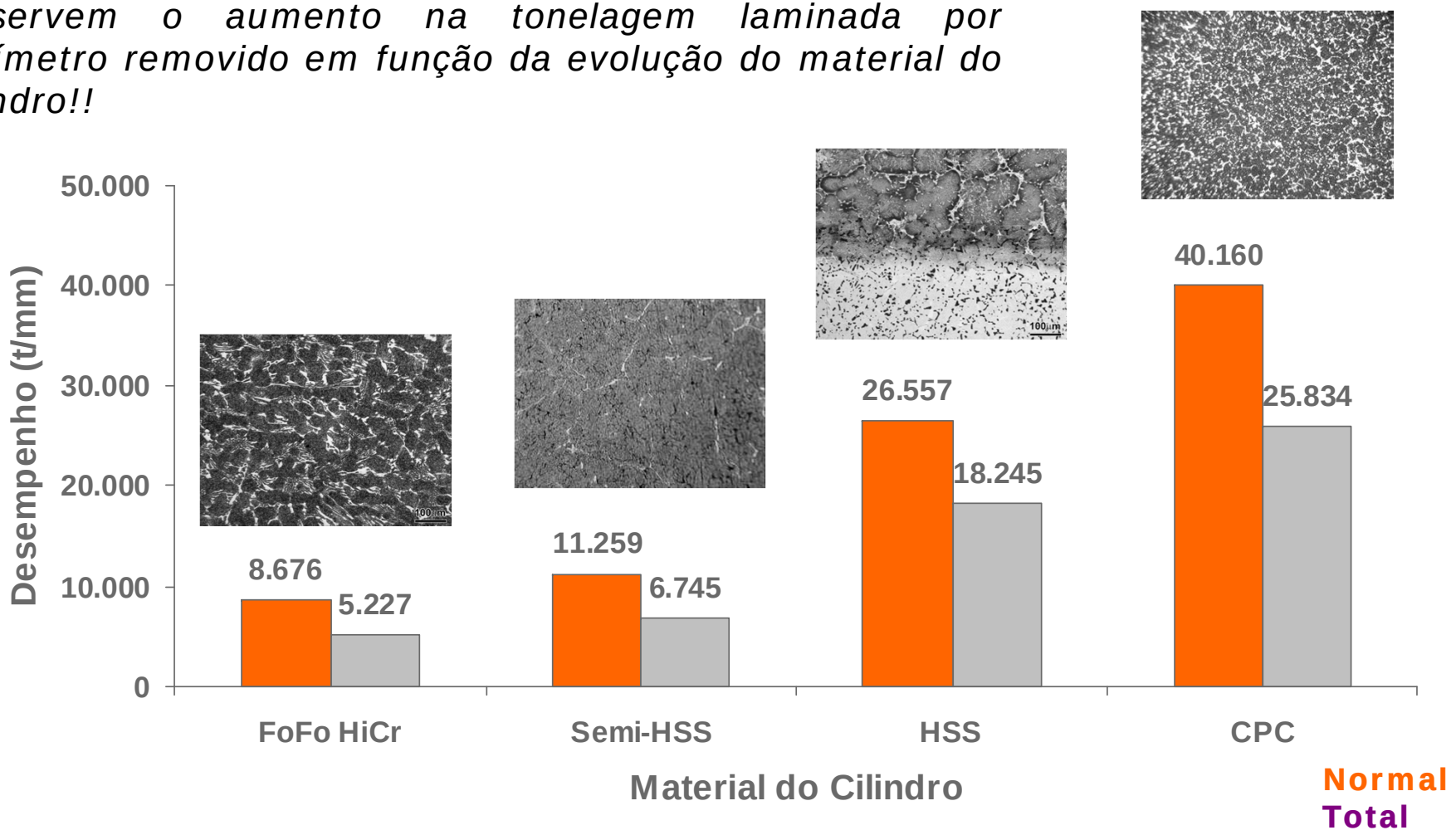


Exemplo de microestrutura de aço forjado – VAF

ⓘ ***Aços forjados** são normalmente utilizados como cilindros de encosto, como cilindros de trabalho para laminação de tiras a frio e como cilindros para laminação de longos.*

EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA – MATERIAIS PARA CILINDROS

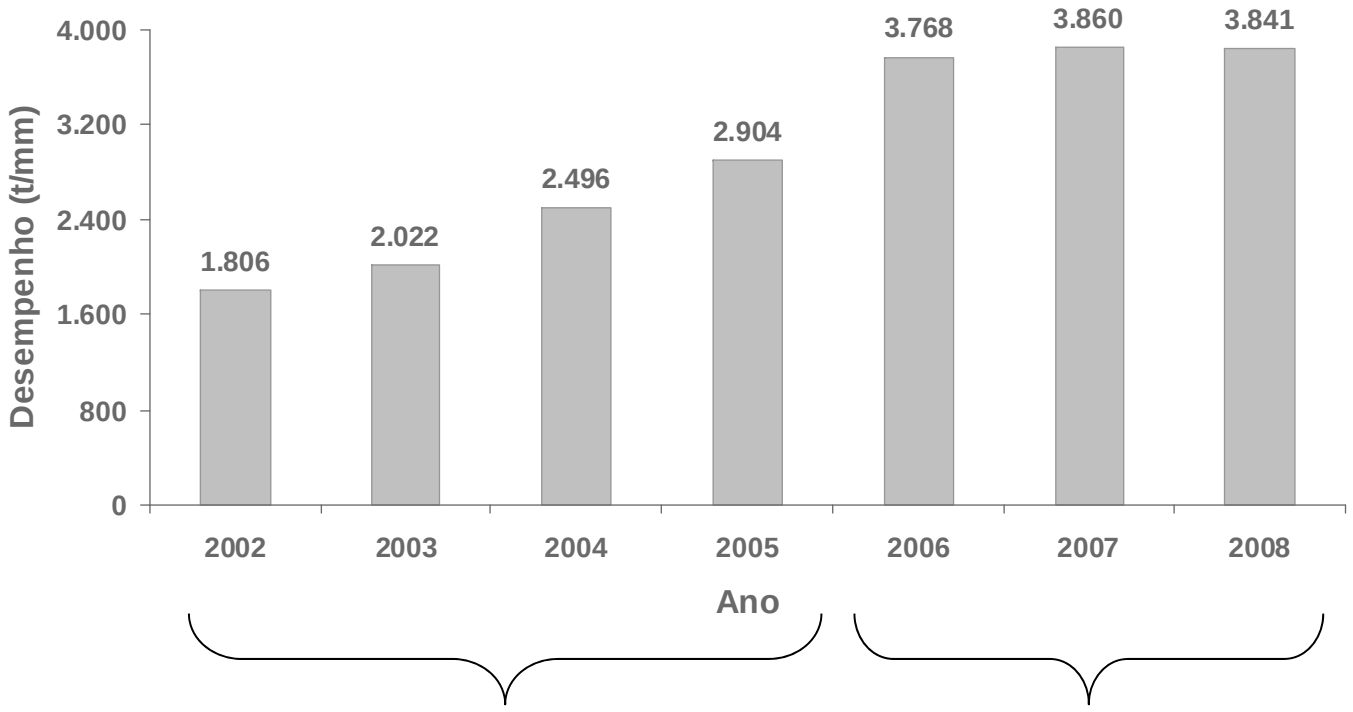
Observem o aumento na tonelagem laminada por milímetro removido em função da evolução do material do cilindro!!



* Dados do laminador de tiras a quente da Arcelor Mittal Tubarão.

EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA – MATERIAIS PARA CILINDROS

Observem a grande diferença entre a tonelada laminada por milímetro removido das últimas cadeiras do LTQ em relação à primeiras (slide anterior) !!



EQUALIZER??

desempenho de 6.000 a 10.000 t/mm

ÍNDICE

- Indústria Siderúrgica
- Processo de Laminação
- Laminadores
- Cilindros de Laminação
- Evolução das Tecnologias

Os cilindros de laminação têm papel fundamental na laminação por afetar diretamente a produtividade do laminador e indiretamente a qualidade do produto laminado.

Os cilindros de laminação têm papel fundamental na laminação por afetar diretamente a produtividade do laminador e indiretamente a qualidade do produto laminado.

O desempenho em serviço dos cilindros de laminação está, em maior ou menor grau, ligado às seguintes propriedades do material: resistência mecânica, tenacidade, resistência ao desgaste e resistência à fadiga térmica (no caso de laminação a quente).

Os cilindros de laminação têm papel fundamental na laminação por afetar diretamente a produtividade do laminador e indiretamente a qualidade do produto laminado.

O desempenho em serviço dos cilindros de laminação está, em maior ou menor grau, ligado às seguintes propriedades do material: resistência mecânica, tenacidade, resistência ao desgaste e resistência à fadiga térmica (no caso de laminação a quente).

O desenvolvimento de materiais para cilindros busca alta resistência ao desgaste na superfície de trabalho (contato), associado à alta tenacidade dos pescoços e núcleo.

Os cilindros de laminação têm papel fundamental na laminação por afetar diretamente a produtividade do laminador e indiretamente a qualidade do produto laminado.

O desempenho em serviço dos cilindros de laminação está, em maior ou menor grau, ligado às seguintes propriedades do material: resistência mecânica, tenacidade, resistência ao desgaste e resistência à fadiga térmica (no caso de laminação a quente).

O desenvolvimento de materiais para cilindros busca alta resistência ao desgaste na superfície de trabalho (contato), associado à alta tenacidade dos pescoços e núcleo.

O desgaste é resultado de um mecanismo de degradação superficial, que, em linhas gerais, pode ser abrasivo, oxidativo, por deslizamento ou por fadiga térmica. Esses mecanismos dependem da aplicação, considerando produto e laminador, bem como de parâmetros de laminação e podem, ainda, estar combinados entre si e/ou apresentar prevalência de ocorrência de uns sobre outros.

Os cilindros de laminação têm papel fundamental na laminação por afetar diretamente a produtividade do laminador e indiretamente a qualidade do produto laminado.

O desempenho em serviço dos cilindros de laminação está, em maior ou menor grau, ligado às seguintes propriedades do material: resistência mecânica, tenacidade, resistência ao desgaste e resistência à fadiga térmica (no caso de laminação a quente).

O desenvolvimento de materiais para cilindros busca alta resistência ao desgaste na superfície de trabalho (contato), associado à alta tenacidade dos pescoços e núcleo.

O desgaste é resultado de um mecanismo de degradação superficial, que, em linhas gerais, pode ser abrasivo, oxidativo, por deslizamento ou por fadiga térmica. Esses mecanismos dependem da aplicação, considerando produto e laminador, bem como de parâmetros de laminação e podem, ainda, estar combinados entre si e/ou apresentar prevalência de ocorrência de uns sobre outros.

Novas tecnologias de fabricação de cilindros foram estudadas e desenvolvidas para atender exigências de qualidade e produtividade dos novos projetos de laminadores.

MATERIAIS PARA CILINDROS DE LAMINAÇÃO A QUENTE

MATERIAIS PARA CILINDROS DE LAMINAÇÃO A QUENTE

Material	Composição (% em peso)	Microestrutura	Período
Ferro fundido indefinido	C: 3,0 – 3,4 Ni: 4 - 5 Cr < 2 Mo < 1	Matriz com martensita e austenita retida Carboneto eutético M_3C Grafita em grumo	1950-1980
Adamite	C: 0,7 – 2,0 Ni: 1,2 – 1,5 Cr < 2 Mo < 1	Martensita revenida	1950-1980
Ferro branco de alto cromo	C: 2 - 3 Ni: 1 - 2 Cr: 10 - 18 Mo: 1 - 3	Matriz de martensita revenida Carboneto eutético M_7C_3	1980-
Ferro fundido branco multicomponente	C: 1,5 – 2,5 Cr: 4 - 7 Mo: < 5 V: 4 - 8 W: < 5	Matriz de martensita revenida Carbonetos eutéticos MC, M_2C e M_7C_3	1990-

MATERIAIS PARA CILINDROS DE LAMINAÇÃO A FRIO

MATERIAIS PARA CILINDROS DE LAMINAÇÃO A FRIO

Material	Composição (% em peso)	Microestrutura	Período
Aço forjado 1,8%Cr convencional	C: 0,7 – 1,0Cr: 1,6 – 2,0Mo: 0,2 – 0,5	Matriz com martensita com carbonetos secundários finamente dispersos	1950-1970
Aço forjado 3%Cr convencional/ESR	C: 0,7 – 1,0Cr: 2,0 – 4,0Mo: 0,2 – 0,5	Matriz com martensita com carbonetos secundários finamente dispersos	1965-
Aço forjado 5%Cr convencional/ESR	C: 0,7 – 1,0Cr: 4,0 – 6,0Mo: 0,2 – 0,5	Matriz com martensita com carbonetos secundários finamente dispersos	1975-
HSS/SHSS ESR	C: 0,8 – 1,5Cr: 4 – 10Mo: 0,5 – 3V: 0,5 – 3	Matriz de martensita revenidaCarbonetos eutéticos MC,M2C e M7C3	2000-

MATERIAIS PARA CILINDROS DE LAMINAÇÃO DE BARRAS E PERFIS

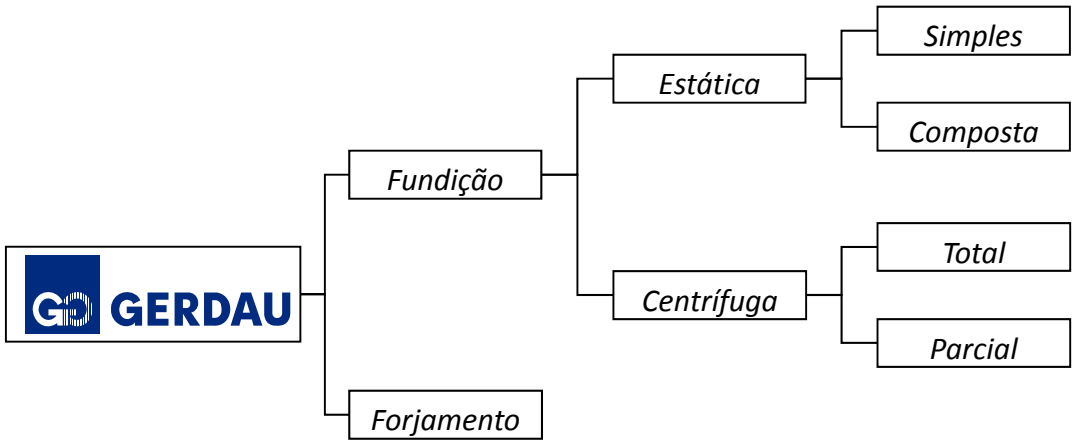
MATERIAIS PARA CILINDROS DE LAMINAÇÃO DE BARRAS E PERFIS

Material	Composição (% em peso)	Microestrutura	Período
Ferro fundido indefinido	C: 3,0 – 3,4 Ni: 4 - 5 Cr < 2 Mo < 1	Matriz com martensita e austenita retida Carboneto eutético M_3C Grafita em grumo	1960-
Adamite fundido	C: 1,4 – 2,1 Ni: 1,2 – 1,5 Cr < 2 Mo < 1	Martensita perlítica	1960-
Ferro fundido nodular	C: 3,0 – 3,5 Ni: 1 - 4 Cr < 1 Mo < 1	Matriz perlítica Grafita em nódulos	1960-
Adamite forjado	C: 0,4 – 1,8 Ni: 1,2 – 1,5 Cr < 2 Mo < 1	Martensita perlítica	1885-

Material	Composição (% em peso)	Microestrutura	Período
Ferro fundido definido	C: 3 – 3,5 Ni: 3 - 5 Cr: 1 - 2 Mo: <1	Matriz de martensita revenida Carboneto eutético M_7C_3	1985-
Ferro branco de alto cromo	C: 2 - 3 Ni: 1 - 2 Cr: 10 - 18 Mo: 1 - 3	Matriz de martensita revenida Carboneto eutético M_7C_3	1985-
Ferro fundido branco multicomponente	C: 1,5 – 2,5 Cr: 4 - 7 Mo: < 5 V: 4 - 8 W: < 5	Matriz de martensita revenida Carbonetos eutéticos MC, M_2C e M_7C_3	1985-
Metal duro	Co: 3 - 30 WC: 70 - 97	Matriz de cobalto Carbonetos de tungstênio WC	1990-

PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

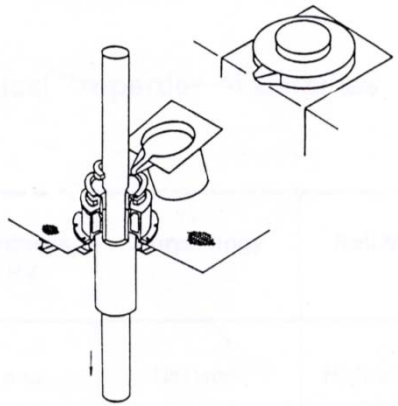


Processos de fabricação de cilindros utilizados pela unidade de cilindros.

NOVOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

NOVOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Continuous Pouring Cladding: CPC®

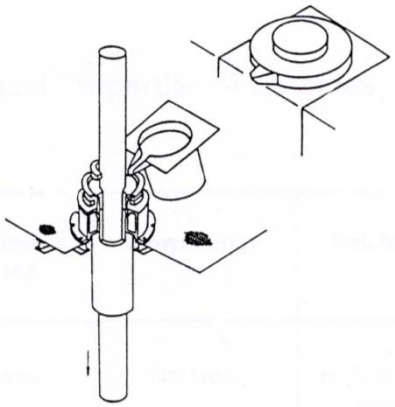


- Estrutura refinada, núcleo mais resistente, materiais mais ligados

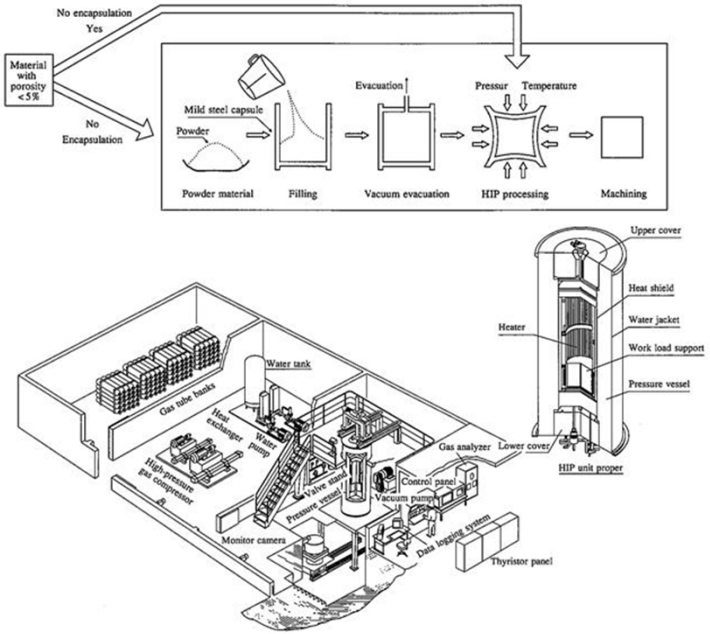
- Baixa produtividade

NOVOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Continuous Pouring Cladding: CPC®



Hot Isostatic Pressing: HIP®



- Materiais com elevada resistência à fluência e oxidação

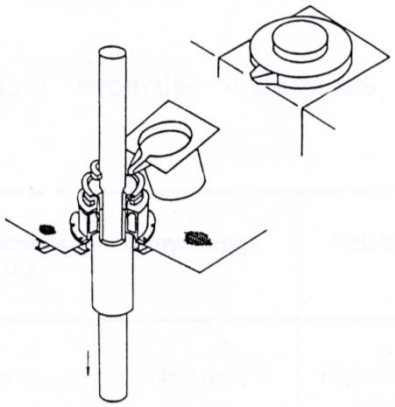
- Elevada estabilidade térmica

- Microestrutura muito refinada

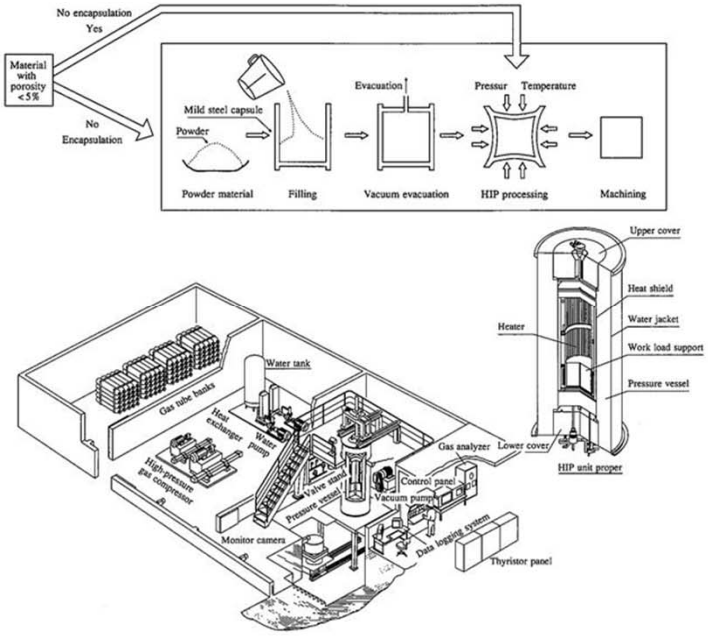
-Limitações dimensionais

NOVOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

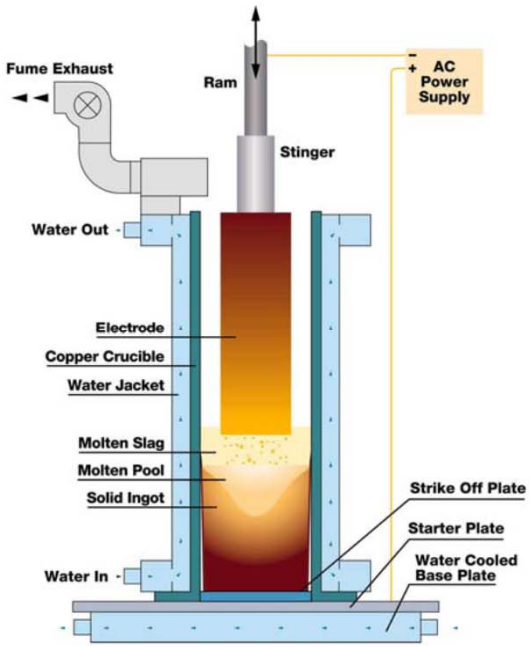
Continuous Pouring Cladding: CPC®



Hot Isostatic Pressing: HIP®



ElectroSlag Remelting: ESR®



- Refino de lingotes para posterior trabalho mecânico

- Refino do grão austenítico e redução do nível de inclusões não-metálicas

- Possível substituto para fundição centrífuga e CPC®, porém, com limitações dimensionais.

CONTINUIDADE

O B R I G A D A !