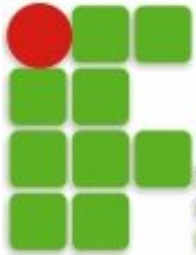




# Tratamentos de

enduro. Os tratamentos termocquímicos



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
BAHIA

# *Tratamentos de*

# *endurecimento térmico-químico*

**Turma 6821**

**Arthur Galvão, Fábio Borges, Israel Lima e Vitor Alex**

# *Tratamentos Termoquímicos?*

***“são os tratamentos que visam o endurecimento superficial dos aços, pela modificação parcial da sua composição química e aplicação simultânea de um tratamento térmico” Vicente Chiaverini (modificado)***

**Os tratamentos termoquímicos são também conhecidos como tratamentos de endurecimento superficial (que é sua principal finalidade)**

**A modificação da composição química se dá por difusão termoquímica de elementos na superfície do aço como: carbono, nitrogênio e boro, entre outros. Pode ser usado também pra adquirir propriedades como resistência à fadiga, à corrosão e à oxidação em altas temperaturas**

# *Tratamentos Termoquímicos!*

**Necessidade:** Uma peça com uma boa resistência ao choque e dureza elevada na superfície e um núcleo dúctil e tenaz

***Problema:*** *Incompatibilidade de propriedades nos aços carbonos*

**Resolução:** A dureza importante é a dureza superficial. Portanto endurece a superfície mantendo o núcleo tenaz

***Processo da resolução:*** *Tratamentos Termoquímicos, conhecidos como tratamento de endurecimento superficial*

# *Tipos de Tratamentos Termoquímicos*

1. Cementação (C)
2. Nitretação (N)
3. Cianetação (CN) (CNX)
4. Carbonitretação (C + N) (C > N)
5. Nitrocarbonetação (C + N) (N > C)
6. Boretção (B)
7. Tratamentos Termorreativos (CX + NX + C<sub>y</sub>N<sub>z</sub>X) (V, Nb, Ta, Cr, W e Mo)



# Difusão Termoquímica?



**“é a matéria sendo transportada através da matéria”**

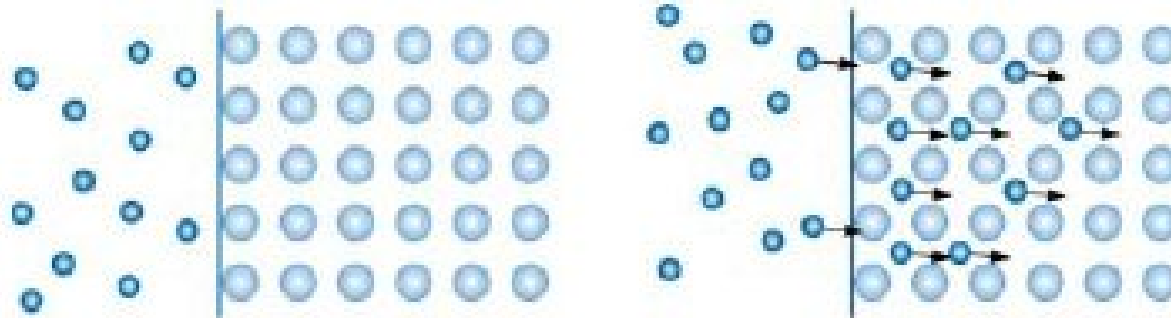
No caso da ligas a difusão é realizada concomitantemente pela:

- Superfície
- Contorno de Grão
- Através do volume sólido (Grão)

Dentro dos grãos a movimentação dos átomos se dá:

- Através dos defeitos na rede cristalina
- Através dos interstícios
- Forçosamente substituindo átomos

# Difusão Termoquímica?

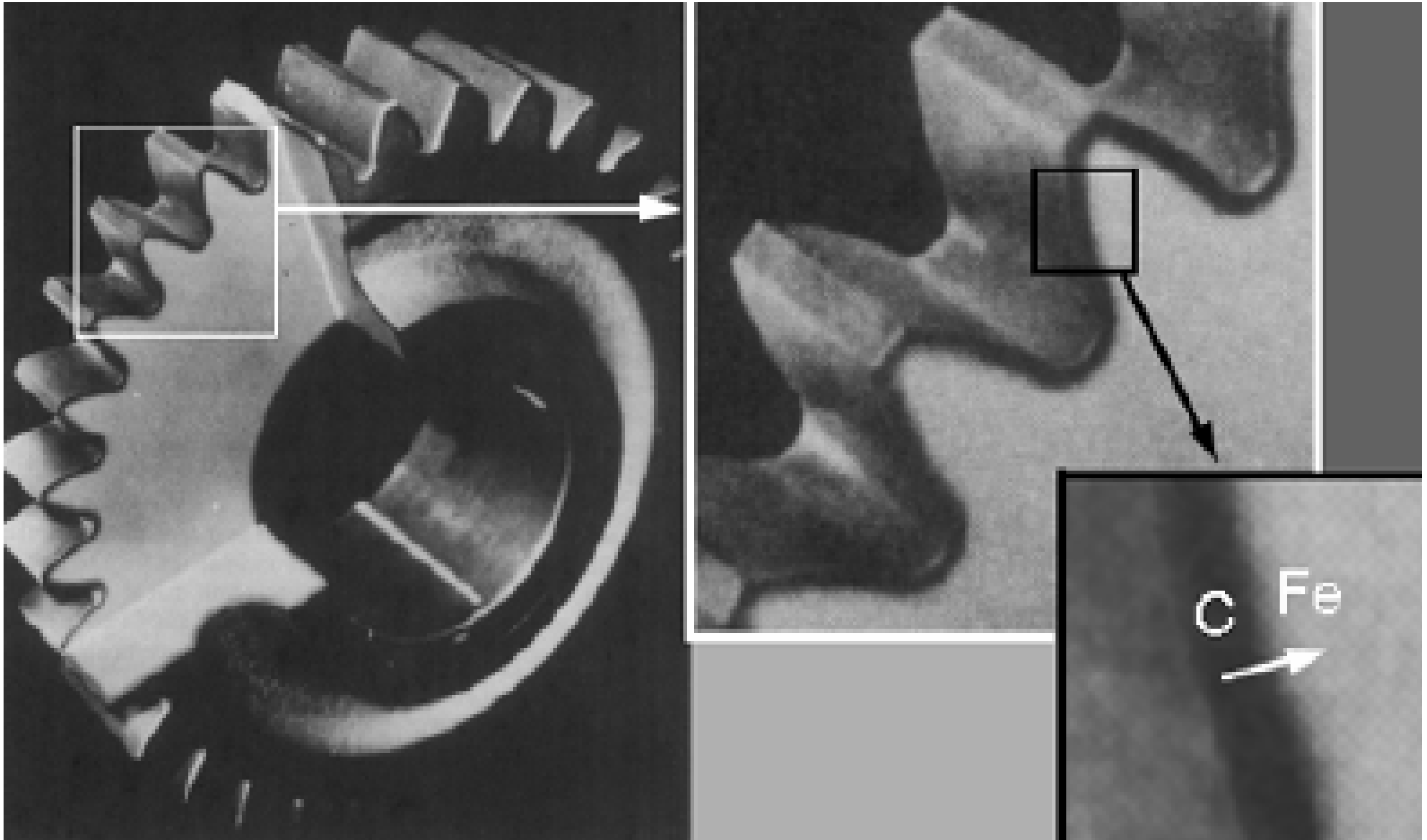


Difusão Termoquímica recebe este nome pois a energia de ativação é térmica:

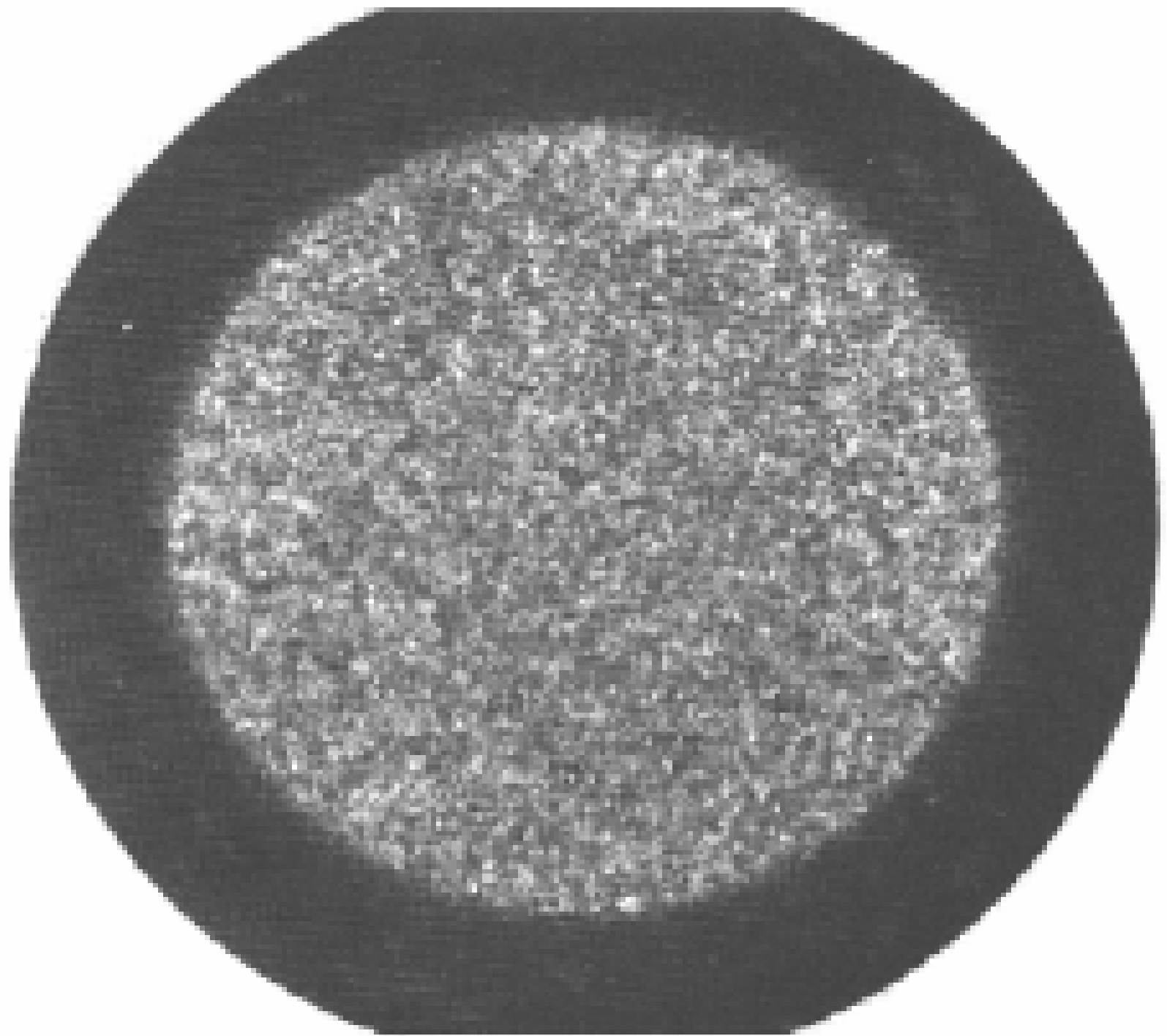
$$Q_{\text{volume (grão)}} > Q_{\text{contorno de grão}} > Q_{\text{superfície}}$$

Facilidade de difusão é inversamente proporcional a maior quantidade de energia de ativação (coeficiente de difusão)

# Fotomontagem da Cementação







nital

2 1/2 X

# *Cementação ou Carbonetação*

Definição: Introdução de Carbono na superfície do aço de modo que quando depois de temperado tenha uma superfície mais dura.

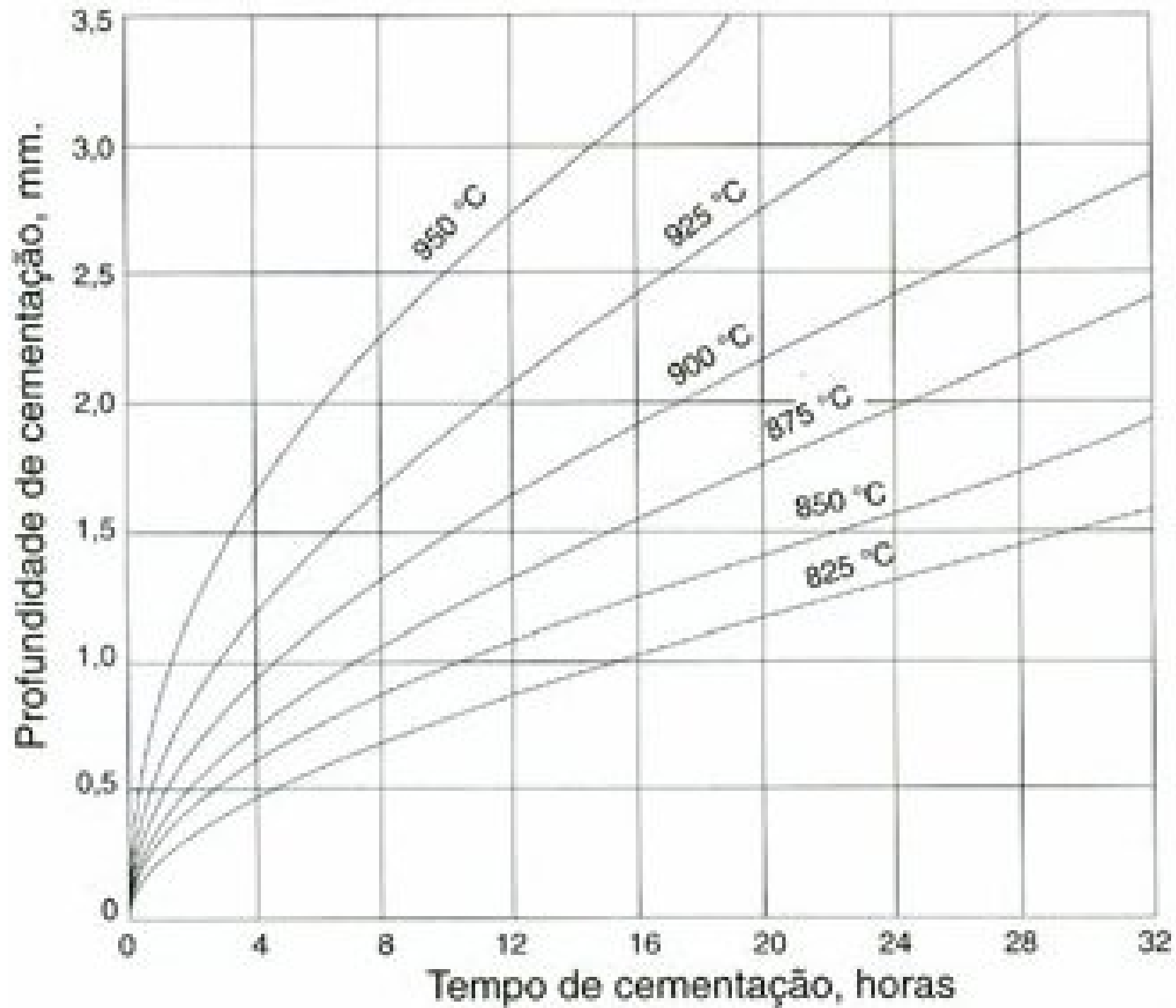
Mais empregado; Mais antigo (Romanos); Seguido por têmpera (produzindo Martensita)

Tipos Cementação:

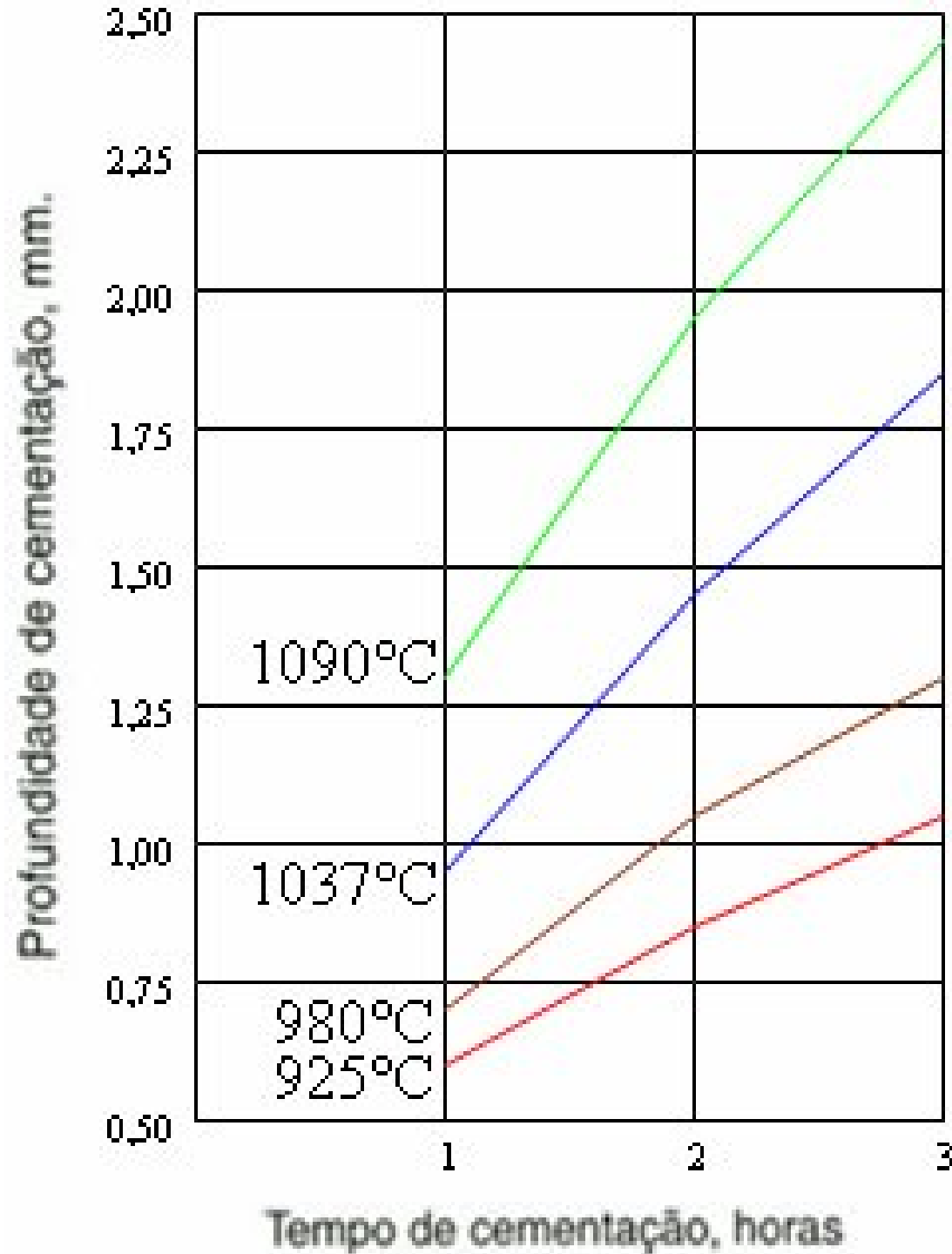
- A alta temperatura
- Sólida ou “em caixa”
- Líquida
- Gasosa
- Vácuo
- Plasma ou Iônica

Análise da camada cementada:

- Concentração de carbono antes do tratamento (-C) (+C)
- Tempo do tratamento (+t) (+C)
- Temperatura (+T) (+C)
- Agente Carbonetante (Facilidade de fornecer carbono)
- Velocidade de Fornecimento do Agente Carbonetante ( $V_{\text{contr}}$ ) (+C)

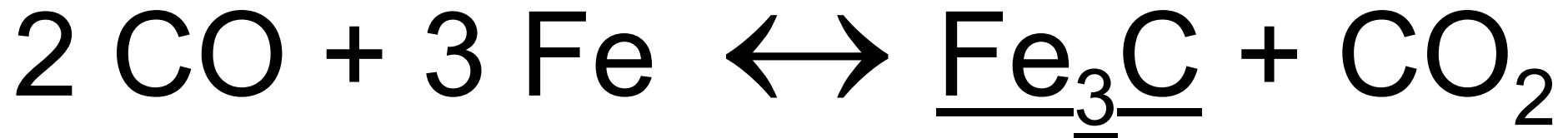


# *Cementação à alta temperatura*

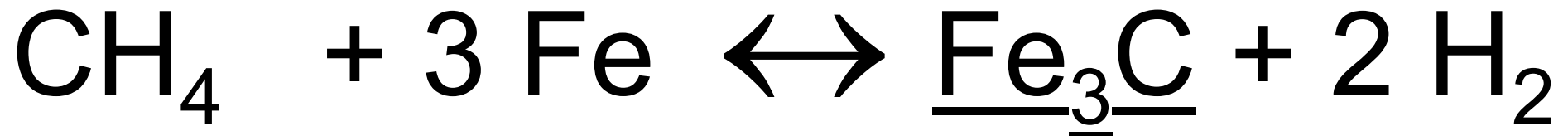


# *Reações Fundamentais*

## *Cementação ou Carbonetação*



Gás carbônico



Gás Metano

# *Cementação ou Carbonetação*

## **Tratamentos Térmicos na cementação:**

- Normalização (Anterior) (Para permitir Usinagem -Retificação)
- Têmpera (Posterior) (Transformação em Martensita – Microconstituente mais duro)

## **Profundidades da camada difusa**

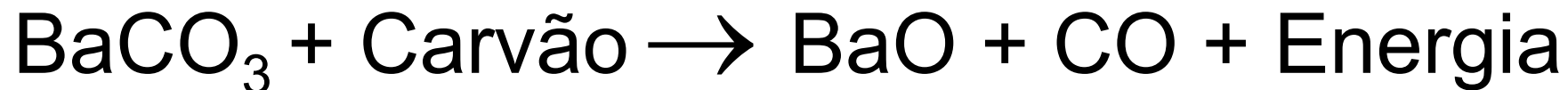
- Em média 0,8 a 1,0%C (t, T)



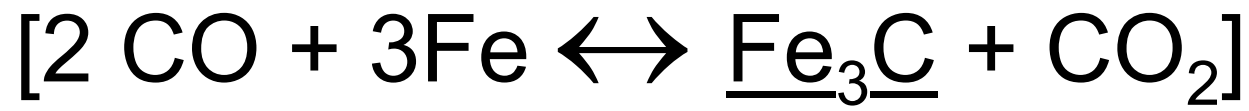
# *Cementação Sólida ou em Caixa*



gás tóxico e muito venenoso  
(250X)(CO>O2)



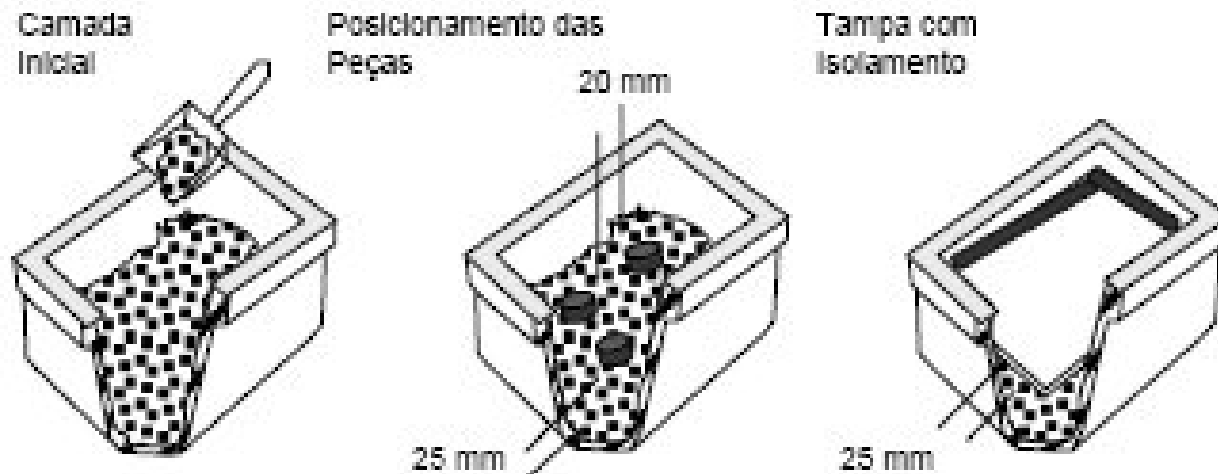
substância ativadora (ou outros carbonatos)



# Cementação Sólida ou em Caixa

Substâncias carbonáceas são sólidas portanto cementação sólida

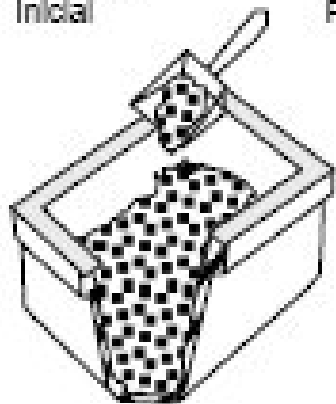
Misturas carburizantes: carvão de madeira; aglomerado com 5% à 20% de óleo comum ou óleo de linhaça; uma substância ativadora (50% à 70% de carbonato de bário)



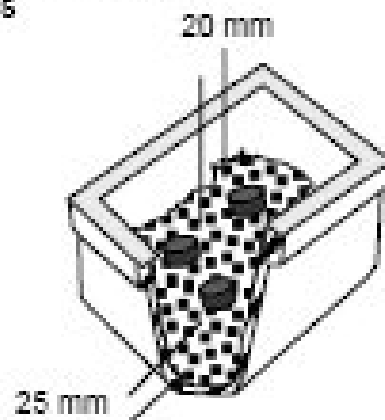
# Cementação Sólida ou em Caixa

- Utilização de grande variedade de Fornos
- Precisam de resfriamento lento após a cementação
- Dificuldade de desempacotamento das peças
- Processo de cementação mais lento
- Temperaturas usuais: 815 a 955°C (às vezes 1095°C)
- Profundidade da camada cementada (0,6 a 6,9mm)
- Material das caixas: aço carbono revestida de alumínio > aço inox > aço C

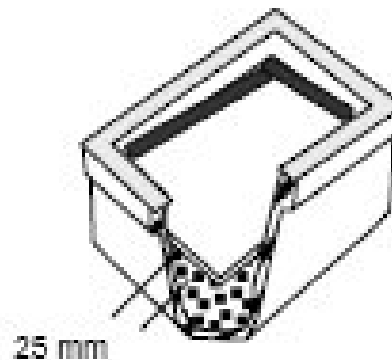
Camada Inicial



Posicionamento das Peças



Tampa com Isolamento

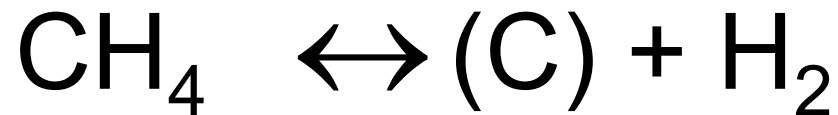


# *Cementação Sólida ou em Caixa*

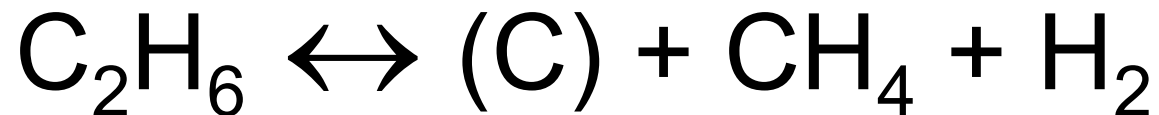


Forno Industrial Jung TT 200

# *Cementação gasosa*



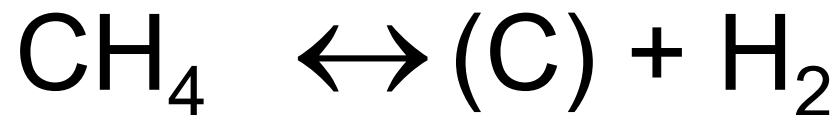
80 a 90% do gás natural (gás metano)



10 a 20% do gás natural (gás etano)



(gás propano)



(gás metano)

+ gás veiculo (diluir o gás cementante e não deixar diminuir a temperatura devido as reações)

# *Cementação gasosa*

## Características:

- Cementação mais limpa que a sólida
- Tratamento mais complexo (segurança, controle e técnica de operação)
- Profundidade da camada cementada: 0,5 a 2,0mm
- Equipamento de cementação gasosa é bastante caro (Possibilidade de Processo contínuo)
- Temperatura e tempo (profundidade de difusão)
- Possibilita têmpera direta (Evitando o resfriamento)

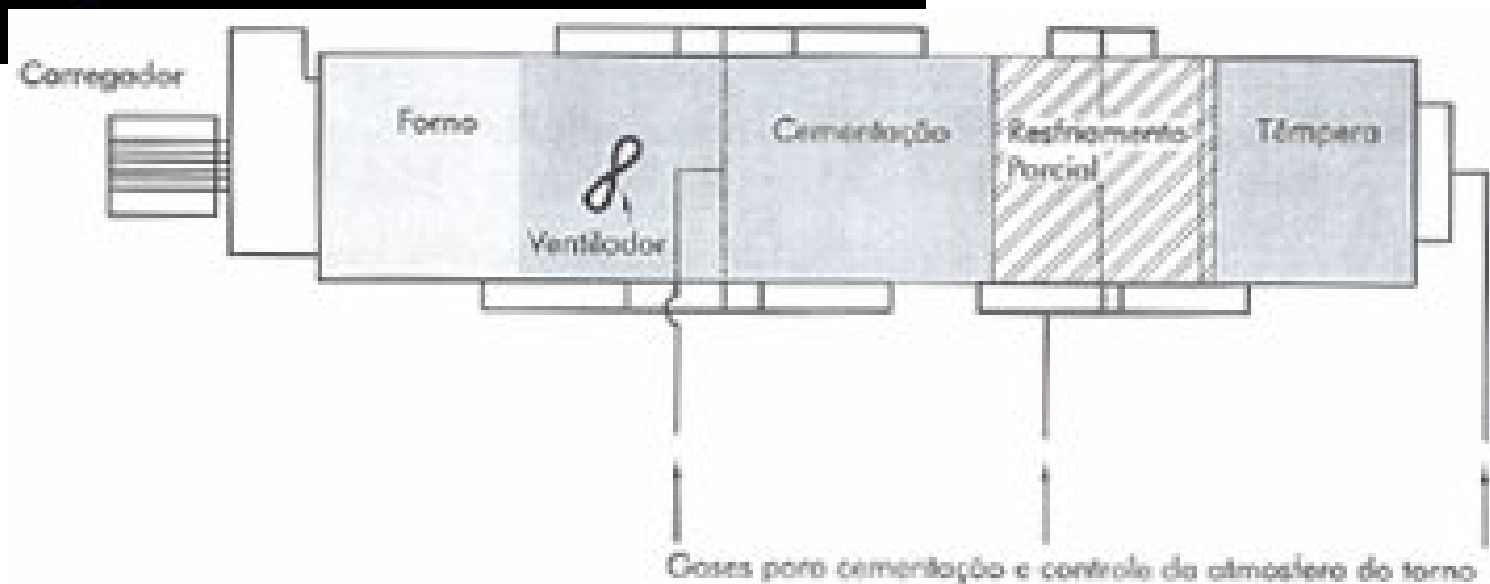


# *Cementação gasosa*



Forno para cementação gasosa à atmosfera controlada

# Cementação gasosa



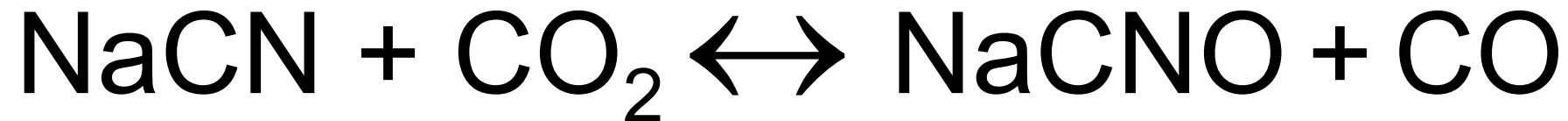
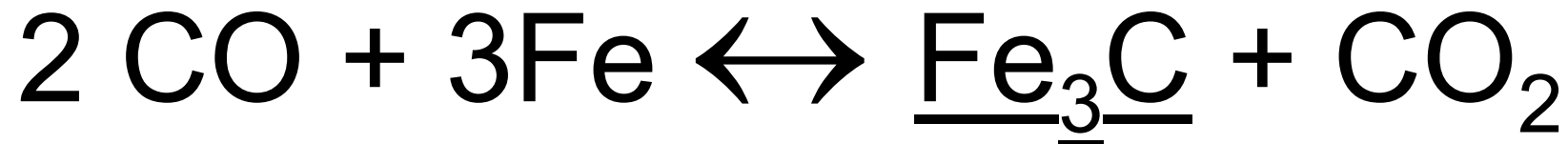
Equipamento para cementação gasosa processo contínuo

# *Cementação Líquida*

## Cementação provocada por um banho de sal fundido

Constituinte	Composição do banho, %	
	Camada de pequena espessura Baixa temperatura (840° a 900°C)	Camada de grande espessura Alta temperatura (900° a 955°C)
Cianeto de sódio	10 a 23	6 a 16
Cloreto de bário	0 a 40	30 a 35
Outros sais alcalinos	0 a 10	0 a 10
Cloreto de potássio	0 a 25	0 a 20
Cloreto de sódio	20 a 40	0 a 20
Carbonato de sódio	30 max	30 max
Aceleradores de outros compostos de metais alcalino-ferrosos	0 a 5	0 a 2
Cianeto de sódio	1 max	0,5 max

# *Cementação Líquida*



Profundidade da camada cementada:

- Banhos para baixa temperatura: 0,13 a 0,25mm
- Banhos para alta temperatura: 0,5 a 3,0mm

Proteção efetiva contra a descarbonetação

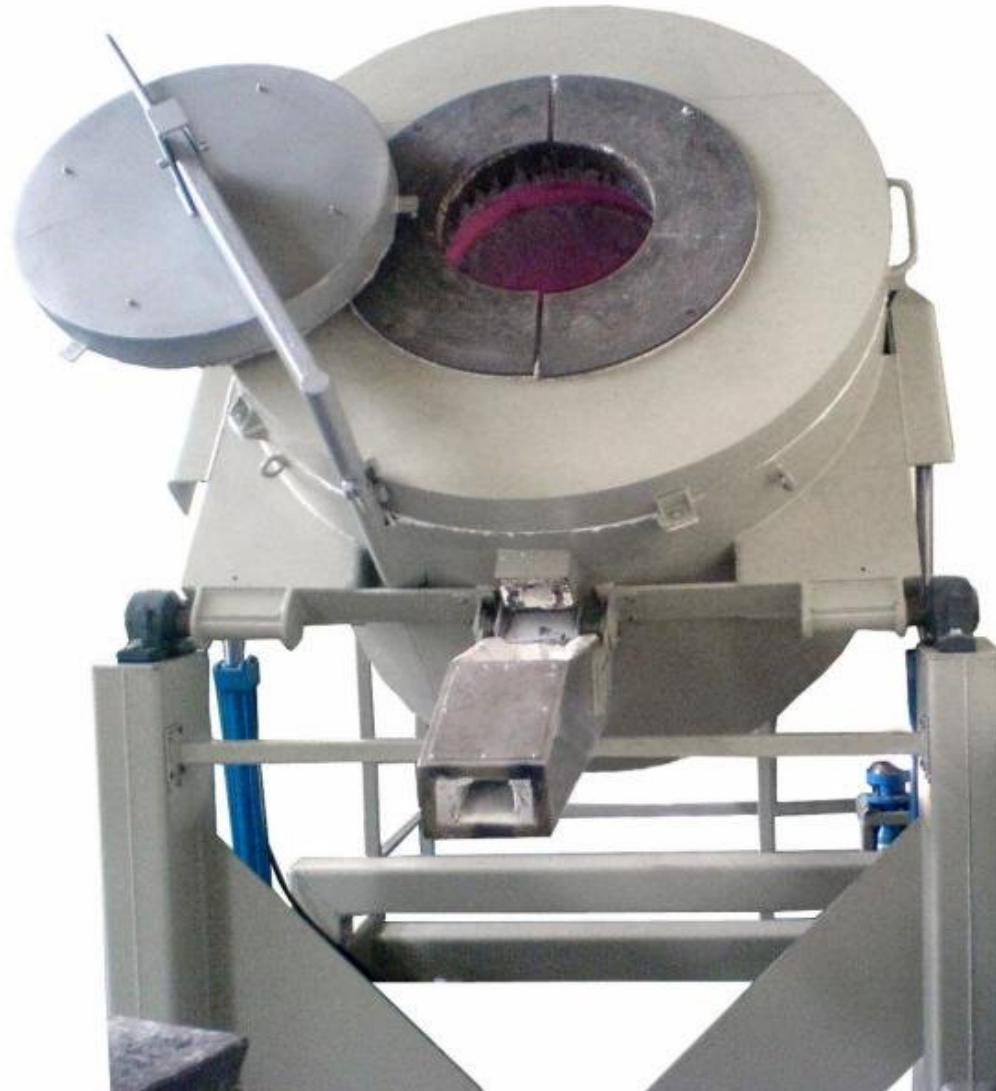
Produz resíduos de tóxicos de cianeto (Processo de Durofer)(polímero)

# *Cementação Líquida*



Forno para cementação líquida- com aquecimento externo

# *Cementação Líquida*



Forno para cementação líquida- com aquecimento externo



# *Cementação Líquida*



Forno para cementação líquida- com aquecimento interno

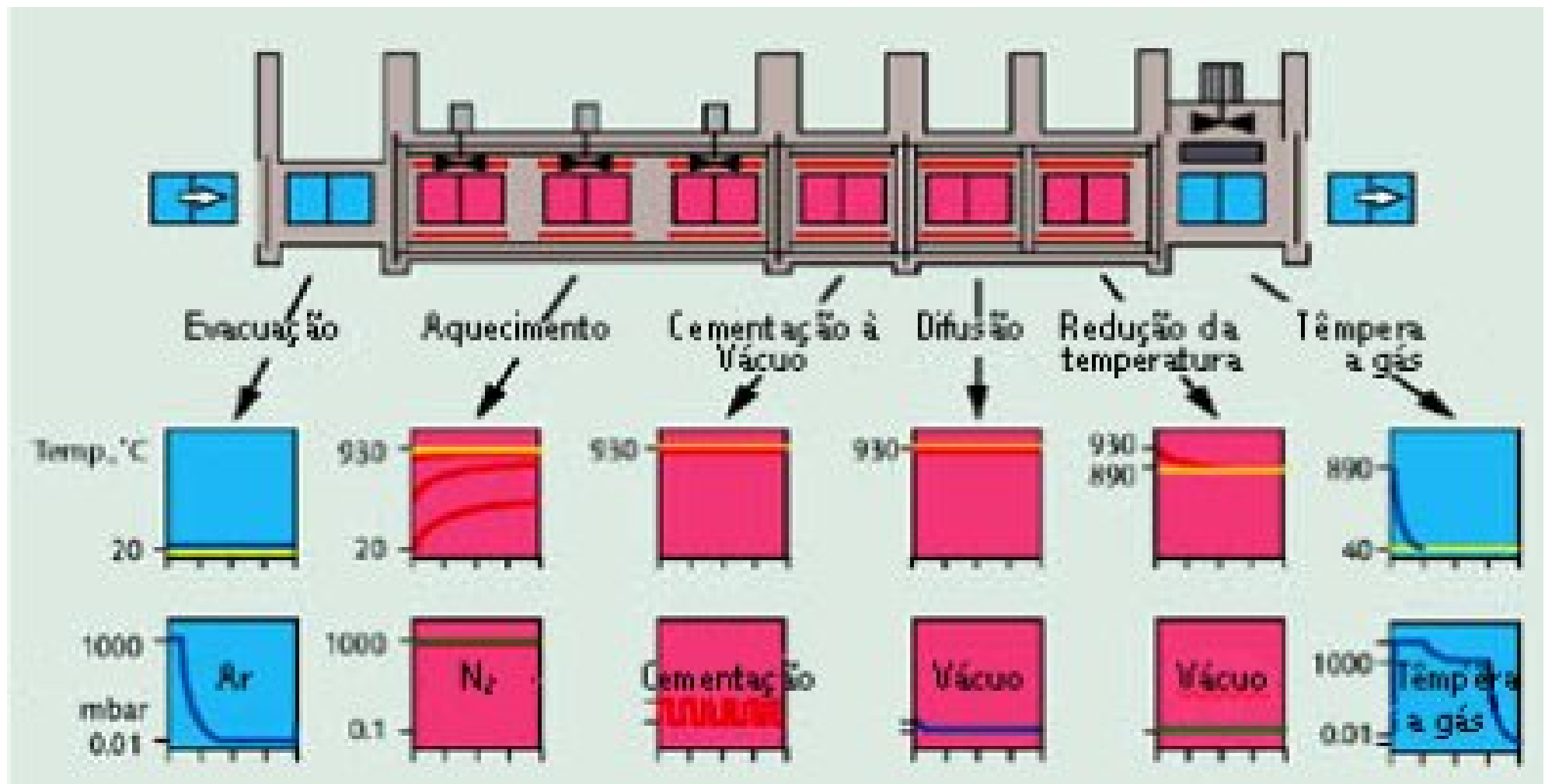
# *Cementação Líquida*



# Cementação a Vácuo

Processo similar a cementação gasosa só que os gases são evacuados e preenchidos com gás nitrogênio

Temperado imediatamente em óleo



# *Cementação a Vácuo*



Forno de câmara simples

# *Cementação a Vácuo*



Forno de câmara dupla

# *Aços para Cementação*

## **Aços Carbono**

- superfície resistente ao desgaste com núcleo tenaz
- 1016 / 1018 / 1019 / 1022
- peças pequenas / temperadas em água
- aplicações onde não é exigido baixa distorção

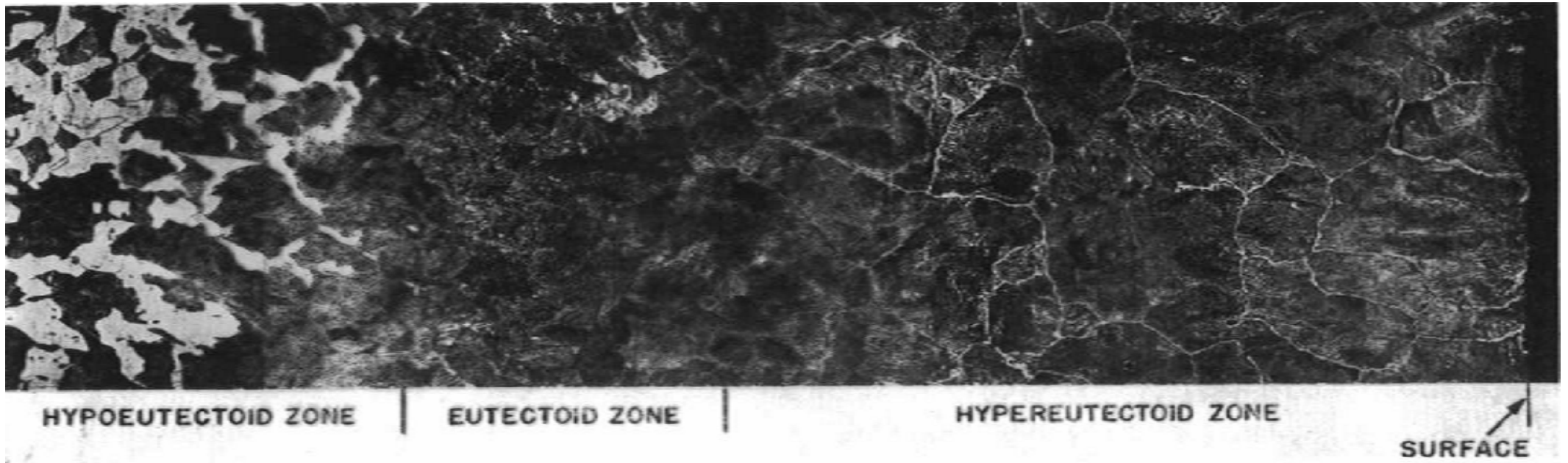
## **Aços baixa-liga**

- superfície resistente ao desgaste / núcleo resistente e dútil
- 4023 / 5110 / 4118 / 8620 / 4620
- temperados em óleo / baixa distorção

## **Aços média-liga**

- aplicações onde é exigido menor distorção
- 4320 / 4817 / 9310

# *Microestructura cementada*



# Nitretação

Definição: Introdução de Nitrogênio na superfície do aço

Temperatura do tratamento: 500 a 570°C

Não é necessário têmpera posterior

Tipos de nitretação:

- Gasosa
- Líquida
- Iônica ou a plasma

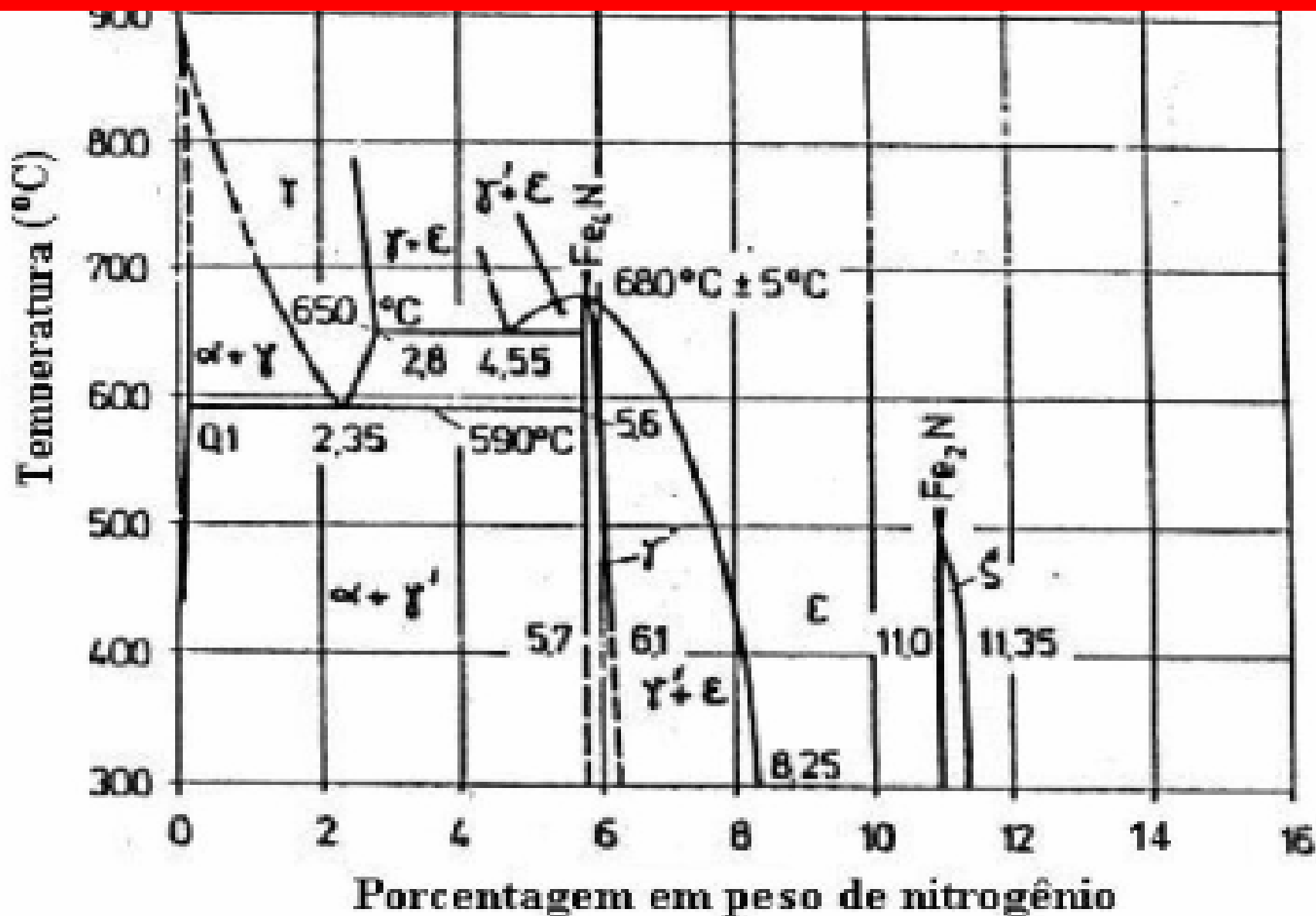
Razões de se fazer a nitretação

- Obter altíssima dureza superficial (70Rc) e alta resistência ao desgaste
- Melhorar a resistência à fadiga e a corrosão (exceto para os aços inoxidáveis)

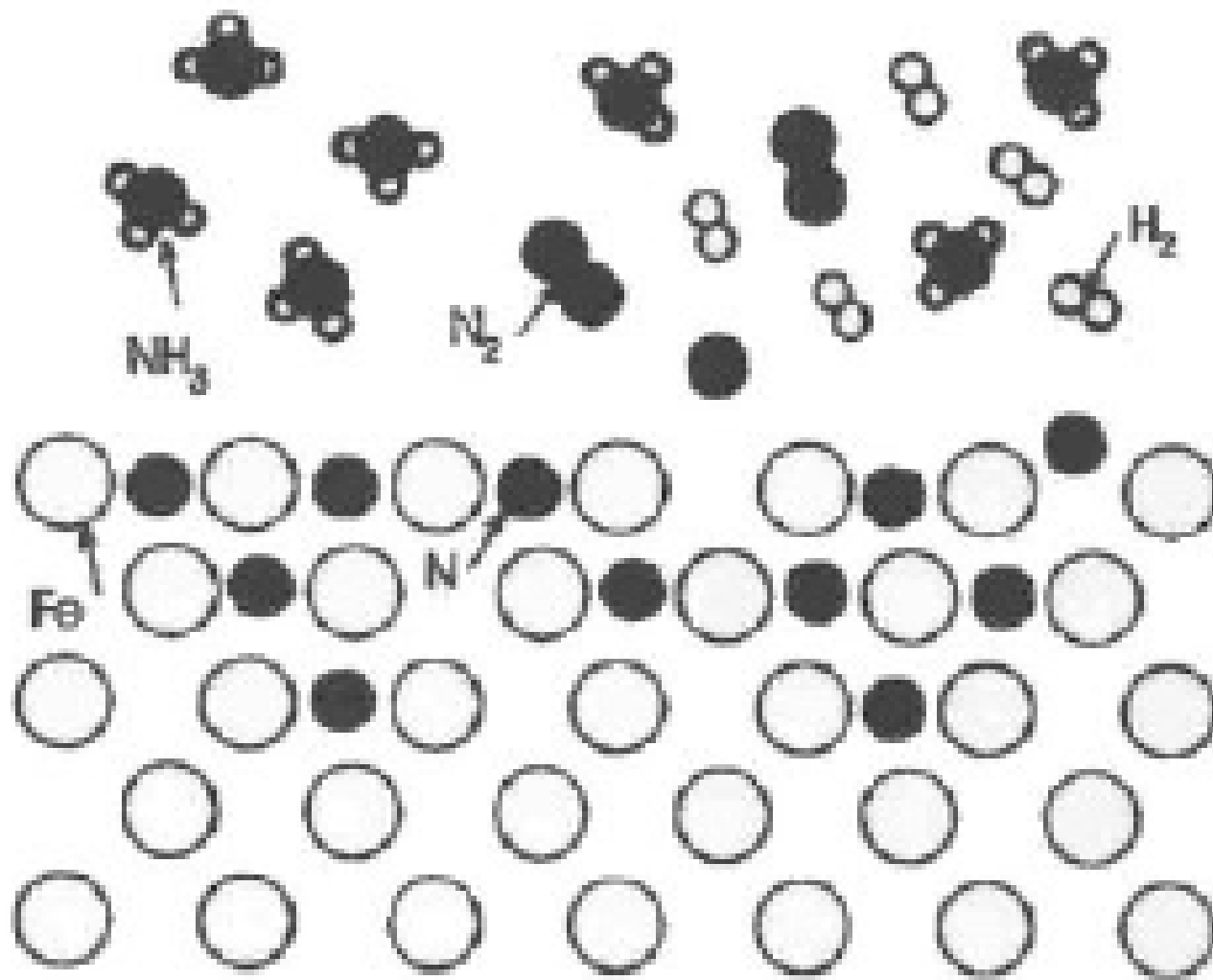


# Nitretação

(diagrama de equilíbrio Fe-N)



# Nitretação a gás



# Nitretação a gás

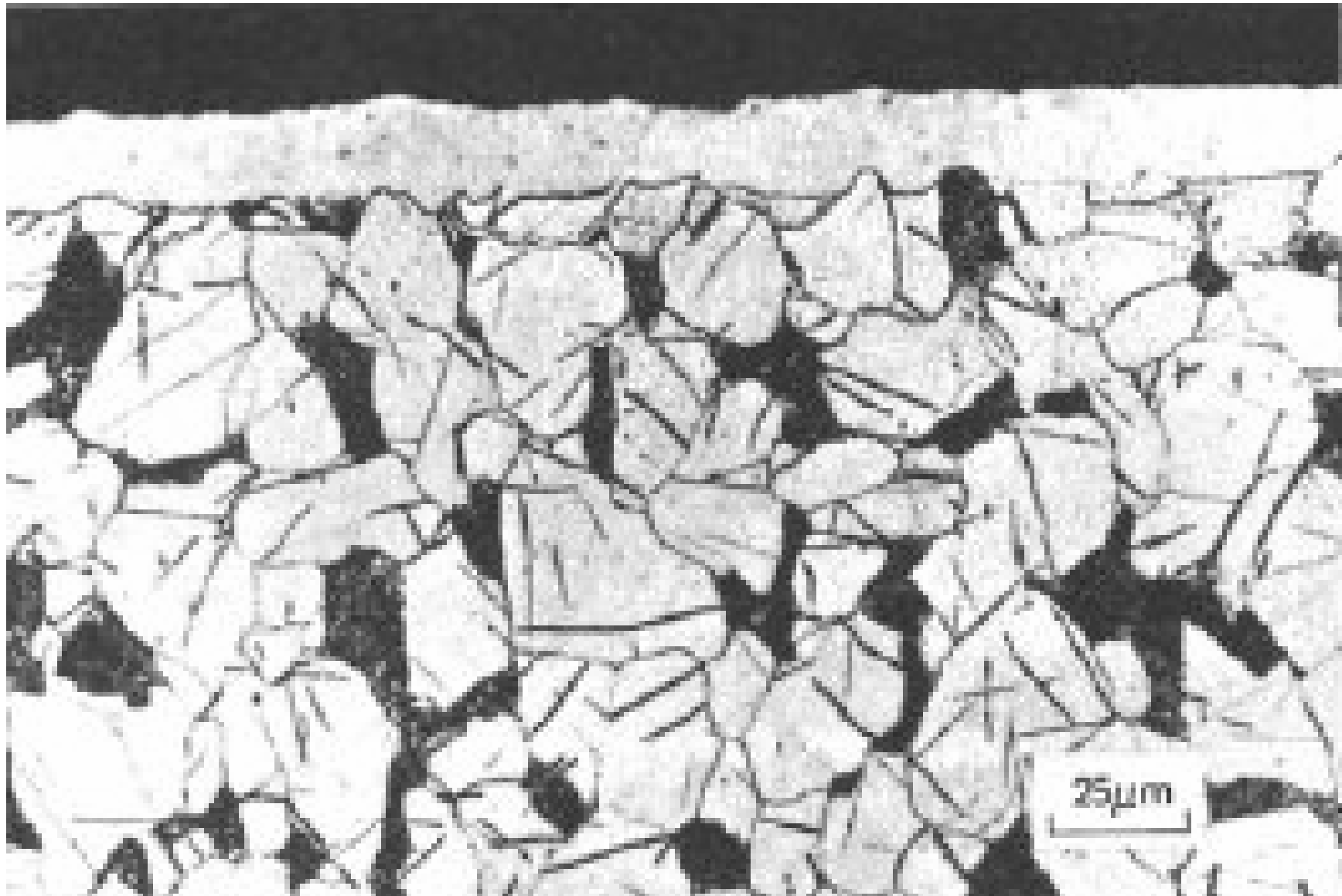
## Aços empregados:

- Aços de baixa liga contendo alumínio
- Aços de médio carbono, ao cromo, das séries 41xx, 43xx, 51xx, 61xx, 86xx, 87xx e 98xx
- Aços ferramenta com 5% cromo
- Aços inoxidáveis nitrônicos, Ferríticos, Martensíticos
- Aços conter alumínio ou cromo (Ideal série Nitraloy – 1%Al e 1,2%Cr)

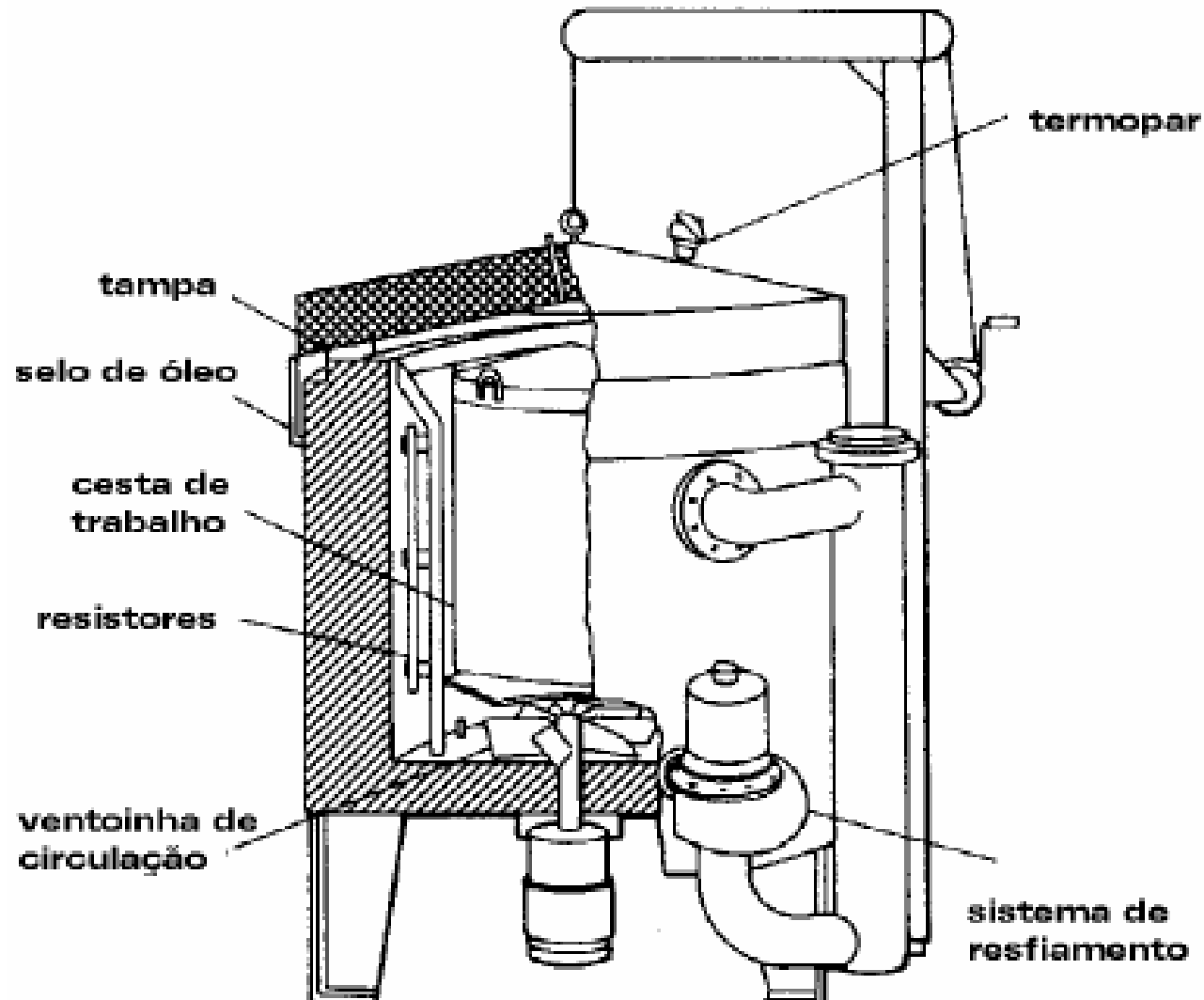
# *Nitretação a gás*

- **Têmpera e revenimento a 25°C acima da temperatura de nitretação para garantir estabilidade dimensional**
- **Usinagem grosseira**
- **Revenimento para alívio de tensões (500° a 600°C)**
- **Usinagem Final**
- **Nitretação**
- **Retífica**

# Nitretação a gás

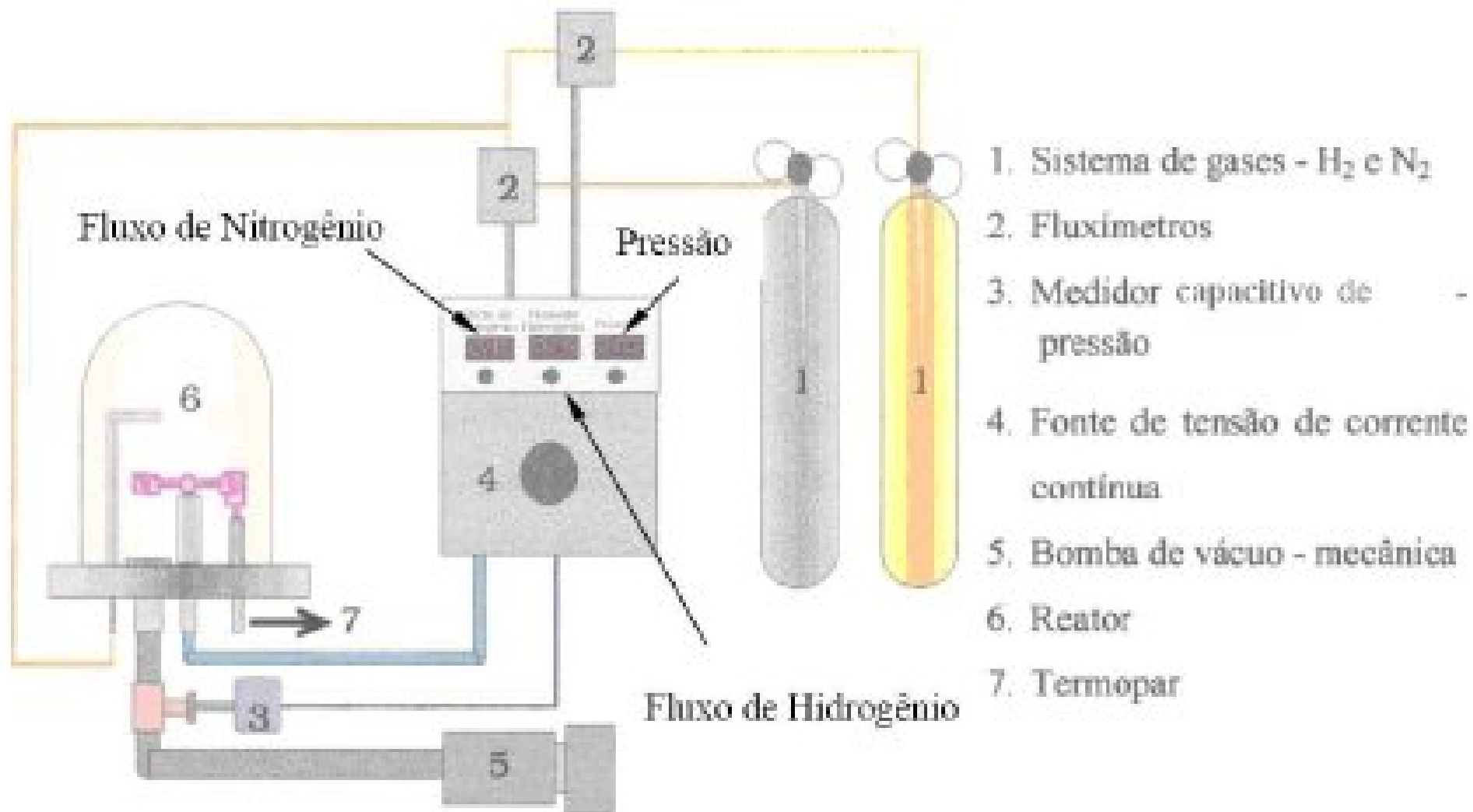


# Nitretação a gás



Forno de Nitretação gasosa

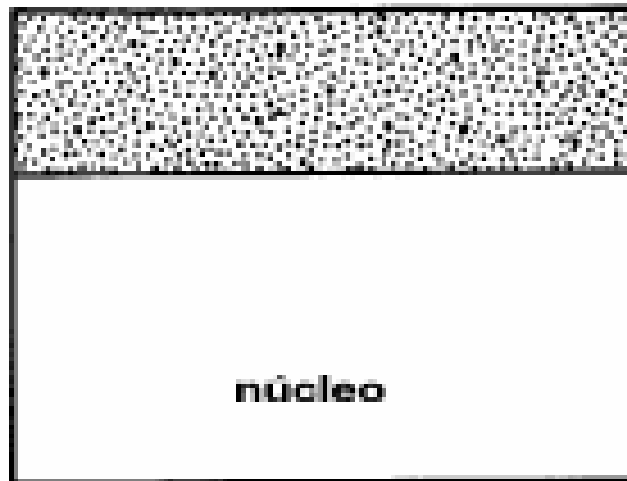
# Nitretação a plasma



# Nitretação a plasma

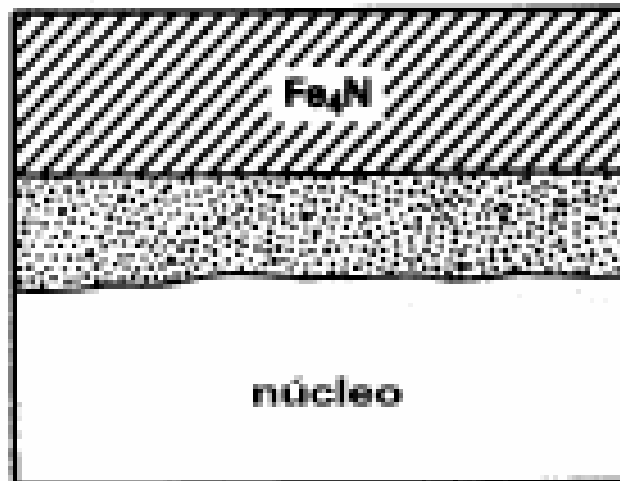
## Composição do gás

1 a 5% de nitrogênio  
e hidrogênio (balanço)



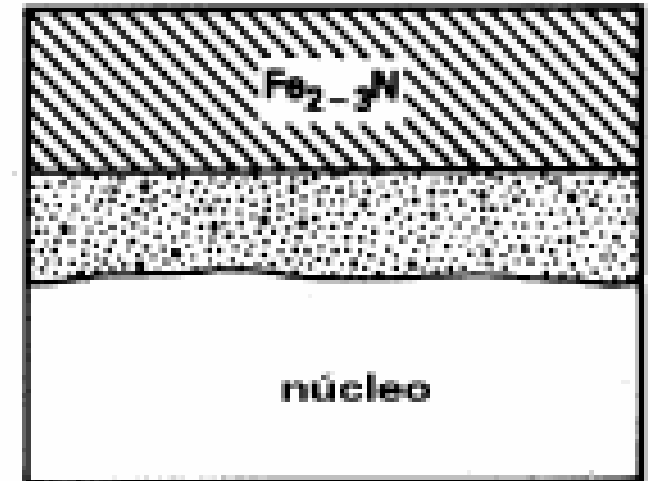
camada de difusão

15 a 30% de nitrogênio  
e hidrogênio (balanço)



camada  $\gamma'$  e camada  
de difusão

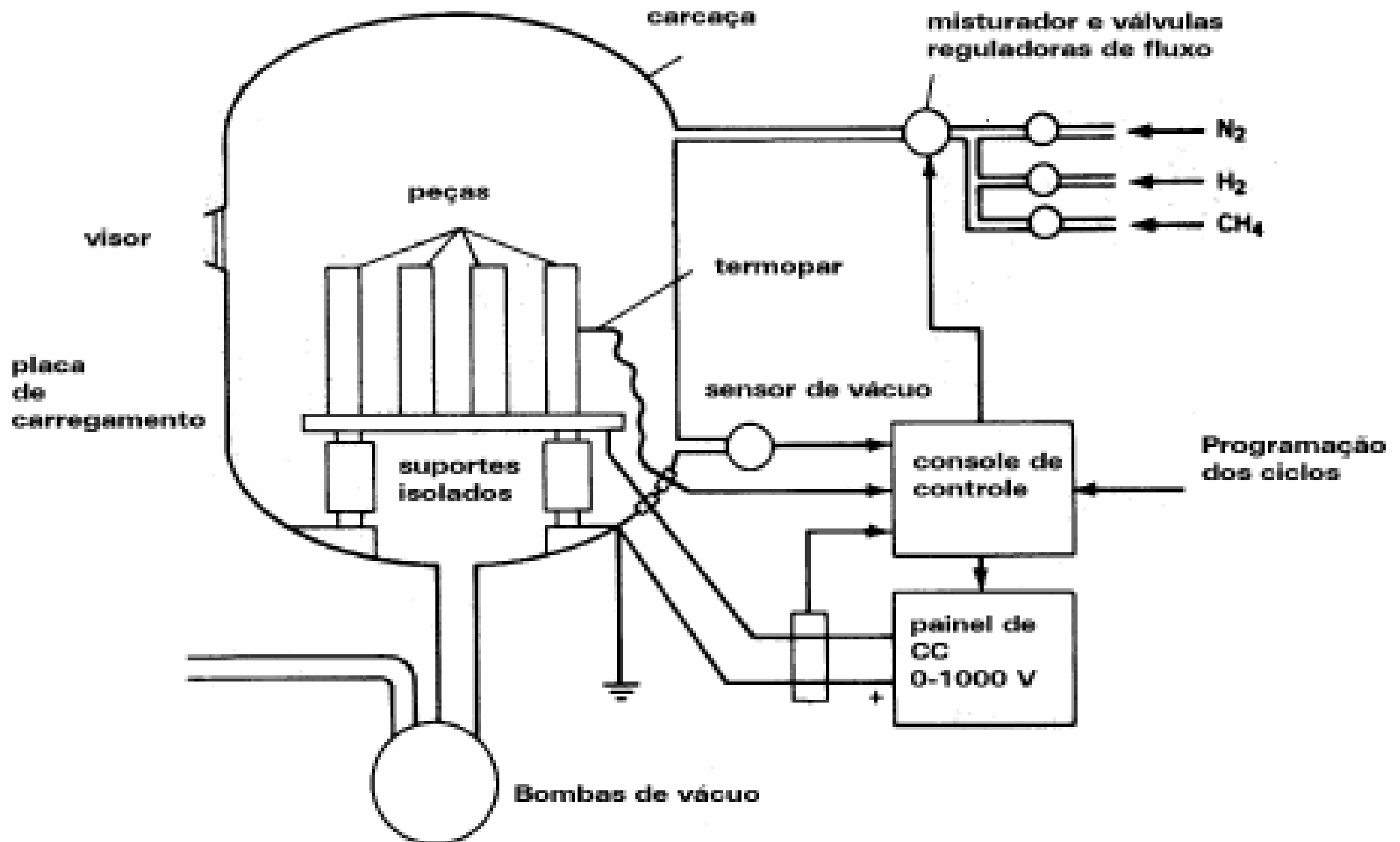
60 a 70% de nitrogênio  
1 a 3% de metano e  
hidrogênio (balanço)



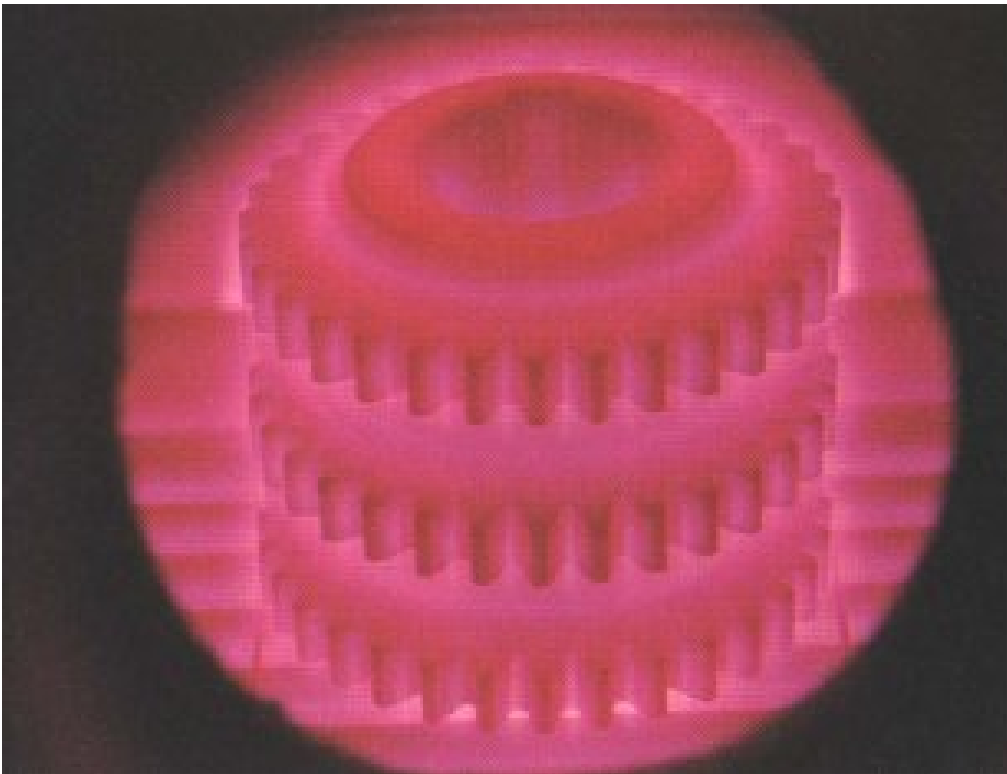
camada  $\epsilon$  e camada  
de difusão



## Esquema de um forno de nitretação a plasma típico

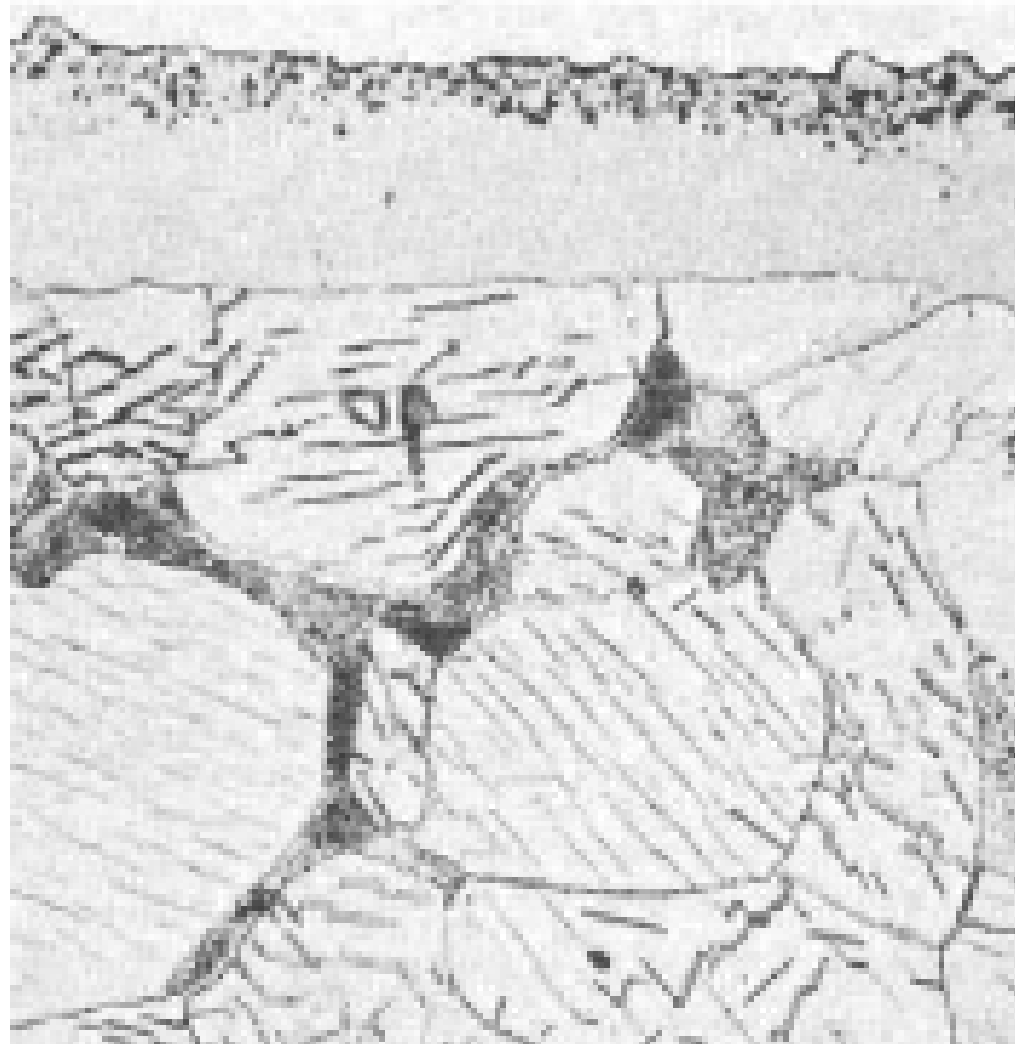


# Nitretação a plasma ou Iônica



Vista geral de componentes  
sendo tratados em um forno de  
nitretação iônica

# *Nitretação Líquida*



**Microestrutura do aço AISI 1015 – nitretação líquida**

# *Nitretação*



Peça nitretada

# Cianetação

Consiste em aquecer o aço em temperatura acima da linha de autenitização, em sal fundido, de modo que a superfície do aço absorva carbono e nitrogênio

Banhos de sal:

- 30 a 97% de cianeto de sódio
- 2 a 40% carbonato de sódio
- 0 a 30% de cloreto de sódio

Temperatura de Tratamento: 760° e 870°C

Equipamentos da cementação líquida

# *Carbonitretação*



Peça carbonitretada

# *Nitrocarbonetação ou Nitrocementação*

## *Tipos de Nitrocarbonetação:*

- Ferrítica
- Oxinitrocarbonetação
- Austenítica

*Nitrocarbonetação:  
Peça oxinitrocarbonetada*





# Boretação

Tipos de Boretação:

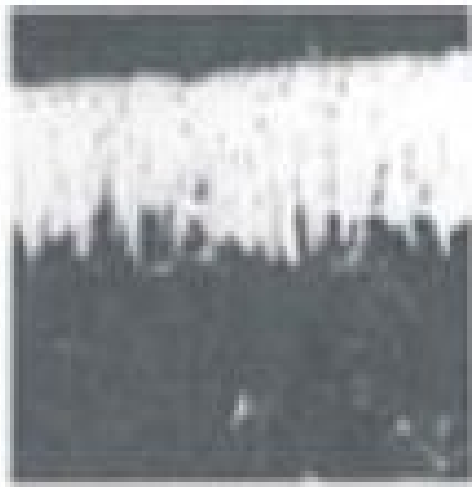
- Gasosa
- Líquida
- Sólida ou Pastosa
- Boretação com adição de outras propriedades

(+ X):

- Boroaluminização (Al)
- Borossiliconização (Si)
- Borocromização (Cr)
- Borocromotitanização (Cr + Ti)
- Borovanadização (V)
- Borocromovanadização (Cr + V)



0.15% C



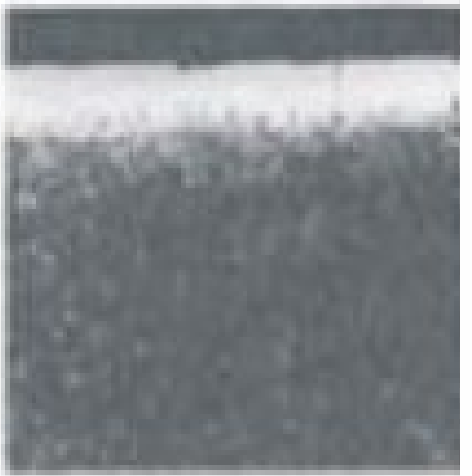
0.40% C



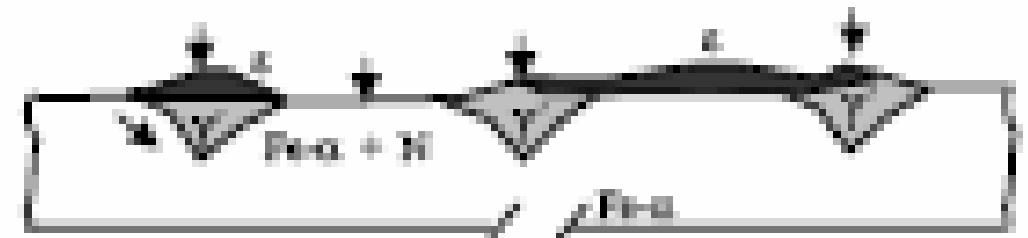
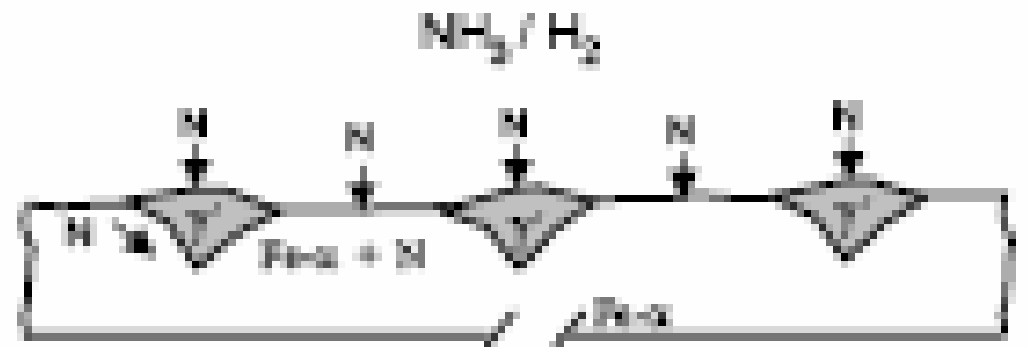
1.0% C



1.40% C - 1.5% C



0.40% C - 1.2% C



# *Termorreacção*

É um processo de difusão  
mas também é  
considerado de  
deposição

# Comparativo de dureza superficial

