LAMINAÇÃO

Tópicos

- Laminação de longos (noções básicas)
- Outros processos de laminação
  - Laminação de tubos – processo Mannesmann
  - Laminador planetário
  - Laminador de tubos de três cilindros
  - Roll-forming

Laminação de longos

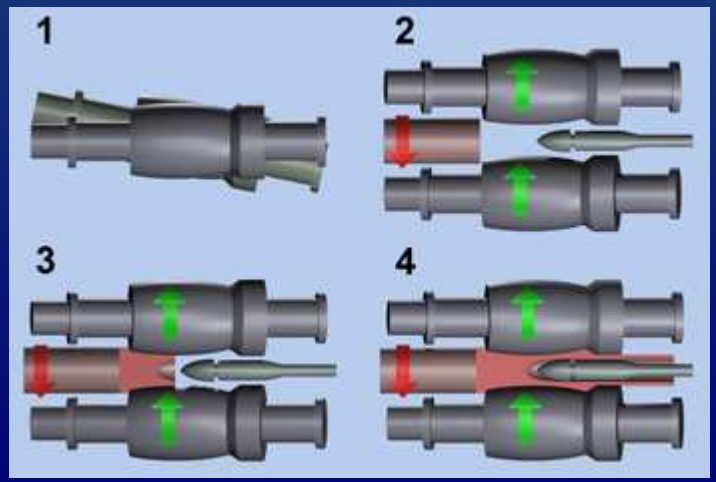
- Produto longo: comprimento >> largura e espessura
- Exemplos
  - Trilhos
  - Vergalhões
  - Barras
  - Vigas em I ou T

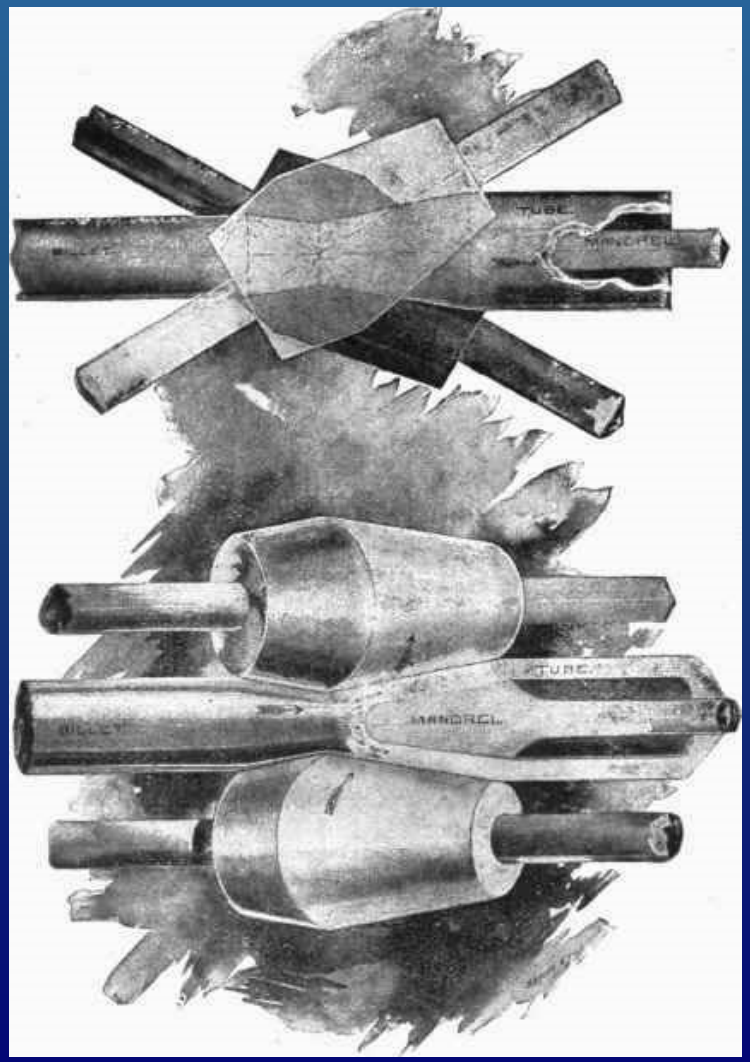
Laminação de longos

- Redução usualmente ocorre em mais de uma direção
- Há a necessidade de guias para introdução do material no cilindro

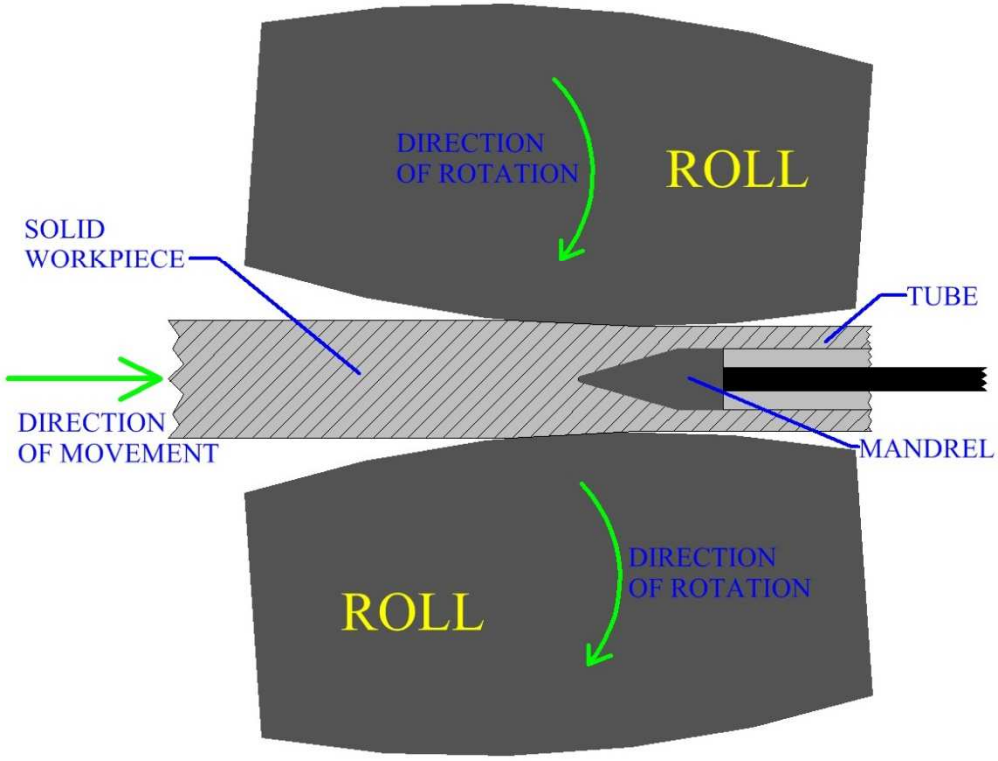
Laminação de tubos sem costura

- Processo Mannesmann
  - Cilindros assimétricos causam o aparecimento de uma fissura central
  - Um mandril perfurante alarga a fissura formando o furo
  - Existem variantes com dois e três cilindros



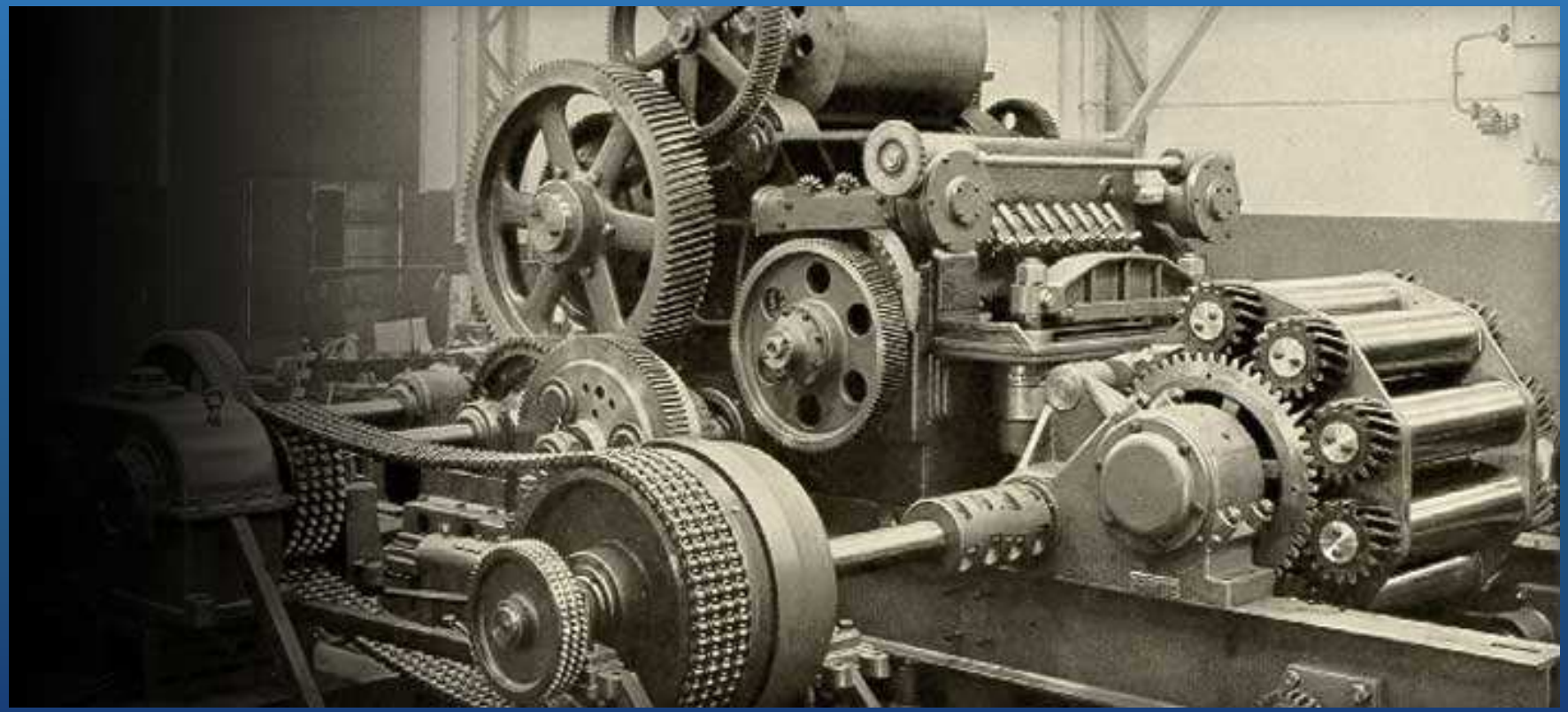


ROLL PIERCING OR MANNESMANN PROCESS



Laminação planetária

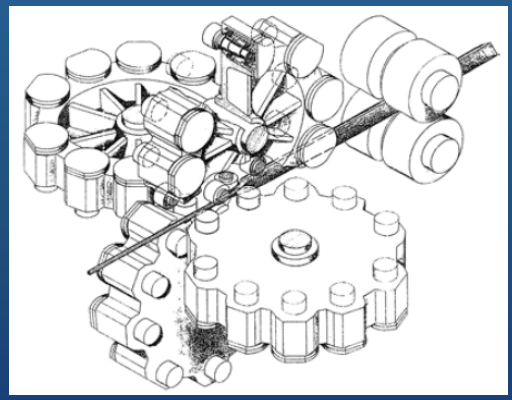
- Cilindros de trabalho montados em um cilindro maior
- Cada cilindro dá um pequeno passe no material
- O cilindro maior gira no sentido contrário ao dos menores
- Em um único passe pelo laminador, podem-se obter reduções da ordem de 90%



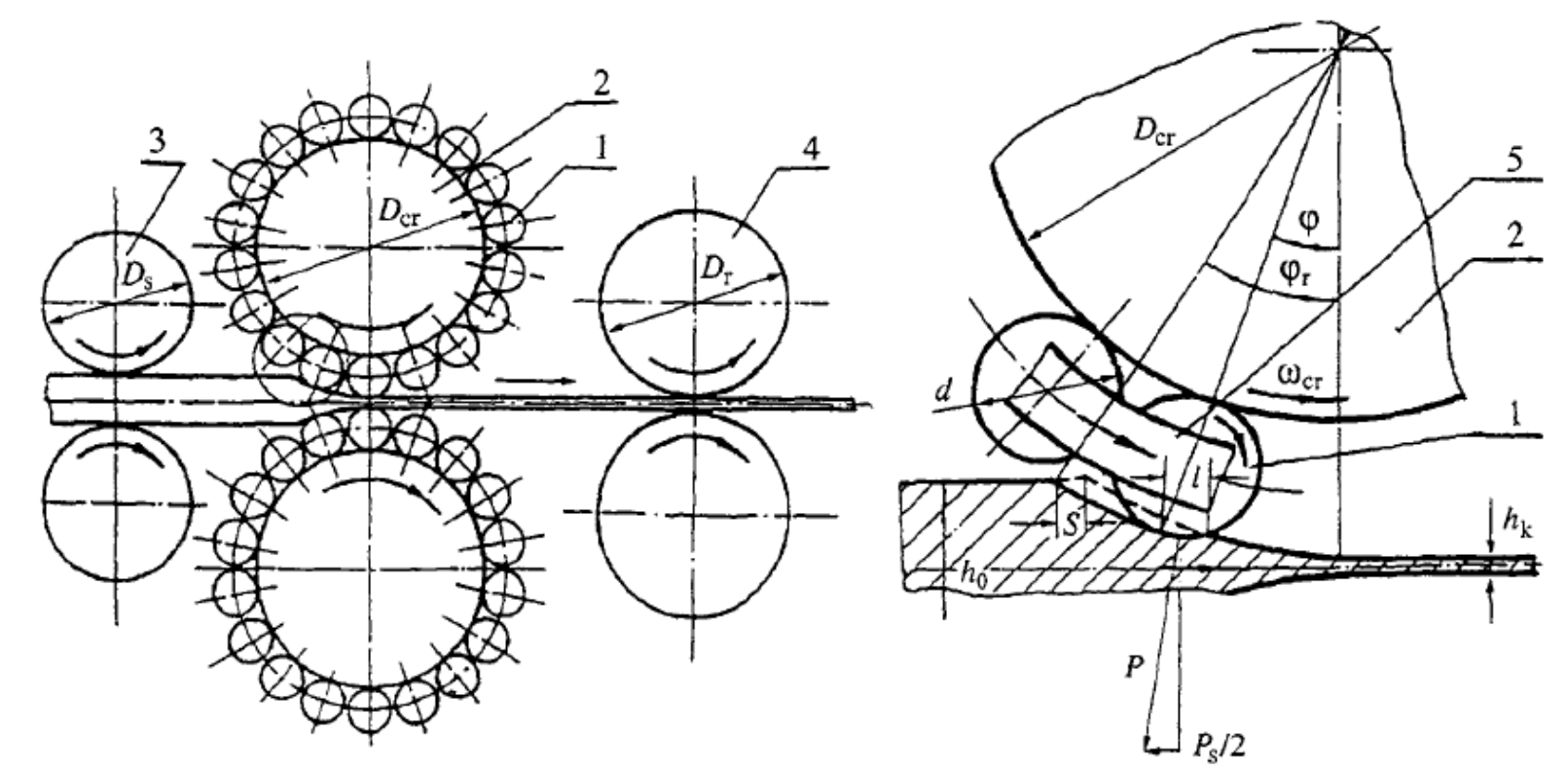
- Primeira patente: 1892 (Richard Mannesmann Jr.);
- Patente incluía diversas configurações possíveis
- Outras patentes foram desenvolvidas por fabricantes posteriormente

Laminador Planetário

- Pode ter dois pares de cabeçotes a 90°
- Permite redução simultânea nas duas direções
- Pode chegar a substituir 18 a 20 cadeiras de laminação



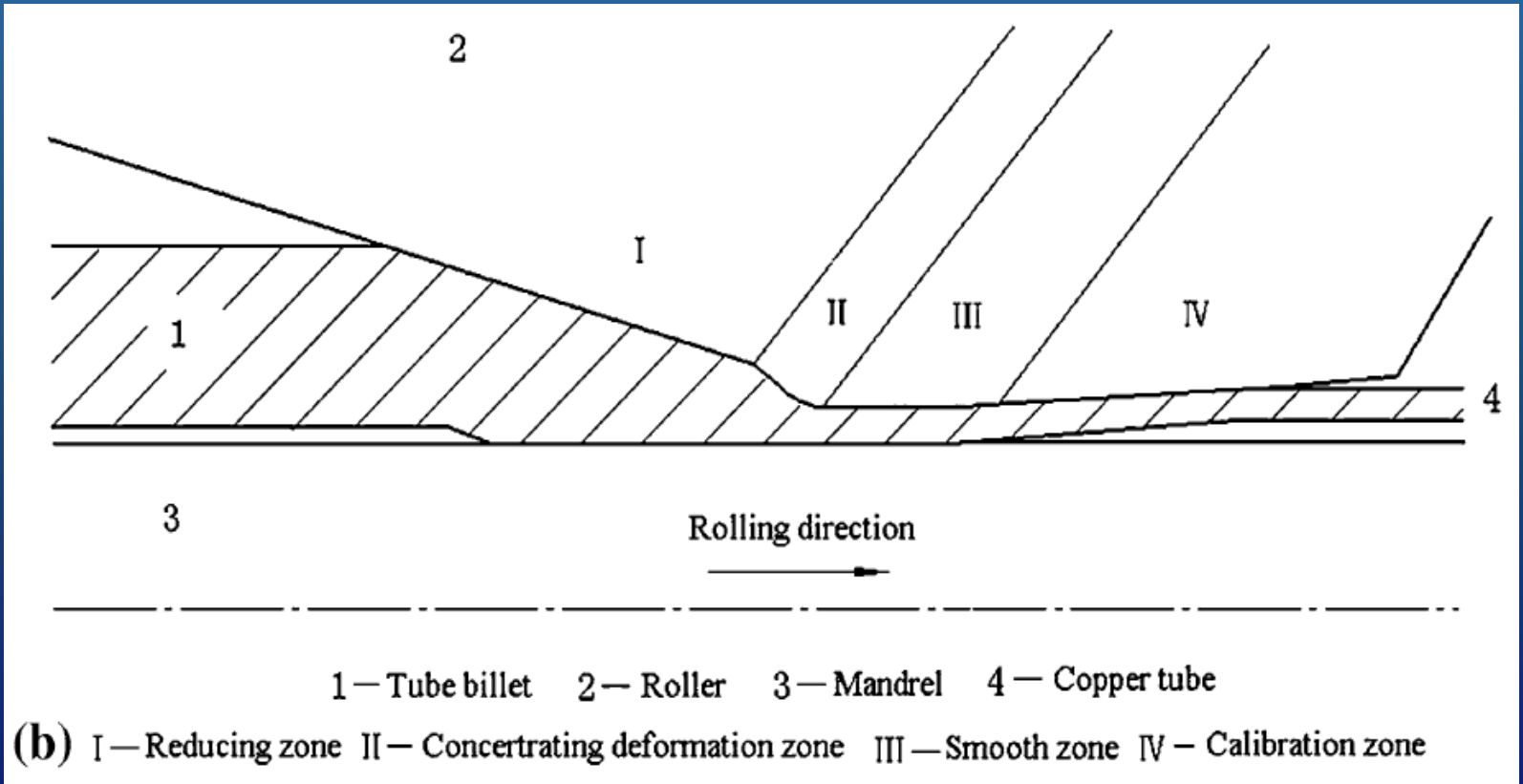
Laminador Planetário



Laminador Planetário para tubos e barras redondas

- ***Planet Schräge Walzwerk, PSW***
- Utilizado em tubos e perfis de aço desde 1975
- Tubos de cobre a partir de 1987 (OutoKumpu)
- 3 ou 4 cilindros cônicos
- Perfil variável ao longo da distância de trabalho
- Tubos: utiliza-se um mandril para conter o diâmetro interno e evitar a ovalização

Regiões do cilindro



- 1- Zona de redução; 2 – zona de concentração de deformações – 3; zona suave 4 – Zona de calibração

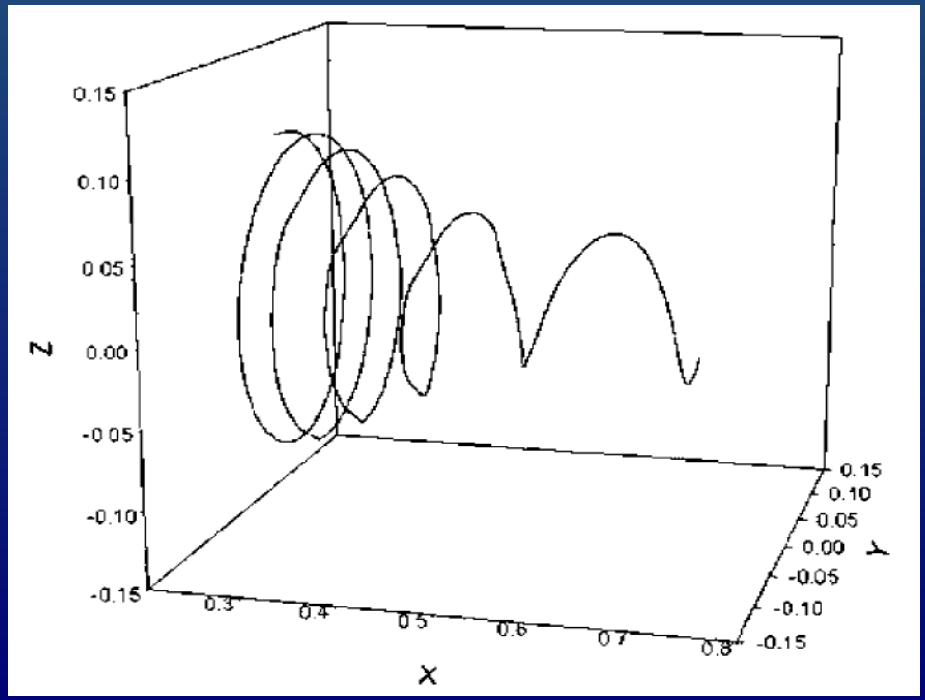
Laminador planetário para tubos e barras redondas

Laminador Planetário para tubos e barras redondas

- Processo gera intensa deformação plástica e aquecimento
- Para tubos de cobre, a entrada é a frio, e a deformação causa aquecimento acima da temperatura de recristalização
- O tubo sofre recristalização dinâmica durante o processo

Laminador Planetário para tubos e barras redondas

- A deformação é realizada tangencialmente ao tubo.
- A trajetória de um ponto da superfície é uma hélice:



Exercício

- Se a deformação é tangencial, o produto sai do laminador com alguma movimentação residual?
- O que essa movimentação pode causar?

- O que deve ser feito para compensar essa movimentação

Laminador Planetário para tubos e barras redondas

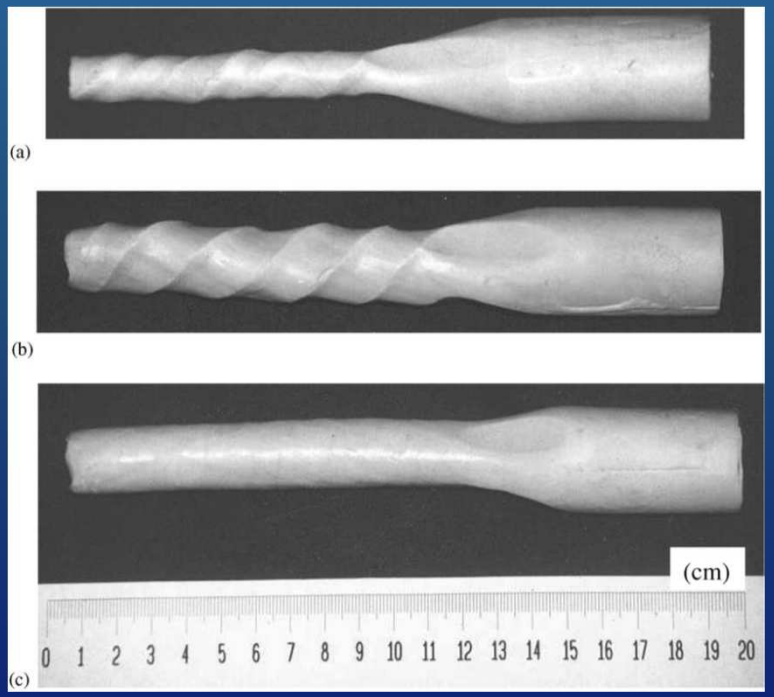
- Devido à trajetória da laminação, o produto final sai do laminador com rotação em torno do próprio eixo
- O cabeçote do laminador gira no sentido contrário, eliminando assim a rotação do produto de saída
- Isso permite enrolar o produto final ou retirá-lo em uma mesa com reduzido risco de acidentes

Laminador Planetário para tubos e barras redondas

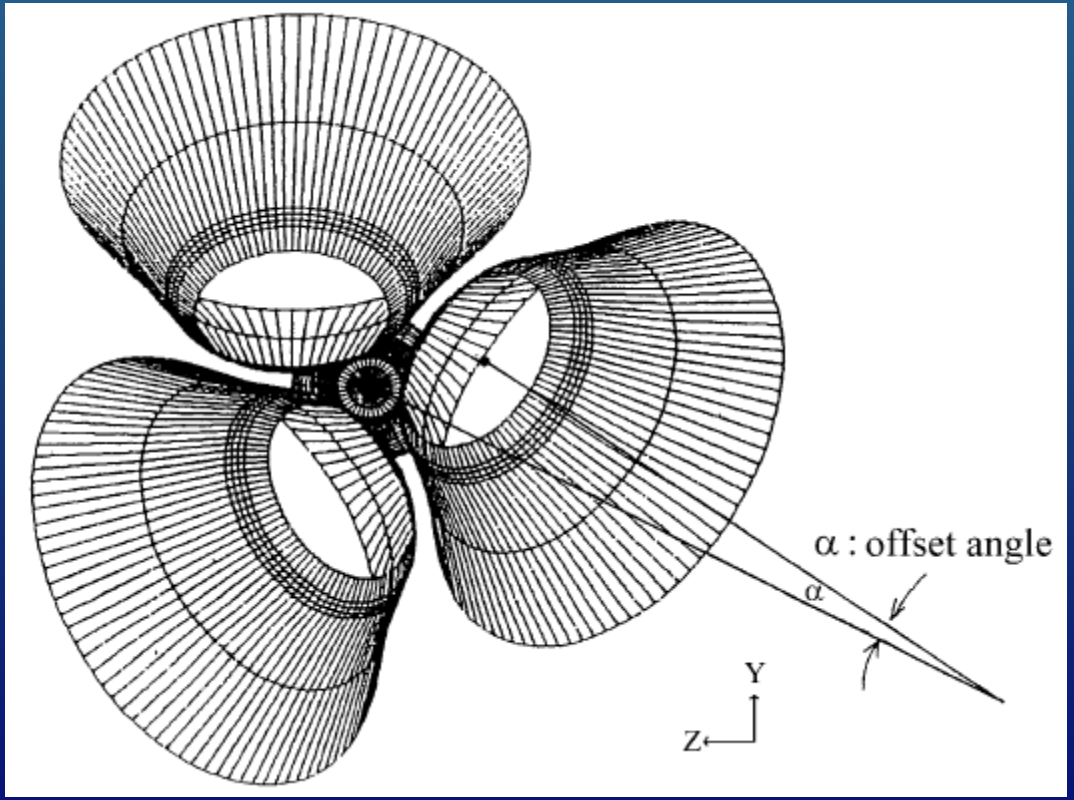
- O perfil do cilindro é crítico para a topografia do tubo de saída
- Cilindros de perfil esférico tendem a deixar fortes marcas helicoidais na parede do tubo
- A adição de zonas de perfil convexo para suavização reduz sensivelmente esse problema

Laminador Planetário para tubos e barras redondas

- A) Cilindro cônico de face reta
- B) Cilindro cônico com faces reatas e duas inclinações diferentes
- C) Cilindro de perfil cônico e parede convexa



Laminador Planetário para tubos e barras redondas



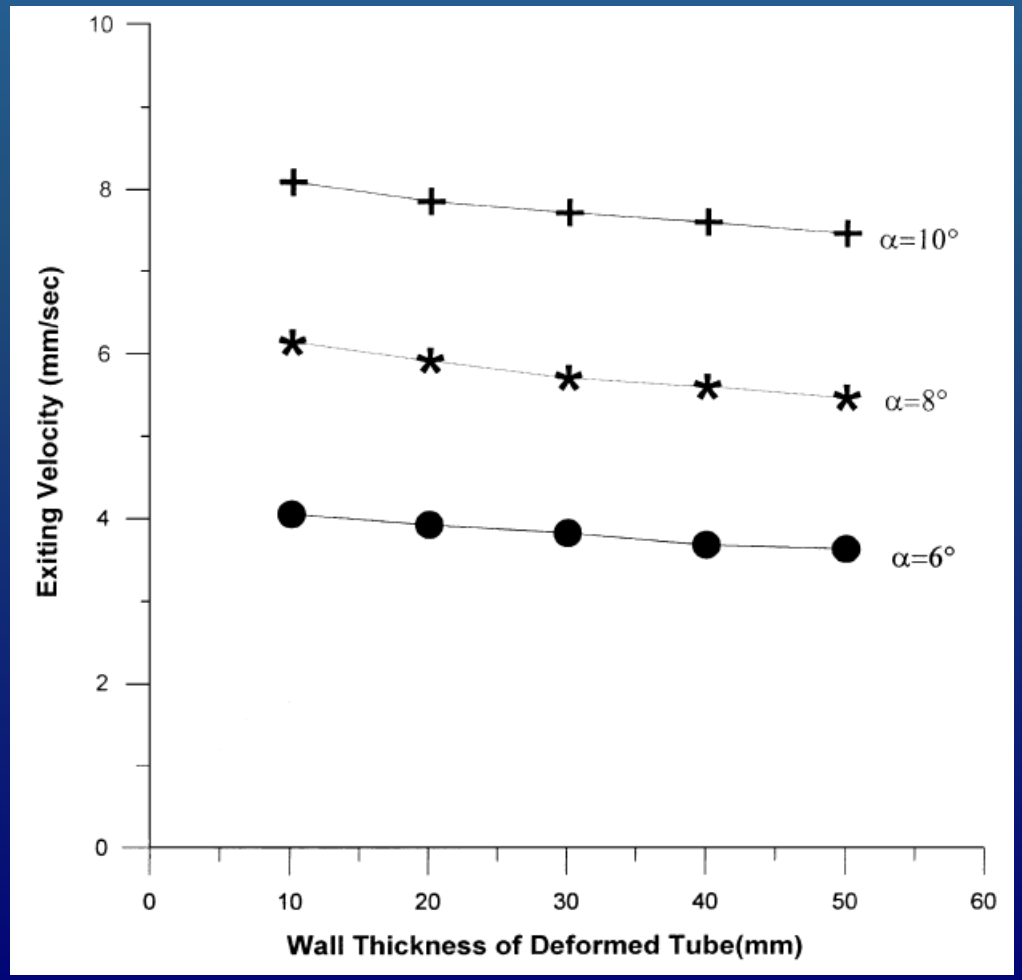
Laminador Planetário para tubos e barras redondas

- Condição inicial de atrito é crítica
- Combinação entre o ângulo de contato (α) e o ângulo de inclinação dos cilindros (β) ->a região inicial de contato pode ser uma linha ou um ponto
- Se a ponta da peça a ser laminada tiver características geométricas favoráveis, a condição ideal de atrito entre a peça e os cilindros é rapidamente alcançada

Laminador Planetário para tubos e barras redondas

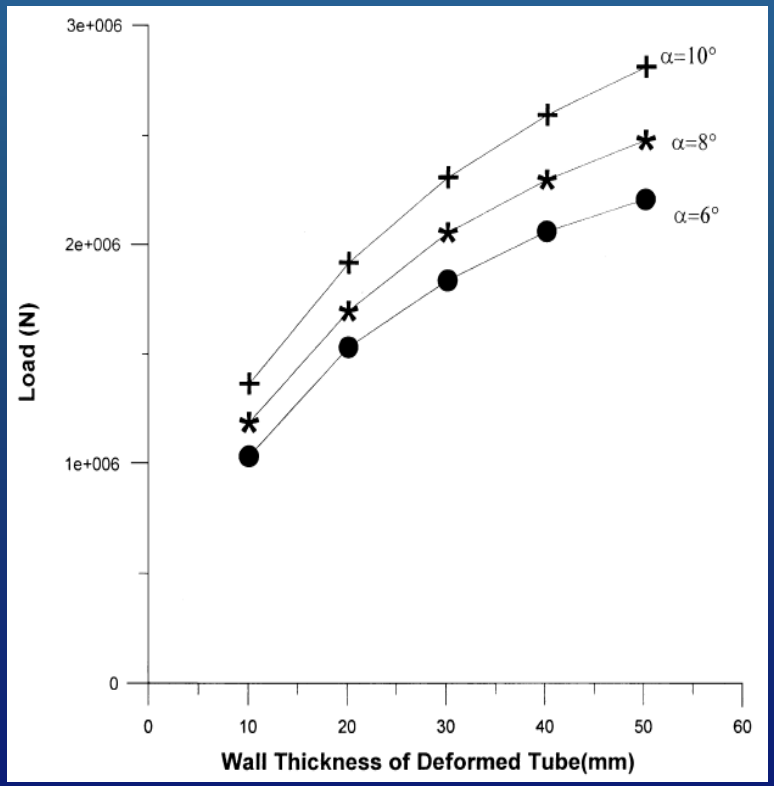
- A ponta da peça deve ter um formato tal que, no ponto inicial de contato, a normal à sua superfície intercepte tanto o eixo de simetria da peça quanto o eixo de simetria do cilindro
- Um aumento do ângulo de contato leva a um aumento da velocidade de saída
- Para um mesmo ângulo de contato, o aumento da redução de área da peça laminada também leva ao aumento da velocidade de saída

Efeito do ângulo de contato



Efeito do ângulo de contato

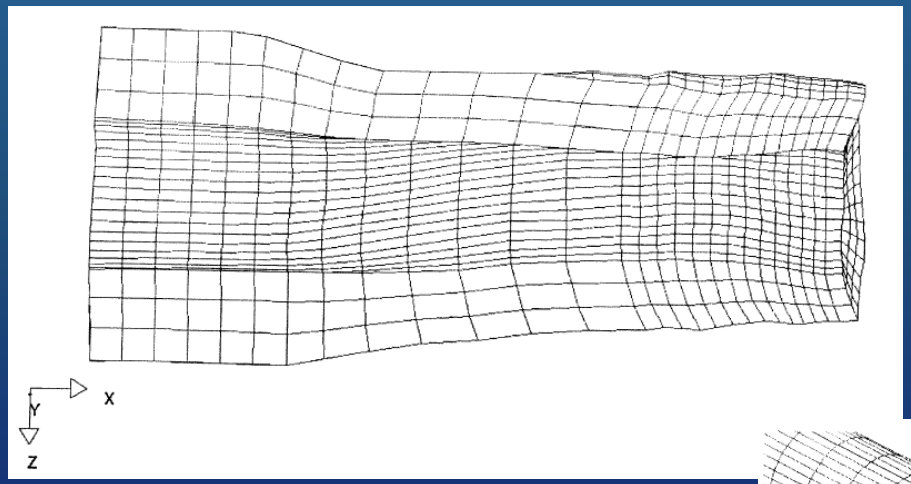
- Velocidade de deformação é maior na parte externa do que na interna
- Isso gera as marcas helicoidais observadas
- Força de laminação também aumenta com o aumento do ângulo de contato e com a diminuição da redução

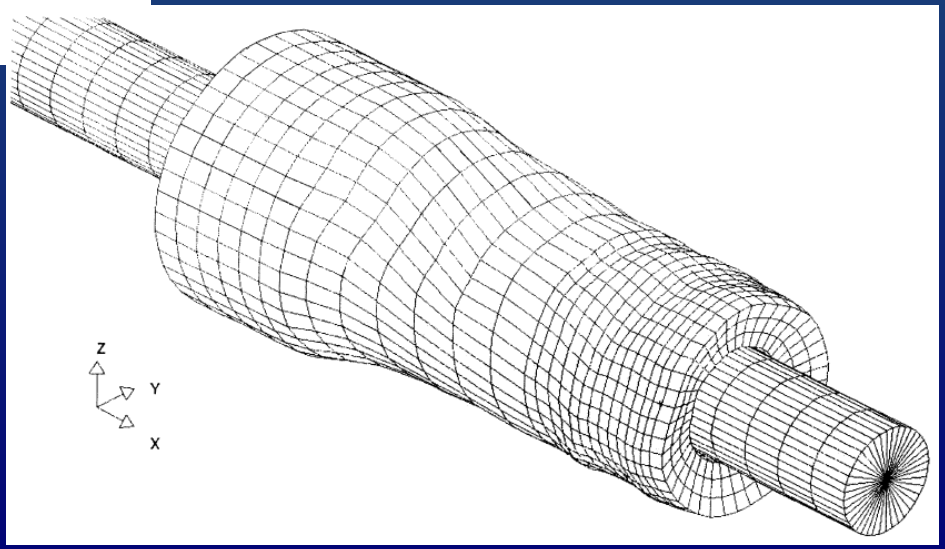


Laminador Planetário para tubos e barras redondas

- Início do século XXI - perfil cônico de “dois estágios”, com ângulos diferentes de inclinação entre a superfície do cilindro e seu eixo de simetria
- Deformação é causada pela parte de maior diâmetro
- Inclinação dos cilindros pode ser ajustada para que o contato continue na segunda parte do cilindro
- Segunda parte será zona de suavização, garantindo a precisão dimensional

Laminador planetário para tubos e barras redondas





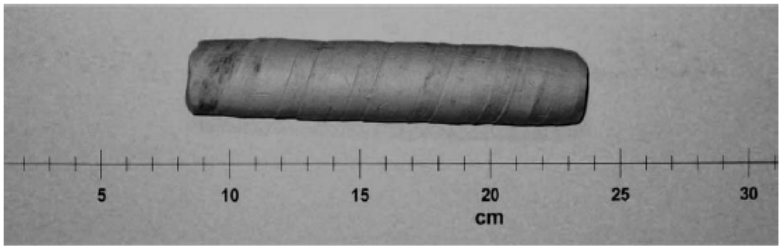
Marcas Helicoidais

- Causadas na mudança da zona de deformação para zona de suavização
- Sua distribuição é função do ângulo de contato, da redução de área e da velocidade de processo

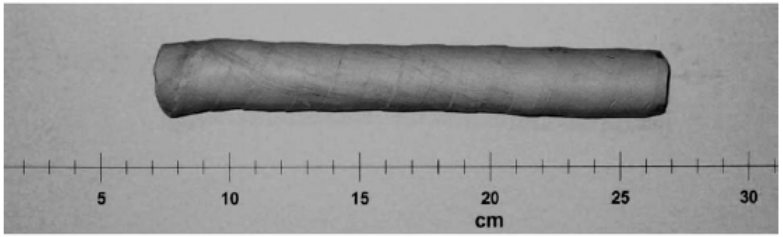
Marcas helicoidais

- Redução de área altera a distância entre marcas (distância é menor quanto maior a redução)
- Ângulo de contato e ângulo de inclinação do cilindro alteram a inclinação das marcas
- Quanto maior a redução, mais rasantes são as marcas

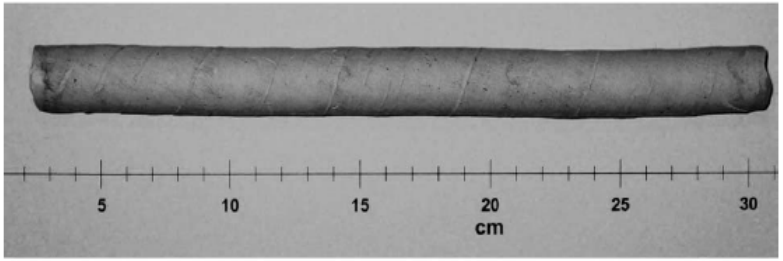
Marcas helicoidais



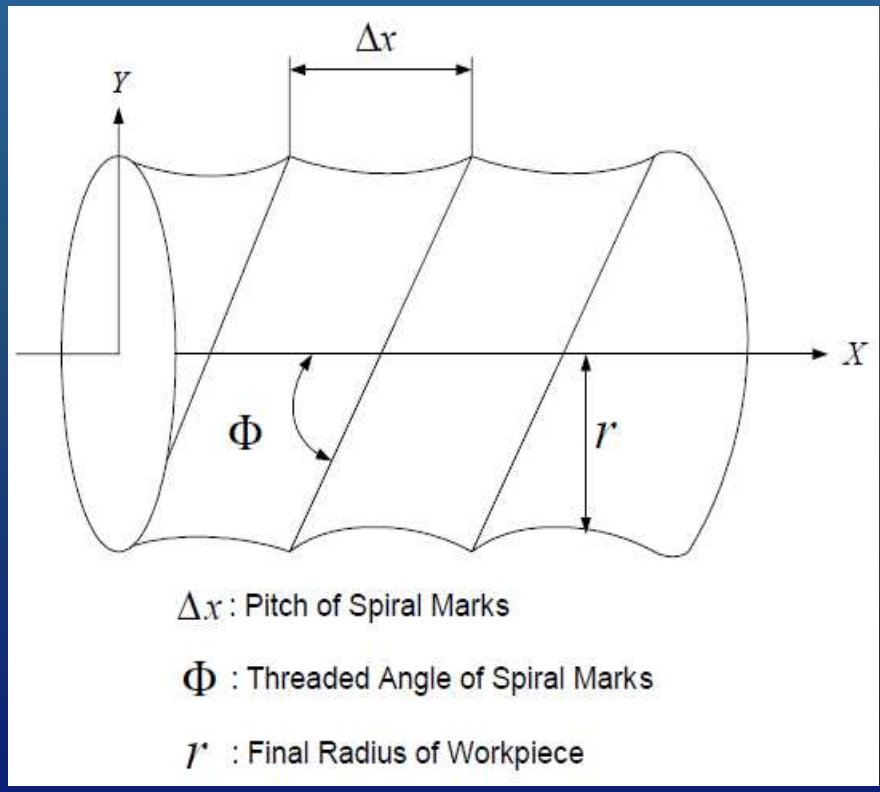
(a) Area ratio=1.23



(b) Area ratio=1.56

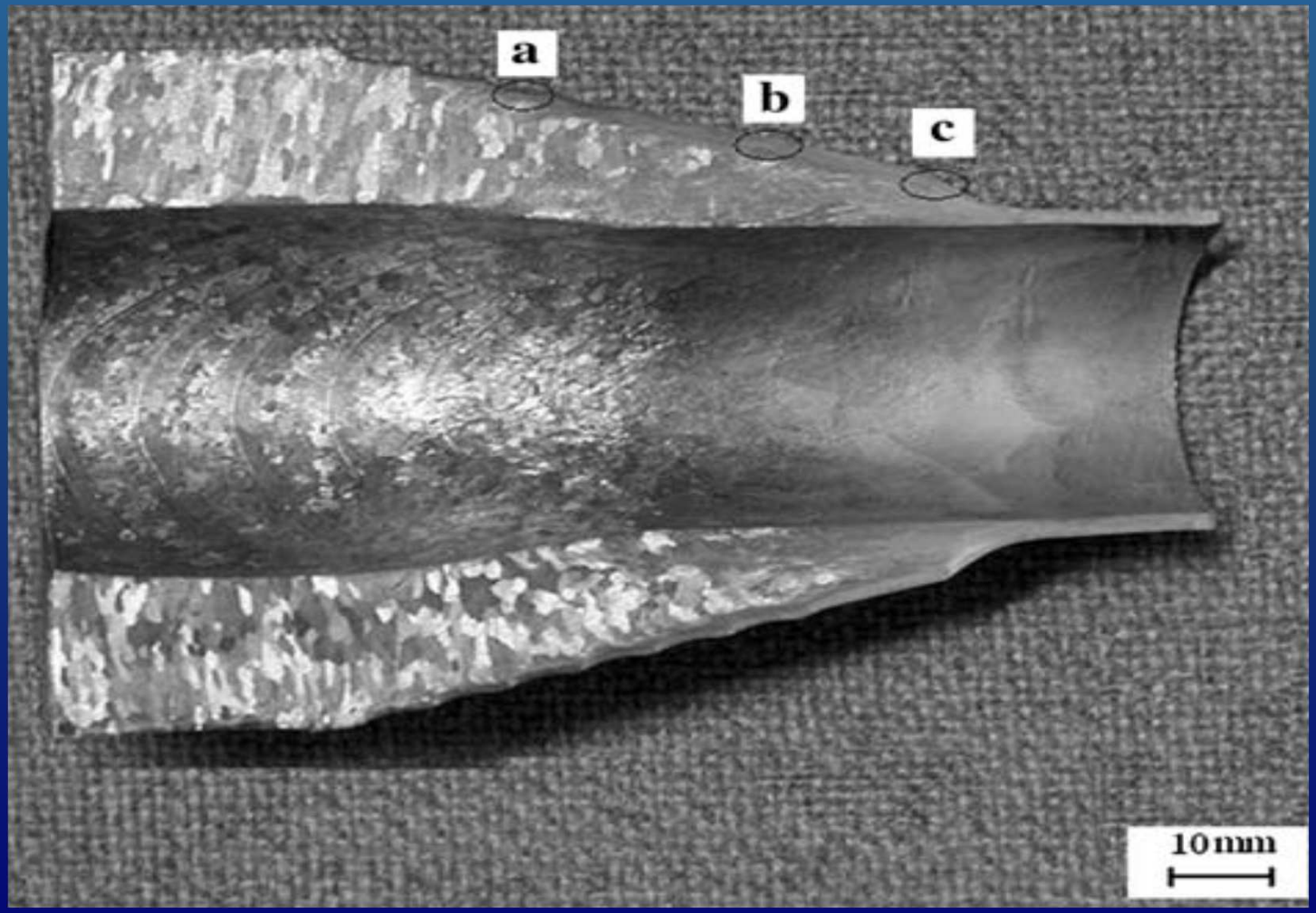
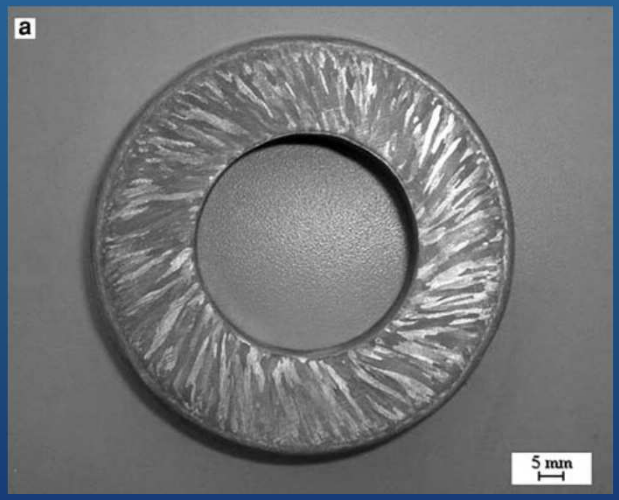
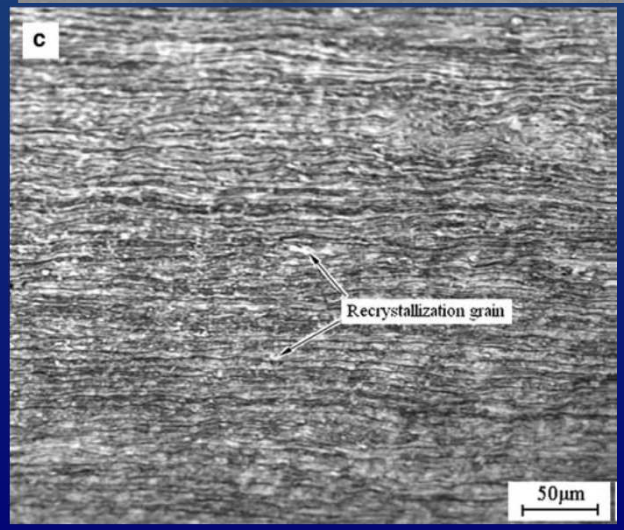


(c) Area ratio=2.78



Laminador planetário para tubos e barras redondas

Metalurgia física



Metalurgia física