RECOZIMENTO DE BOBINA

Carlos Eduardo Rizzo e Silva	5692666
Danilo César Silva Gonçalves	5944617
Eduardo Hideki Shimojo	6520596
Guilherme Shimizu	5944916
Iara Luz	5947429
Renato Hamakawa Ito	6482138

Introdução

- Laminação aumenta a resistência mecânica e a dureza (aumento da densidade de discordâncias) e diminui a ductilidade e a tenacidade.
- Tratamento térmico: aliviar as tensões externas e formação de novos grãos.
- Recristalização, recuperação e crescimento de grão e o conceito de energia de empilhamento.

Introdução

- As bobinas serão consideradas placas grossas: troca de calor.
- Recozimento pode ser feito em dois fornos:

1. Caixa: atmosfera hidrogênio (mais produtivos e melhor qualidade) ou nitrogênio.
2. Contínuos: muito caros portanto não utilizados no Brasil apesar da alta produtividade

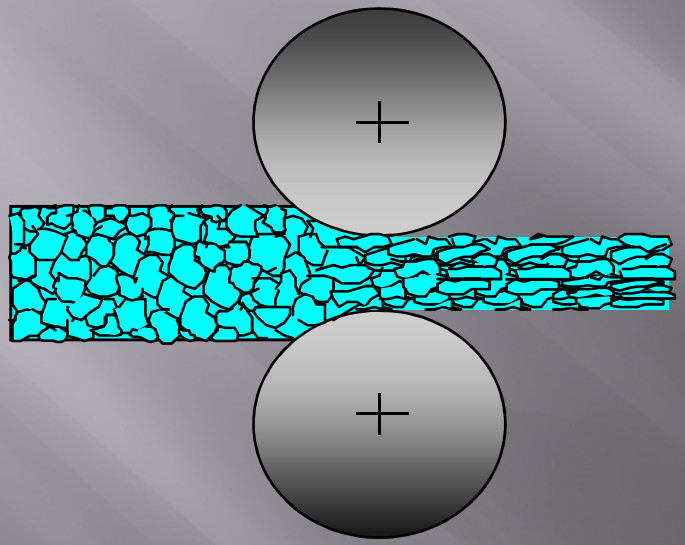
Conceitos Teóricos

- Deformação à frio.
  - Energia durante a deformação
  - Energia de defeito de empilhamento..
  - Defeitos puntiformes
  - Tamanho de grão inicial
  - Temperatura e velocidade de deformação
- Recozimento.
  - Recuperação.
  - Recristalização.
  - Crescimento de grão.

Deformação a frio

- Deformação a frio (trabalho a frio) – estado encruado:
  - Temperaturas baixas em relação ao TF (geralmente metade).
  - Deformação plástica
  - ↑ Resistência mecânica.
  - ↓ Ductilidade, tenacidade, densidade de discordâncias e condutividade elétrica.

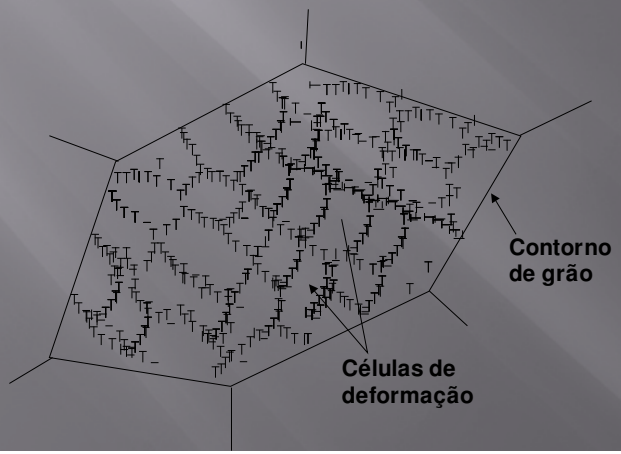
Energia



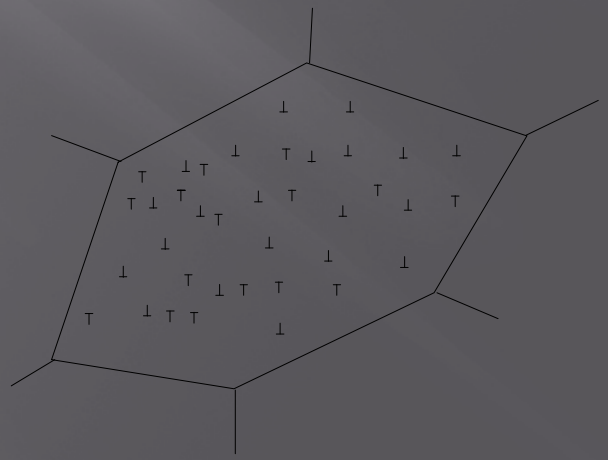
- A energia é dissipada em calor, mas uma porção é armazenada no material como energia de deformação plástica.
- Energia está contida nas discordâncias

Energia de Defeito de Empilhamento

- ↑EDE:
  - Discordâncias parciais mais próximas.
  - Maior mobilidade
  - Maior deformação plástica.
  - ↓ densidade de discordâncias.

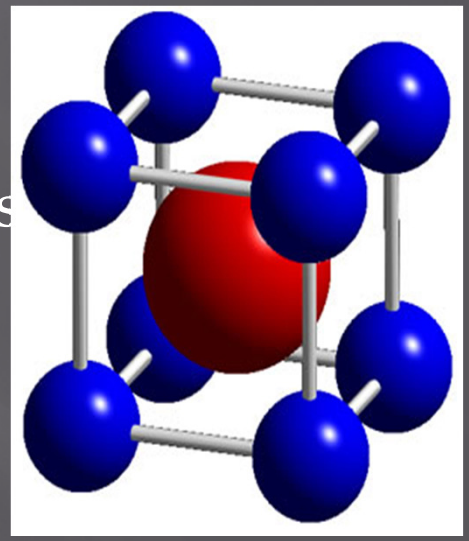


- ↓EDE:
  - Distribuição mais homogênea.
  - Maior densidade de discordâncias.



Defeitos Puntiformes

- Átomos de soluto e lacunas
- Introduz deformações elásticas no interior do material
- Dificultam a mobilidade das discordâncias
- Aumentam a densidade de discordâncias.
- Aumenta a energia armazenada na deformação.



Tamanho de Grão Inicial

- C.G. são barreiras as discordâncias
- ↓ tamanho inicial -↑ contorno de grão -↑ restrição as discordâncias
- ↑ densidade de discordâncias. ↑ encruamento

Recuperação

- Rearranjo de discordâncias para configurações de menor energia.
- Aniquilação de discordâncias de sinais opostos e encolhimento de anéis de discordância.
- Menor quantidade de defeitos puntiformes devido a reação entre estes.
- Formação de contornos de alto ângulo.

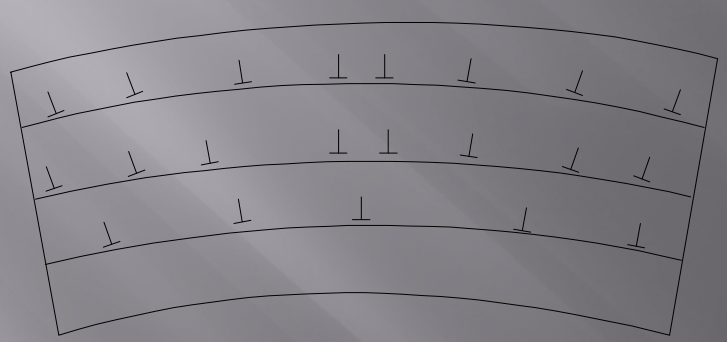
Recuperação

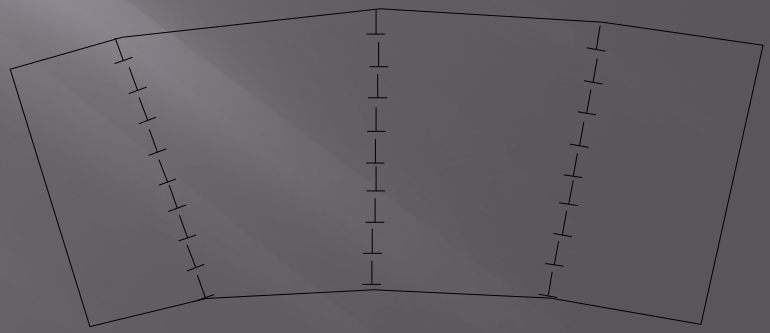
- Neste estágio, as propriedades físicas que se modificaram no encruamento, recuperam quase a seus valores originais.

- Mecanismo conhecido como poligonização:
  - Discordâncias se posicionam por ascensão ou escorregamento de maneira a minimizar a energia delas (disposição em cunha).
- No plano extra de átomos tem-se um campo de tensões compressivo, enquanto embaixo há um campo tensionado:
  - Se os campos estiverem juntos, diminui-se a energia.
  - Cria-se um efeito bidimensional denominado contorno de subgrão (baixo ângulo).
  - Pode haver coalescimento destes.

Recuperação

- Plano extra de átomos:
  - Ângulo de rotação dos subgrãos aumenta, maior é o ângulo dos contornos de subgrão e menor é a quantidade destes contornos.
  - ↑EDE => ↑ facilidade do escorregamento.



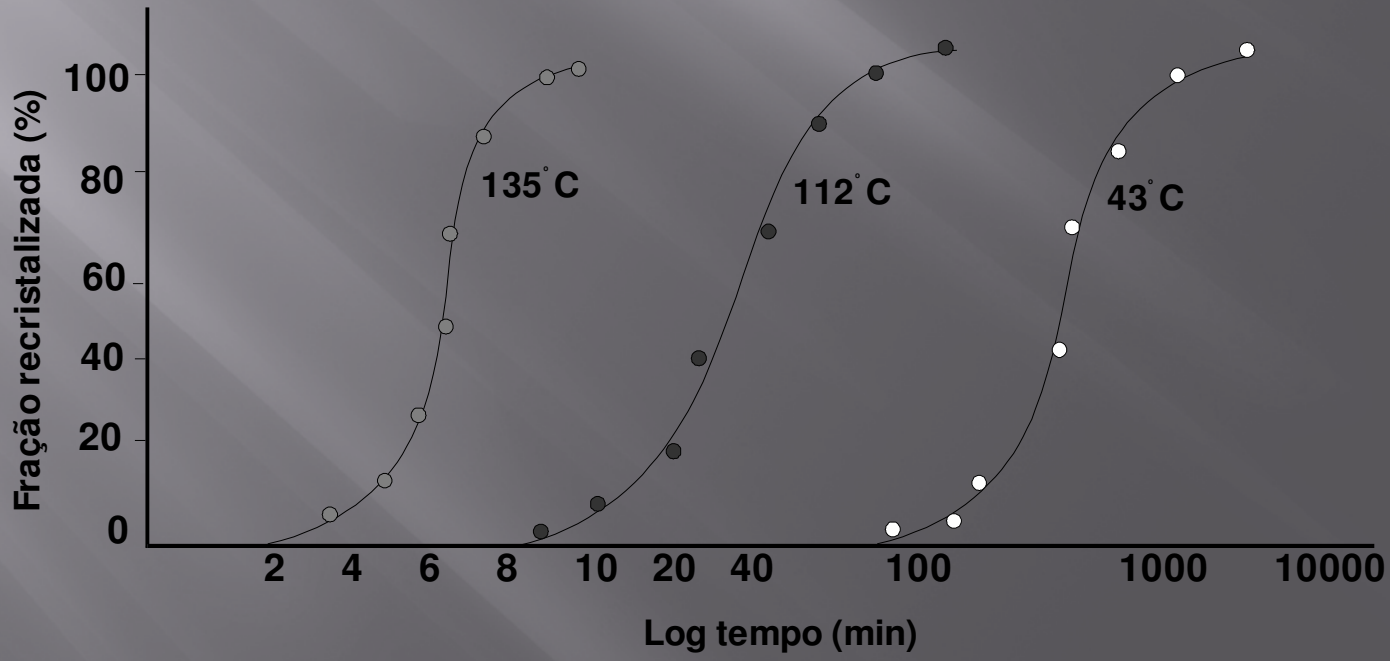


Recristalização

- Potencial:
  - Energia armazenada na deformação.
- Eliminação de discordâncias
- Migração de contornos de alto ângulo.
- Nucleação de novos grãos.

Recristalização

- Análise de tempo e temperatura:
  - O efeito do tempo e da temperatura de recristalização deve ser considerado em conjunto.
  - Curvas de estudo.



Recristalização

- Efeitos:
  - Recristalização ocorre após um determinado tempo
  - (tempo de incubação)
  - Não há energia suficiente para recristalizar
  - Pode haver recuperação
  - Aumento na temperatura de recristalização acelera o processo de recristalização.

O efeito do Grau de Deformação na Recristalização

- Uma das principais grandezas para a recristalização é o grau de deformação.
- Discordâncias são o potencial para a recristalização

- Enuncia-se:
  - *"Quanto maior a deformação, menor o tempo de recristalização."*

O tamanho de Grão Recristalizado

- Através de ensaios nota-se que o tamanho de grão diminui para maior deformação aplicada.
  - ↓ tamanho de grão.
  - ↑ numero de contornos de grão.
  - ↑ restrição as discordâncias.
  - ↑ densidade de discordâncias.
  - ↑ nucleação de novos grãos.
  - ↓ tamanho de grão.

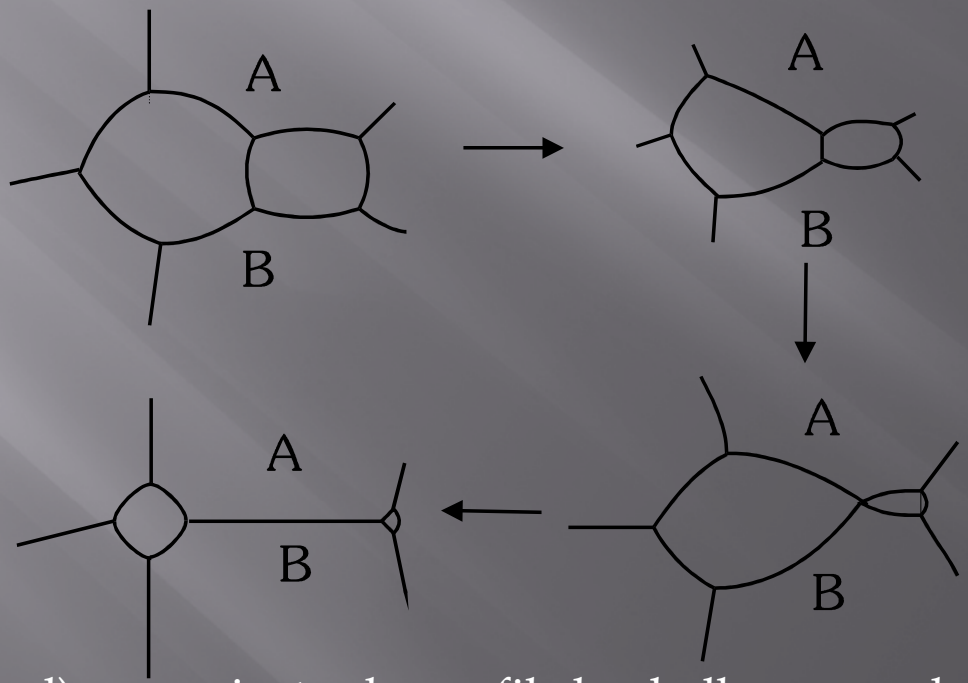
- Tamanho de grão é independente da temperatura de recozimento.

Pureza ou Composição do Metal

- Na recristalização o retículo cristalino é refeito portanto:
- Quanto mais puro o metal mais rápido é sua recristalização.
- Átomos de soluto tendem a ficar próximos dos contornos de alto ângulo.

Crescimento de Grão

- Tendência para se tornar estável (120°):
  - Experiência de formação das bolhas.



Estágios (a,b,c,d) no reajuste do perfil das bolhas quando o tamanho dessas diminui.

Objetivo do recozimento

- ↑ A ductibilidade dos materiais metálicos
- ↓ dureza;
- ↓ resistência mecânica;
- ↑ tenacidade.

TIPOS DE RECOZIMENTO

Recozimento em caixa

Recozimento contínuo

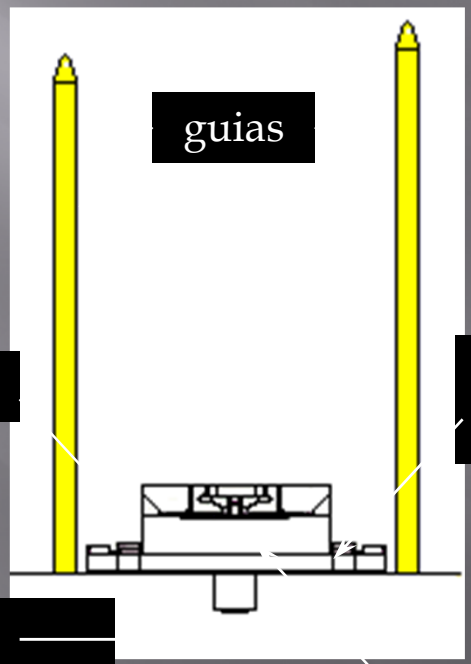
Recozimento em caixa

- Realizado em fornos descontínuos (chapas cortadas ou bobinas enroladas).
- Após laminação a frio,
- Material é empilhado intercalando-se convectores;
- Campânula (ou abafador) intermediária;
- Atmosfera protetora;
- Forno de campânula móvel;
- Resfriador;

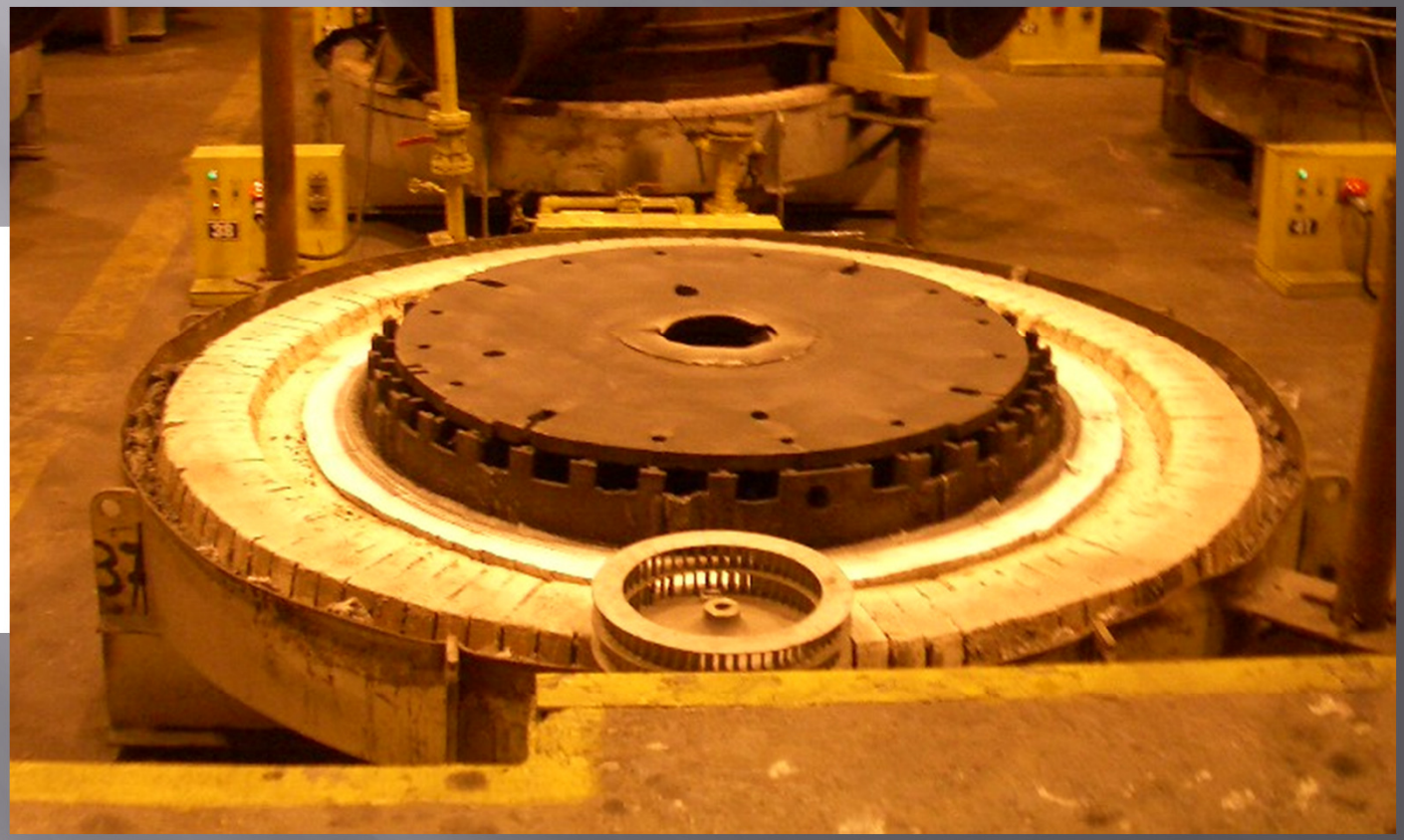
Base do Forno

- Elemento de vedação;
- Receber a carga de bobinas para serem submetidas ao processo de recozimento;
- Termopares para controle de temperatura:
  - um para o forno
  - um para a carga
- Ventiladores => recirculação dos gases durante recozimento e resfriamento forçado e controlado.

Base do Forno



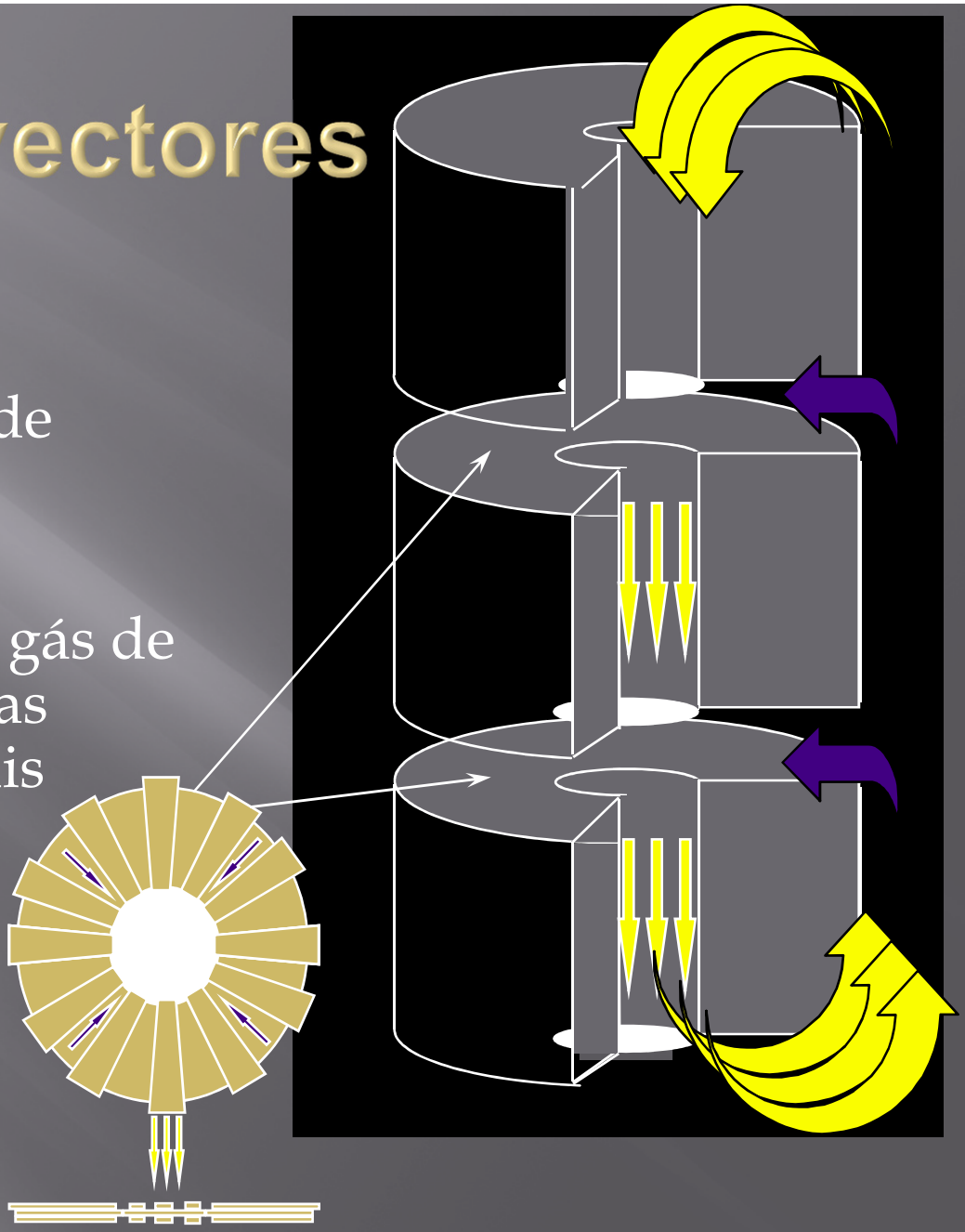
Base do Forno (COSIPA)



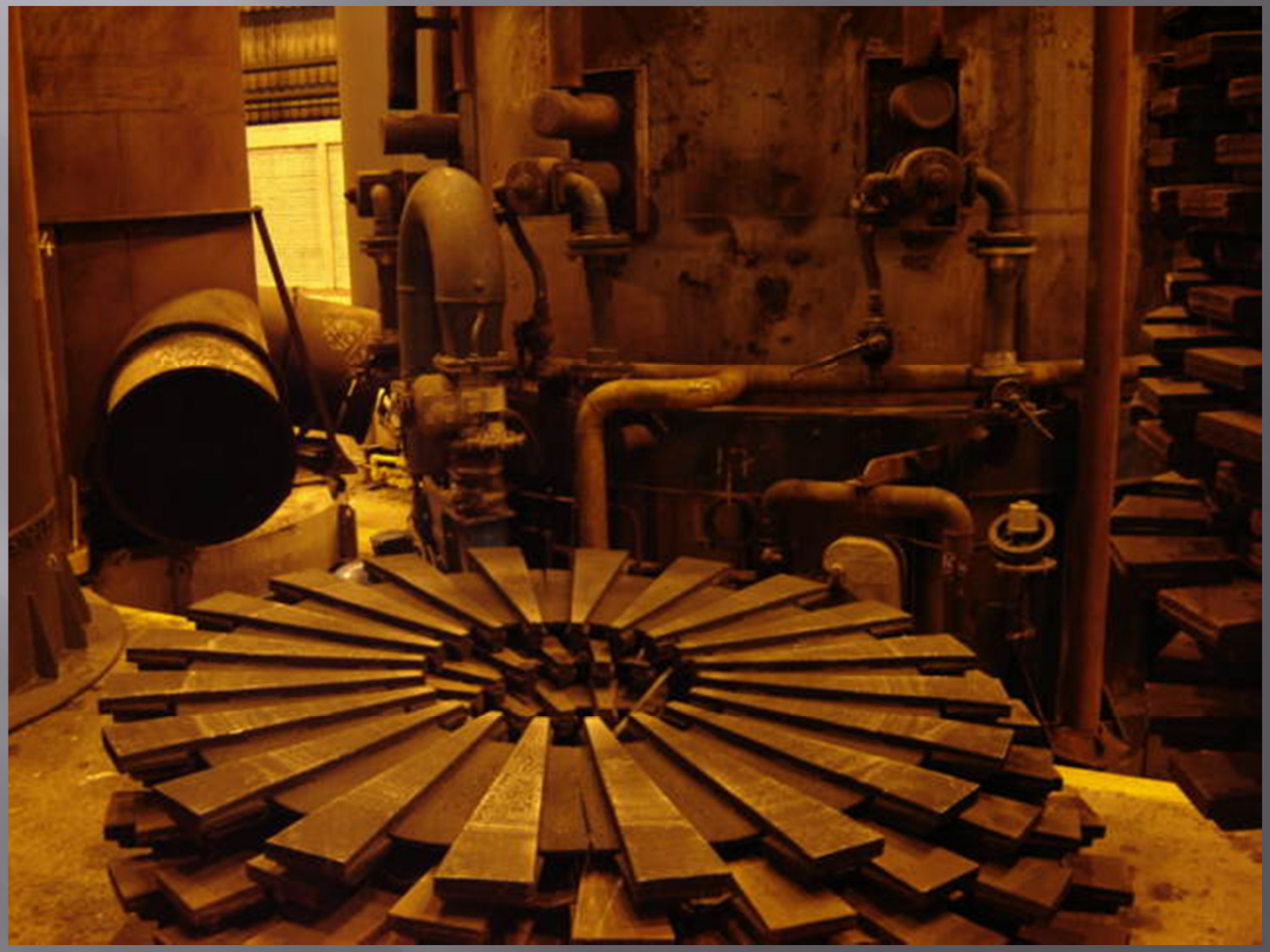
Convectores

- Impedir o colamento de bobinas;

- Permitir passagem do gás de proteção entre as bobinas favorecendo o fluxo mais uniforme de calor.

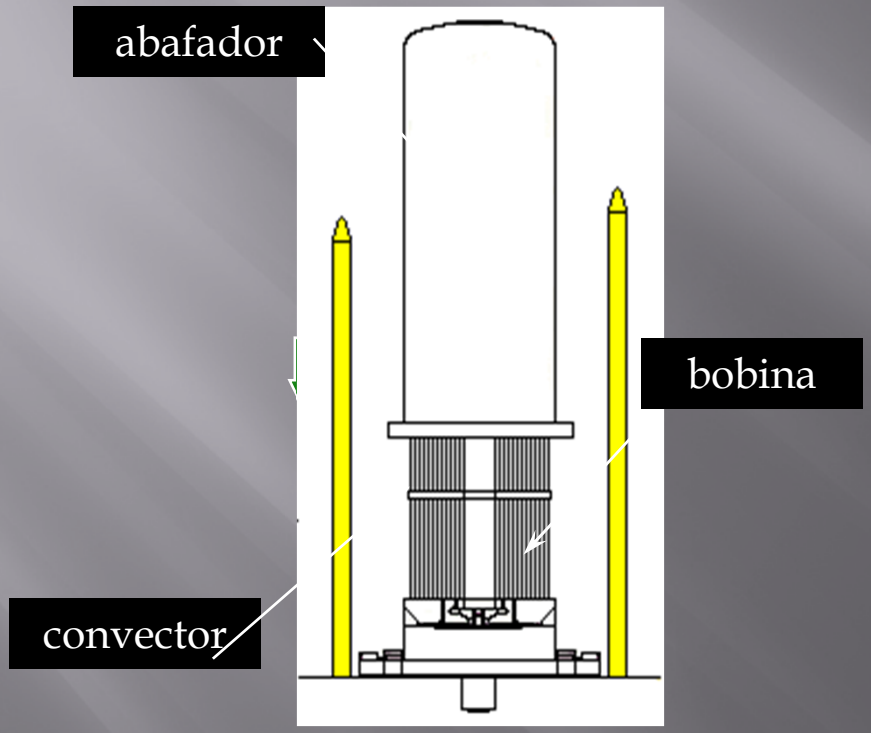


Convectores (COSIPA)



Campânula de Proteção

Isola o material do ar atmosférico=>evita a oxidação do material a recozer



- Carcaça em aço inoxidável
- Classificados de acordo com o tipo de parede:

-Campânulas lisas

-Campânulas corrugadas =>aumentam a área de contato com o gás de proteção, acelerando as trocas térmicas e reduzindo os tempos de processo.

Campânula (COSIPA)

Forno de Campânula

- Queimadores de chama direta frontal ou tangencial ou chama indireta (tubo radiante)

- Quantidade de queimadores por forno: De 6 a 12 distribuídos em filas (zonas) de diferentes alturas

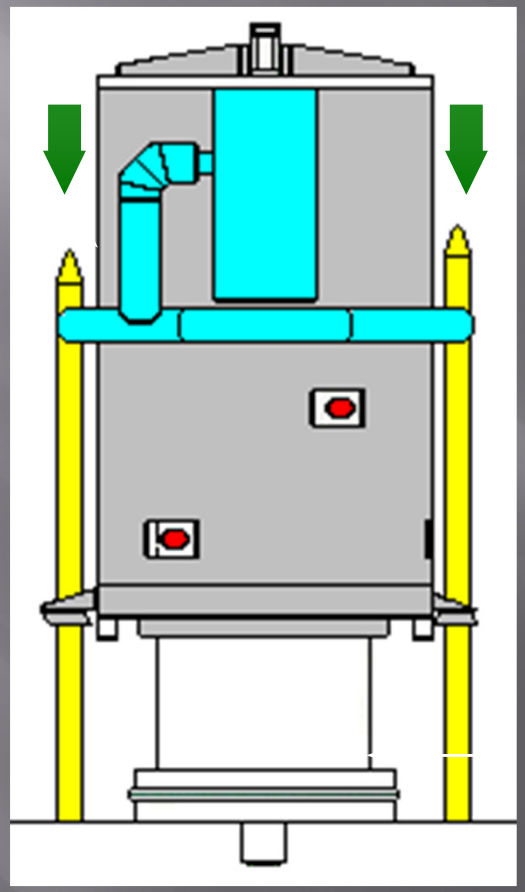
- Tipos de combustíveis empregados:

  - Gás de coqueria rico em H2
  - Gás natural rico em CH4

- Revestimento refratário em fibra cerâmica

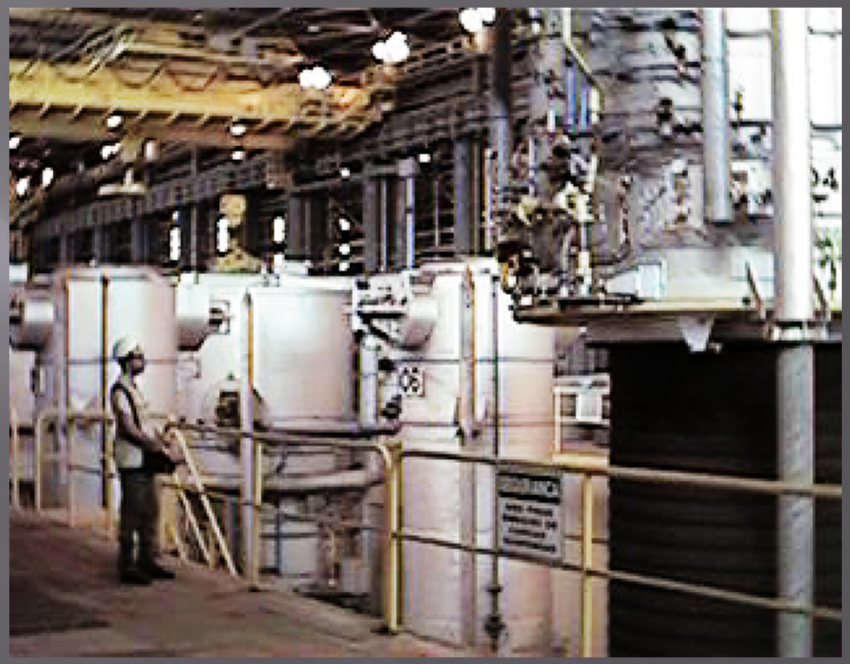
Forno de Campânula

forno



abafador

Forno de Campânula (COSIPA)



Recozimento Contínuo

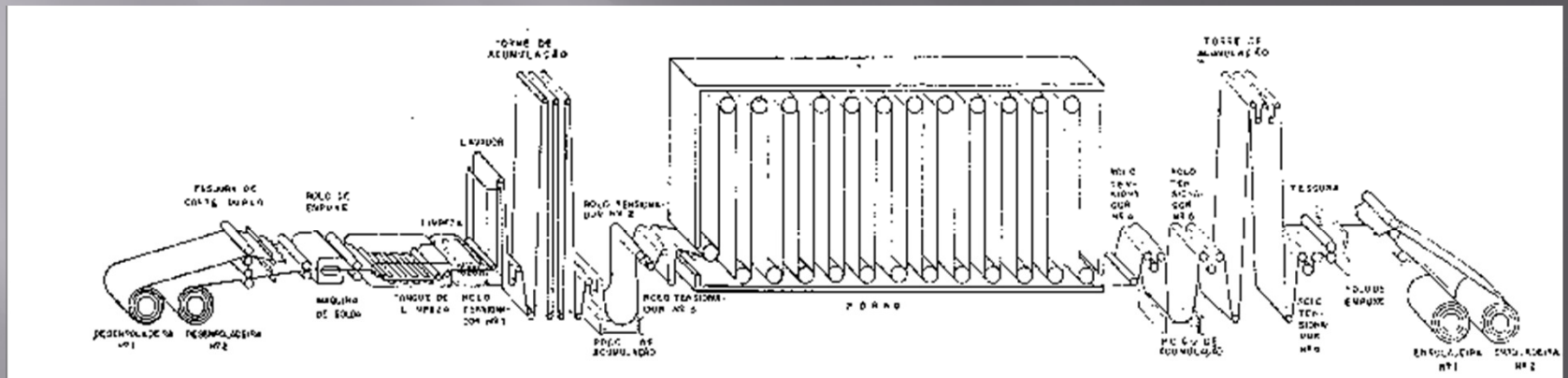
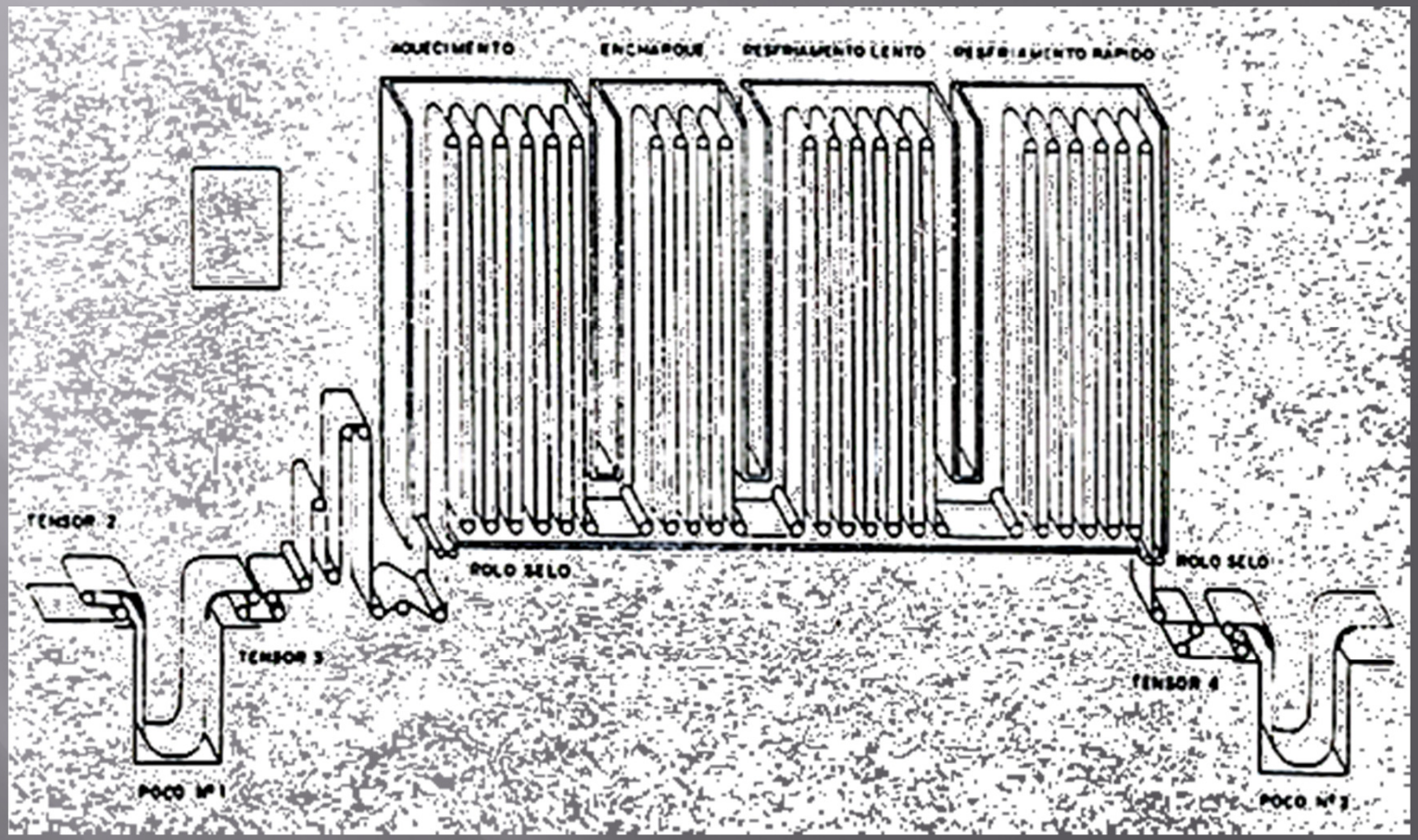


Fig. XXV/4 — Recozimento Contínuo. As pontas das bobinas são soldadas umas às outras de modo a formar uma tira contínua; o material passa por um tanque de limpeza e entre escovas rotativas, seguindo-se a lavagem com água quente a 92°C. Depois da tôrre de acumulação, a tira é levada aos rolos tensionadores, antes de chegar ao forno de recozimento, mantido em atmosfera inerte de nitrogênio ou de amônia dissociada.

Recozimento Contínuo



Recozimento Contínuo

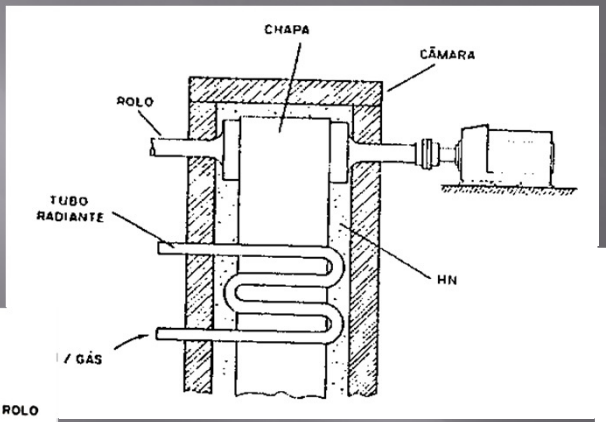


Ilustração esquemática da zona de aquecimento.

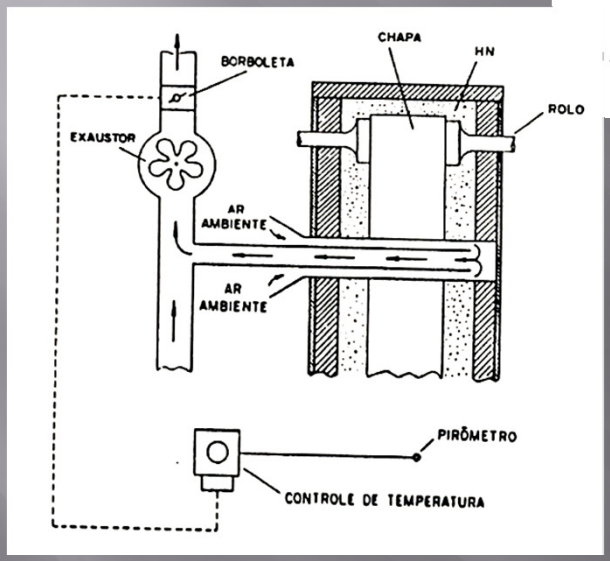


Ilustração esquemática da zona de resfriamento lento.

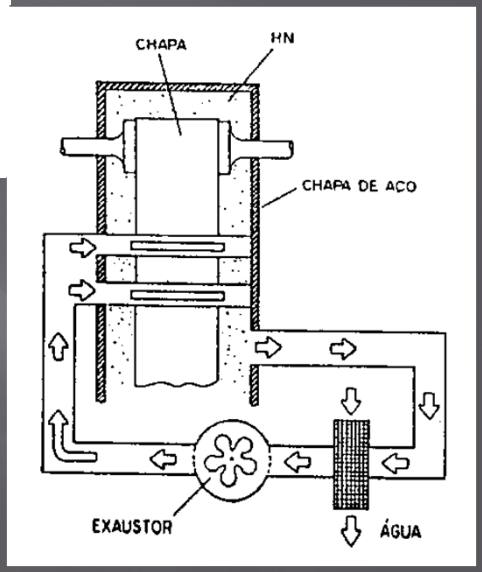


Ilustração esquemática da zona de resfriamento rápido.

Recozimento Contínuo

- Feito em fornos contínuos (para tiras)
- Bobinas saem da laminação a frio suas pontas são soldadas =>tira contínua
- Tanque de limpeza
- Torre de acumulação =>rolos tensionadores => forno de recozimento;
- Atmosfera protetora
- Ciclos mais curtos, estruturas mais homogêneas (recozimento mais uniforme)
- Regulagem mais dinâmica da temperatura, do tempo de recozimento e da velocidade de resfriamento=> otimizando a produção.

Defeitos – Recozimento em Caixa

- Colagem das chapas umas às outras =>temperatura e o tempo de encharque mal estimadas ou altura da pilha ou superfície da chapa;
- Aparecimento de manchas de areia=>grãos de sílica usados na vedação dos fornos de campânula, que são triturados quando da passagem da chapa no laminador de encruamento, marcando a superfície da chapa.
- Transmissão do calor desigual (lentamente da parte mais externa da bobina para a mais interna,apesar da presença de convectores e ventiladores) heterogeneidade das propriedades mecânicas ao longo da tira. Não é observado no recozimento

Defeitos – Recozimento Contínuo

- Colamento das chapas é evitado mas outros tais como mossa na tira (formação de casca de óxidos ou de matéria estranha na superfície dos rolos de guia das zonas de temperatura elevada);

Defeitos em Comum

- Tamanho de grão

-granulação grosseira dos cristais =>durante a estampagem surge rugosidade (“casca de laranja

-granulação muito fina =>material com resistência excessiva e Linhas de Luder.

- Temperatura de bobinagem:

- a temperaturas muito altas =>precipitação de partículas de cementita grandes e irregulares
- a temperaturas muito baixas =>formação de cementita mais fina e melhor distribuída.

- Manchas de recozimento=>resíduos remanescentes da laminação de tiras =>inutilização da chapa para revestimentos posteriores tais como zincagem, cromagem, entre outros.

Atmosferas Protetoras

- Objetivo:
  - obter bom acabamento superficial após a decapagem e a laminação a frio.
  - alterar a composição com processo tais como a carbonetação, a descarbonetação ou a carbonitretação.

Atmosferas Protetoras

- Os gases são purificados, retirando os componentes prejudiciais ao aço;
- Composta por gases que não reajam com aço;
- Usa-se gases parcialmente queimados: gás de coqueria ou gás natural;

Gerador de Atmosferas Protetoras

- Composto por:
  1. Queimador de gás com controle da taxa ar/gás;
  2. Câmara de combustão com catalisador;
  3. Refriador, para retirada do vapor de água;
  4. Purificador.

Principais Atmosferas

- Combustão completa de gás combustível;
  - CO_2, H_2O e N_2;
- Combustão completa de gás combustível com eliminação de CO_2 e H_2O;
  - Predominantemente Nx e HNx;
- Combustão incompleta de gás combustível;
  - Gases Dx (CO_2, CO, H_2, CH_4, N_2 etc);
- Combustão incompleta de gás combustível com eliminação de CO_2 e H_2O;
  - Principalmente CH_4 e N_2;

Principais Atmosferas

- Amônia dissociada;
  - 75% H2 e 25% N2;
- Amônia dissociada parcialmente queimada;
  - 20% H2 e 80% N2;
- Amônia dissociada totalmente queimada;
  - 1% H2 e 99%N2;
- Nitrogênio;
  - 70-98% N2 e 2-30% H2;

Ação da Atmosfera sobre o Aço

- Oxigênio:
  - Reage com o ferro para produzir óxido de ferro (carepa):
    - $2\,Fe + O_2 \rightarrow 2\,FeO$
  - Reage com o carbono provocando a descarbonetação:
    - $2Fe_3C + O_2 \rightarrow 6Fe + 2CO$

Ação da Atmosfera sobre o Aço

- Nitrogênio:
  - Inerte quando nas atmosferas de gerador, reage quando no estado nascente (atmosferas de amônia dissociada);
- Hidrogênio:
  - Reage com o óxido de ferro formando ferro metálico. Porém pode ser absorvido pelos aços de alto teor de carbono:
    - $FeO + H_2 \rightarrow Fe + H_2O$

Ação da Atmosfera sobre o Aço

- Dióxido de Carbono:
  - Reage com o ferro para produzir óxido de ferro:
    - $Fe + CO_2 \rightarrow FeO + CO$
  - Reage com o carbono provocando a descarbonetação:
    - $Fe_3C + CO_2 \rightarrow 3\,Fe + 2CO$

Ação da Atmosfera sobre o Aço

- Monóxido de Carbono:
  - Reage lentamente com o ferro para produzir Fe3C (carbonetação):
    - $3Fe + 2CO \rightarrow Fe_3C + CO_2$
  - A baixa temperatura, decompõe gerando fuligem:
    - $2CO \rightarrow CO_2 + C$

Ação da Atmosfera sobre o Aço

- Vapor de água:
  - Reage com o ferro para formar óxido:
    - $Fe + H_2O \rightarrow FeO + H_2$
  - Pode gerar descarbonetação:
    - $Fe_3C + H_2O \rightarrow 3\,Fe + 2\,CO + H_2$
- Hidrocarbonetos:
  - Ajudam na carbonetação:
    - $3Fe + CH_4 \rightarrow Fe_3C + 2\,H_2$

Acabamento de produtos planos

Manuseio de bobinas

- Laminador de tiras a quente: são depositadas na horizontal ou na vertical.
- Acabamento: trator com garfos elevatórios.
- Ponte rolante, transportadores de rolos, corrente sem fim.

Acabamento de produtos planos

Acabamento de chapas finas

- ~75% do material laminado a quente passa pela linha de decapagem.
- As tiras que passam pela decapagem podem ser destinadas ao:
- laminador de tiras a frio
- laminador de folhas-de-flandres
- acabamento de produtos laminados a quente

Acabamento de produtos planos

Laminadores de tiras a frio

- As bobinas que vão aos laminadores de tiras a frio são reduzidas num trem contínuo de 4 a 6 cadeiras ou num laminador reversível.
- É comum combinar-se o laminador a frio com a linha de galvanização, na qual está incluído um forno de tratamento térmico.
- Uma parte das bobinas laminadas a frio ainda é recozida em fornos de campânula e laminada na cadeira de encruamento.

Acabamento de produtos planos

Laminador de folhas-de-flandres

- É laminado em instalações de quatro, cinco, ou seis cadeiras ou num laminador reversível de múltiplos cilindros. Depois da redução a frio, todo o material para folha-de-flandres sofre limpeza eletrolítica e recozimento.

Acabamento de produtos planos

Linhas de tesouras

Dois tipos de operações de corte no acabamento de um laminador de tiras:

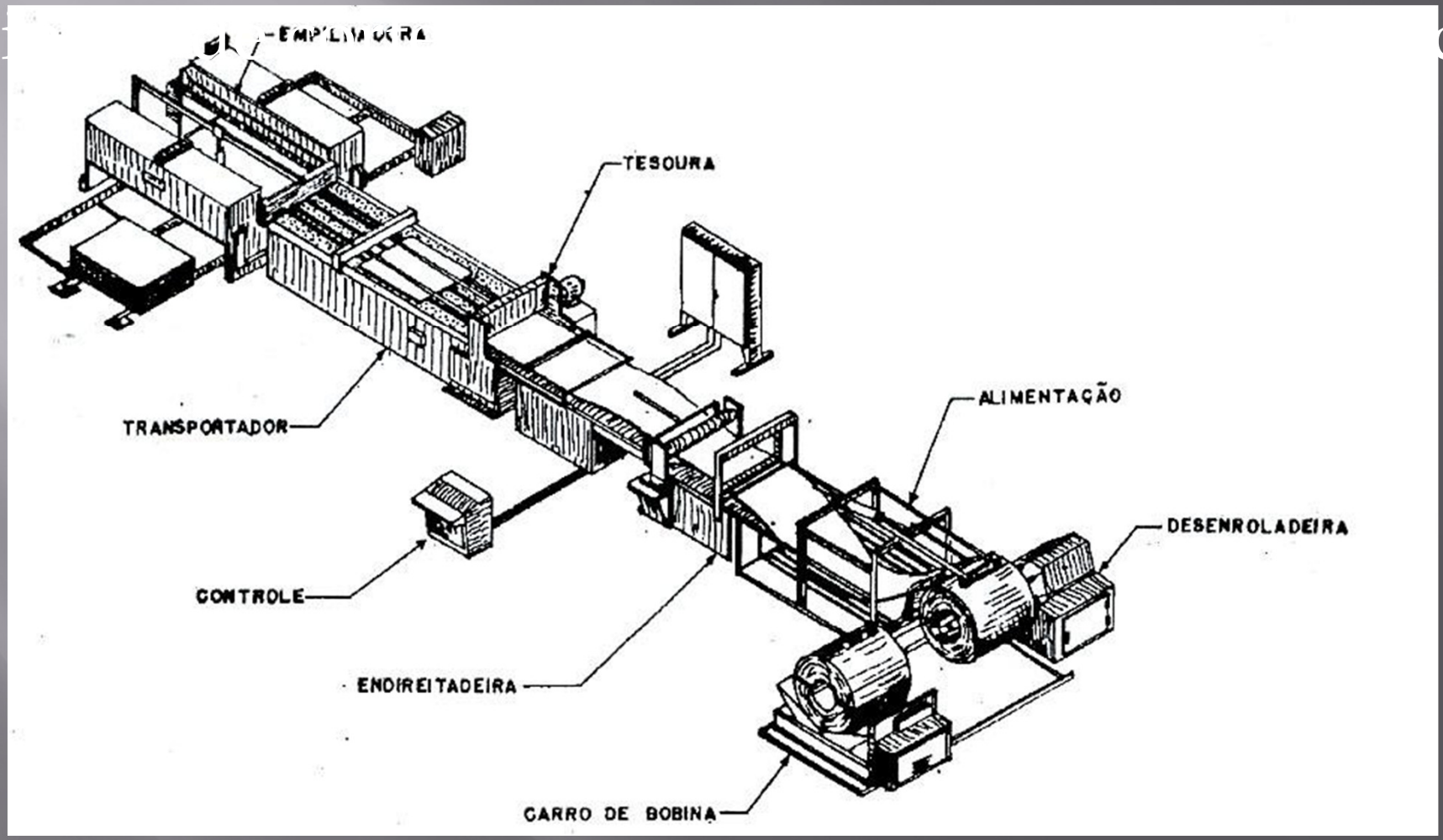
- aparamento dos bordos: tesoura rotativa.
- divisão de bobinas em fitas mais estreitas: tesouras montadas sobre carcaças móveis.

Acabamento de produtos planos

Linhas de corte para chapas finas laminadas a quente

- Rampa de entrada
- Abridor
- Desenrolador
- Mesa de acumulação
- Guias com roletes laterais
- Rolos alimentadores
- Tesoura de aparamento lateral
- Mesa de acumulação
- Aplainadeiras a frio
- Esteira transportadora
- Balança

Acabamento de produtos planos



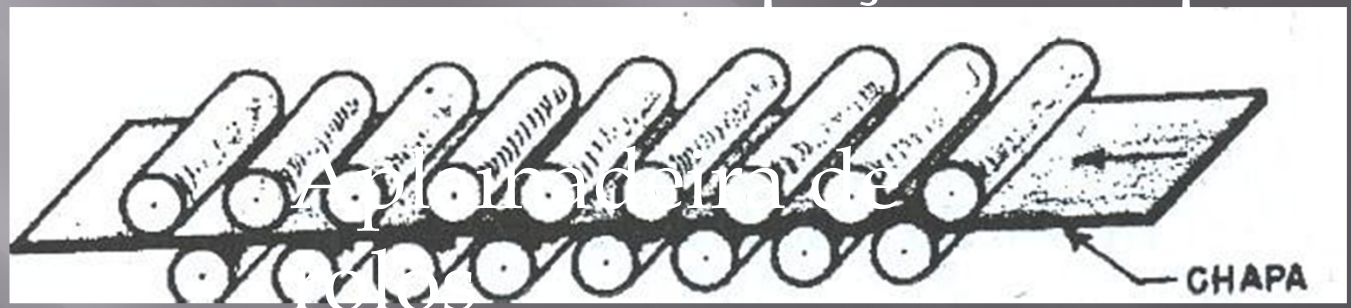
Acabamento de produtos planos

Linhas de corte para chapas laminadas a frio

- Na laminação a frio, as linhas de tesouras são projetadas para aparar as bordas longitudinais e cortar as tiras, que podem atingir 3mm de espessura, em comprimentos determinados.
- Elevador hidráulico: centra a bobina entre os cones da desenroladeira.
- Rolos alimentadores: introduzem a tira na tesoura rotativa para o corte lateral(1picador de sucata:1 lâmina estacionária e 2 facas rotativas).
- Aplainadeira: alimenta a tesoura volante, do tipo rotativo.
- Tesoura → oleadeira → empilhamento.

Acabamento de produtos planos

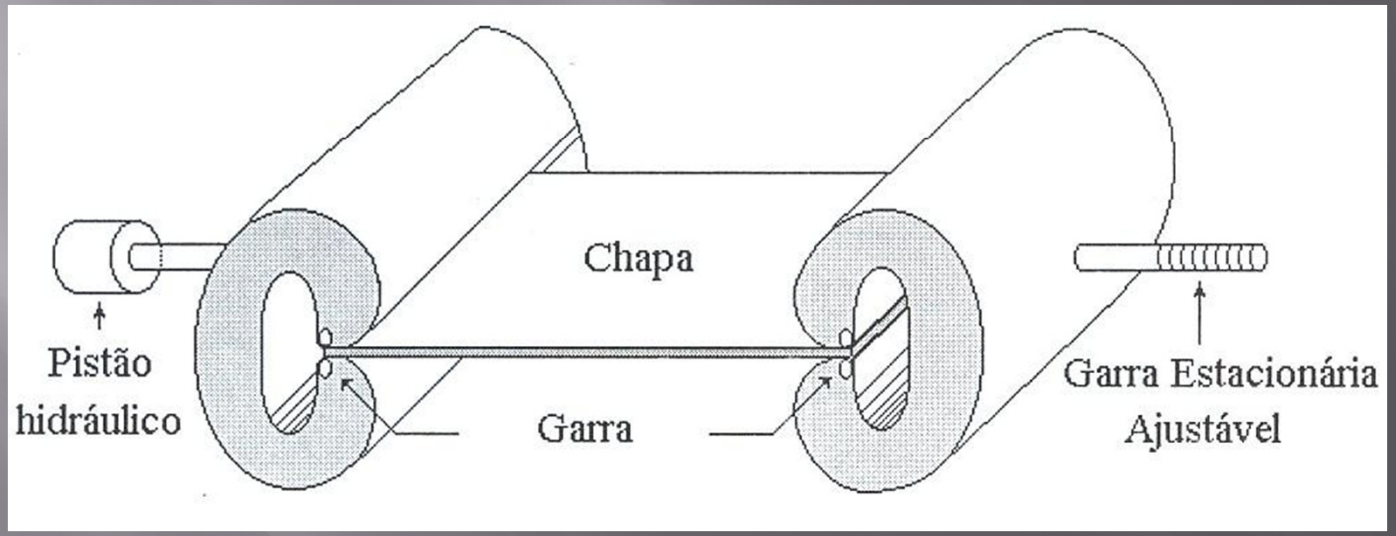
Aplainamento comercial: As chapas são estampadas e repuxadas, não tem muita influência na forma da peça estampada.



Aplainadeira de rolos

Acabamento de produtos planos

Estiramento



Conclusão

- Recozimento: remover as tensões internas e restaurar a ductilidade. Estrutura adequada para bobina.
- Recozimento contínuo: melhores propriedades mecânicas, maior homogeneidade, alto preço.
- Atmosfera protetora melhor é 100% de hidrogênio.