

Produção de aços especiais (Clean Steels e Super Clean Steels)



Prof. M. Eng. Silvana Patrícia Verona

Outubro - 2016

FORMAÇÃO ACADÊMICA

- **Engenharia de Materiais UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA – UEPG**
- **Master in Metallurgia- Facoltà di Ingegneria Enzo Ferrari - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA - ITALIA**
- **Engenharia de Segurança do Trabalho – UTFPR**

- **Bolsista CNPq pelo projeto “Metalografia e prova de dureza em aços Corfac” em colaboração com a UFSC e o GRUPO GERDAU.**

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL

- **2013 - UTFPR – Professor do Curso de Engenharia Mecânica disciplinas: Ciência dos Materiais, Ensaios dos Materiais e Conformação Mecânica**
- **FERSUL MANUFATURADOS DE FERRO LTDA (Pato Branco – PR): Engenharia da Qualidade.**
- **ARAMART INDÚSTRIA DE ARAMADOS (Pato Branco-PR) : Controle de processo.**
- **XANITALIA – INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS (Pesaro-ITALIA): Produção**
- **FONDERIA EUROCASTING (Reggio Emilia-ITALIA)- : Controle de processo, laboratório metalúrgico e caracterização de materiais.**
- **PROMAG Spa. (San Polo d'Enza- ITALIA): Programação da Produção**
- **ACCIAIERIA DI RUBIERA (Rubiera - ITALIA): Otimização do proceso produtivo e supervisor de produção.**
- **ATLAS ELETRODOMESTICOS (Pato Branco - PR): estagiário (processos de pré-tratamento, pintura e esmaltação.**
- **FERRO ENAMEL (Castellon de La Plana- ESPANHA): estagiário (desenvolvimento de esmaltes para substrato metálico)**

Aços Clean e Super Clean

- Aços que possuem baixíssimos níveis de elementos como: S, P, N, O e H;
- Níveis controlados de elementos residuais como: Al, Si, Mn, etc;
- Baixa quantidade de defeitos no produto final que possam ser atribuídos à formação de óxidos durante a fabricação do aço.
- Elevado nível de limpeza inclusionária resulta em um aumento significativo de desempenho. Aumento de vida em fluência e tenacidade.

Aço para Rotor de Turbina

26NiCrMoV11-5 (Clean Steel)

26NiCrMoV14.5 (Super clean)

Composição Química

Critério	Min	Máx	Aprox
C	0.2200	0.3200	-
Mn	0.1500	0.4000	-
P	-	0.0100	-
S	-	0.0070	-
Si	-	0.1500	-
Ni	2.4000	3.1000	-
Cr	1.2000	1.8000	-
Mo	0.2500	0.4500	-
V	0.0500	0.1500	-

Temperatura de Transição FATT ₅₀ [°C]	Energia de Impacto a temperatura ambiente [J]
121	8

Resistência a Tração – Tensão máxima [MPa]	Tensão Limite de Escoamento [MPa]	Deformação longitudinal [%]	Redução da área radial [%]
725 – 860	585	17	38

Outras aplicações

- Componentes para aeronáutica
- Eixo de navios
- Tubos para plataforma petroquímica
- Componentes para centrais nucleares
- Âncoras etc...

Acciai per settore energia:

- 26NiCrMoV11.5
- 23CrMoNiWV8.8
- 30CrMoV4.11
- X12CrNiMoV12.3
- COST-E / COST-F
- 26NiCrMoV14.5 Mod. (SUPERCLEAN)

Acciai per settore Oil & Gas:

- A707L3/Cu
- A182F11/F22/F91/F92

Acciai per cuscinetti:

- 100CrMnMo8
- 17NiCrMo14

Acciai da nitrurazione:

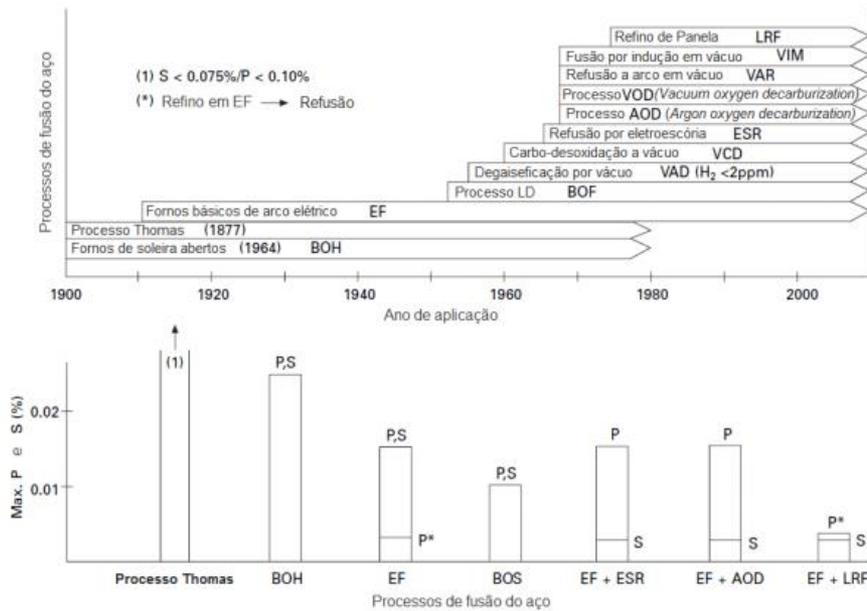
- 34CrAlMo5
- 34CrAlNi7

Acciai per utensili:

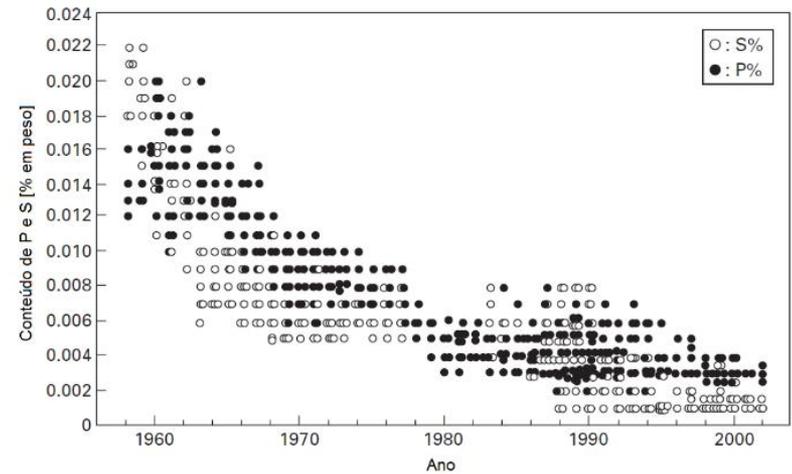
- X38CrMoV5.1 (H11)
- X40CrMoV5.1 (H13)
- X22CrMoV12.1

Acciai Inossidabili martensitici:

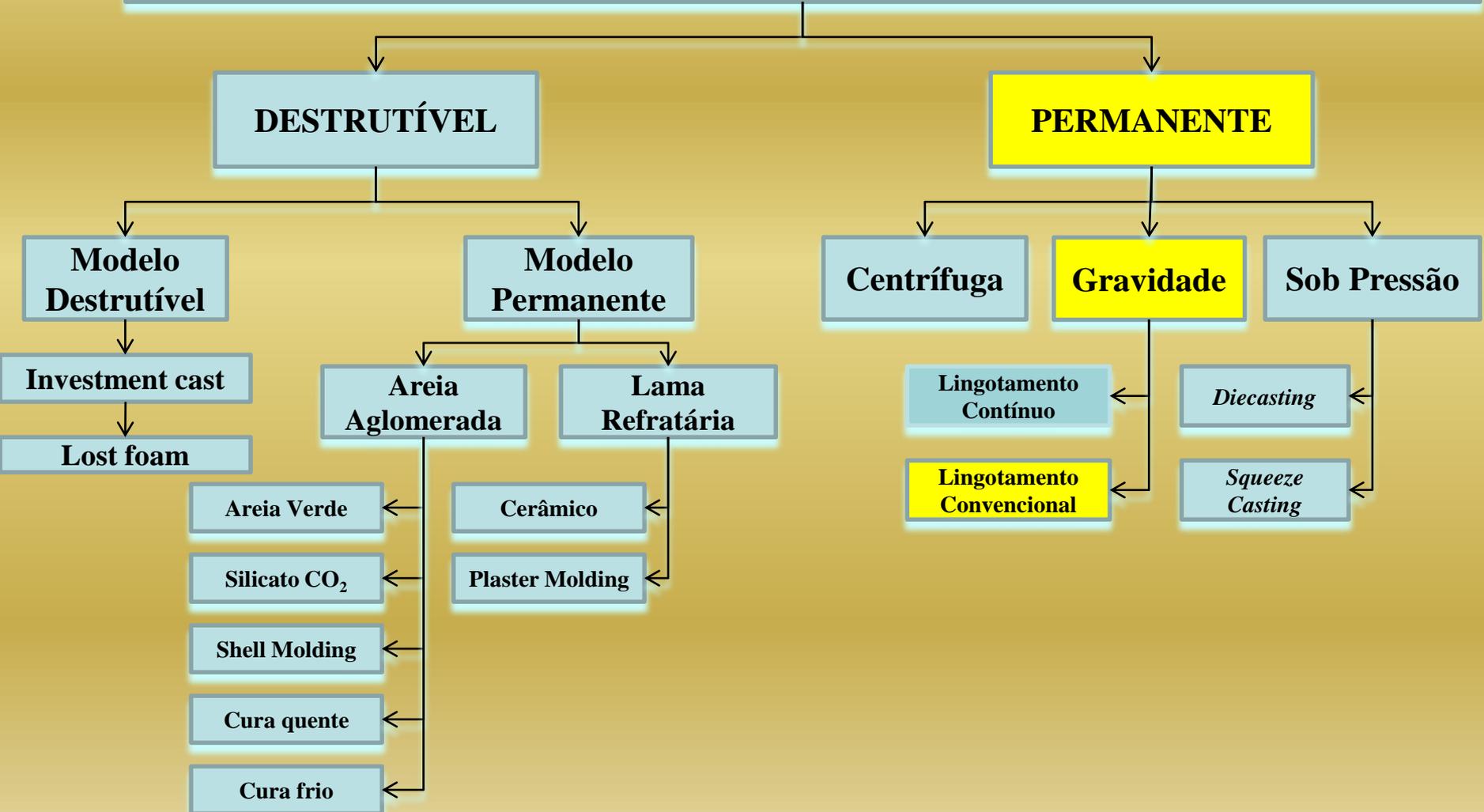
- X12Cr13
- X46Cr13
- A182F6a / F6NM
- 17-4 PH / 15-5 PH



Histórico da mudança do teor de P e S



CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE FUNDIÇÃO QUANTO AO TIPO DE MOLDE



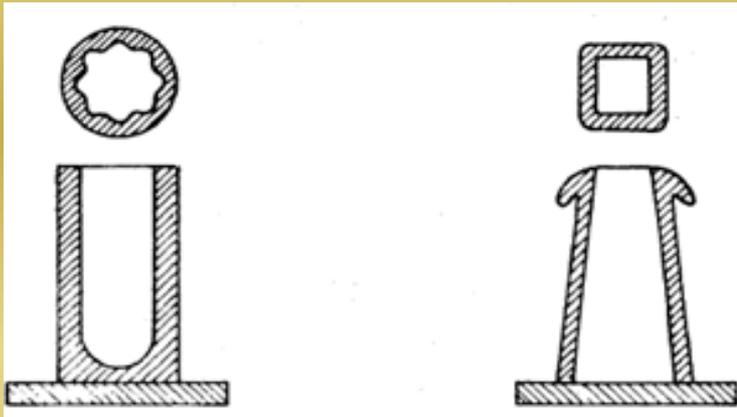
Conceito de Fusão por Gravidade

- Preencher o molde e solidificar metais apenas com a força da gravidade.
- Também conhecido como estático;
- O metal é vazado diretamente no canal de alimentação do molde pelo operador ou dispositivo automatizado;

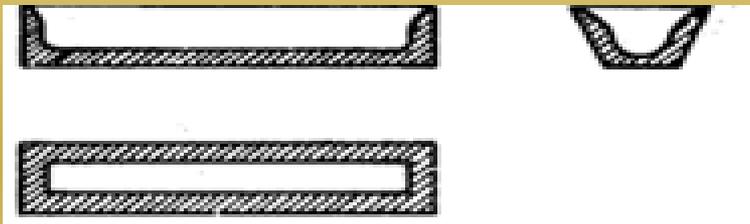
Lingotamento Convencional

- Fundição de "lingotes", ou seja, peças de forma regular, cilíndrica ou prismática, que irão sofrer posterior processamento mecânico. Os moldes nesse caso, serão chamados de "lingoteiras".
- Os lingotes podem ter de 1kg até 170 ton aproximadamente

Tipos de Lingoteiras



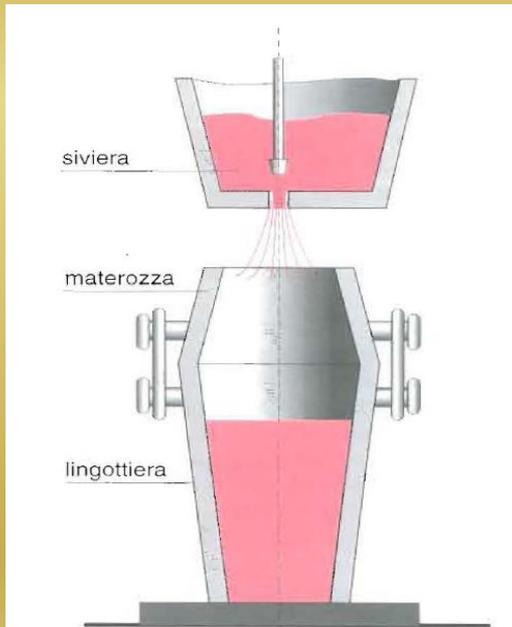
Lingoteiras verticais – lingotes de aço



Lingoteiras horizontais – lingotes de metais e ligas não ferrosas

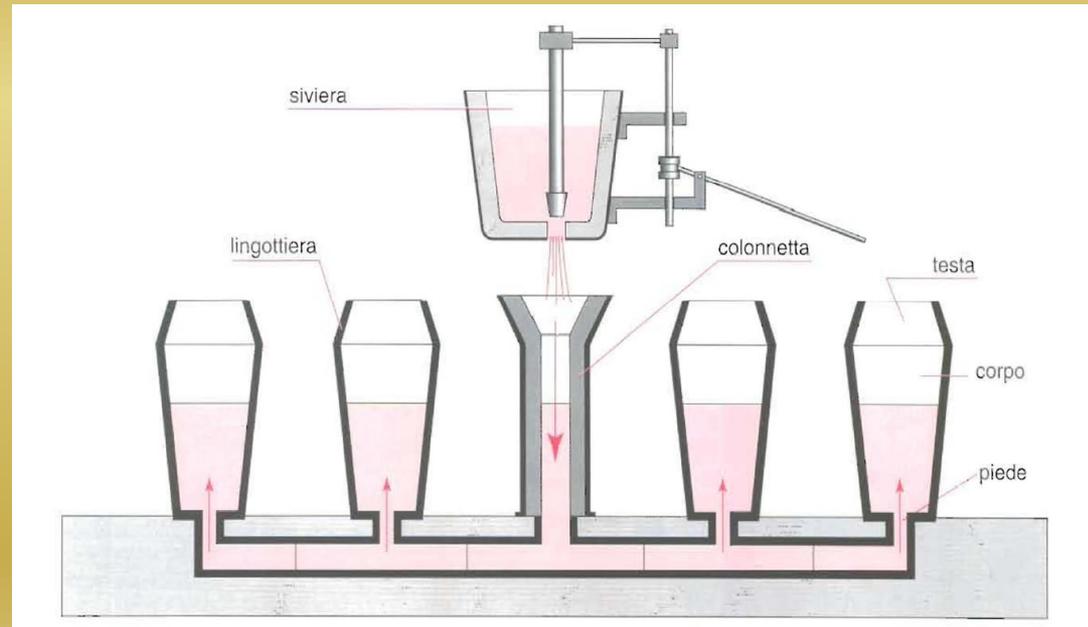
Tipos de lingotamento convencional

LINGOTAMENTO DIRETO



Fonte: <http://digidownload.libero.it/francesco.palermo/colata%20dell%27acciaio.pdf>

LINGOTAMENTO INDIRETO



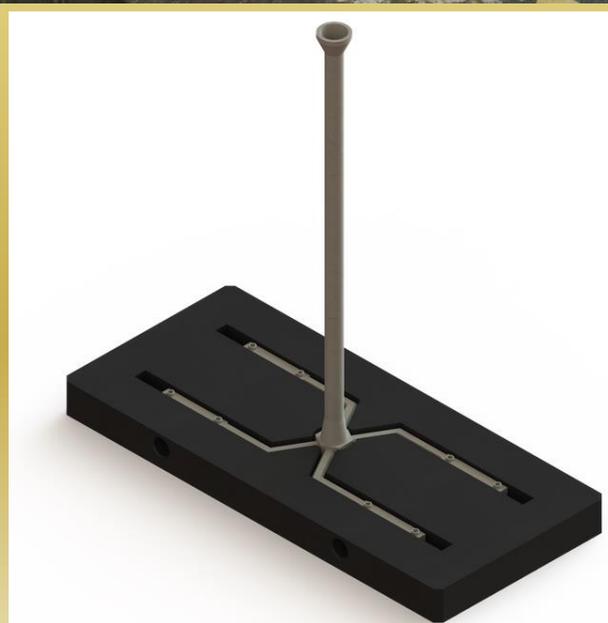
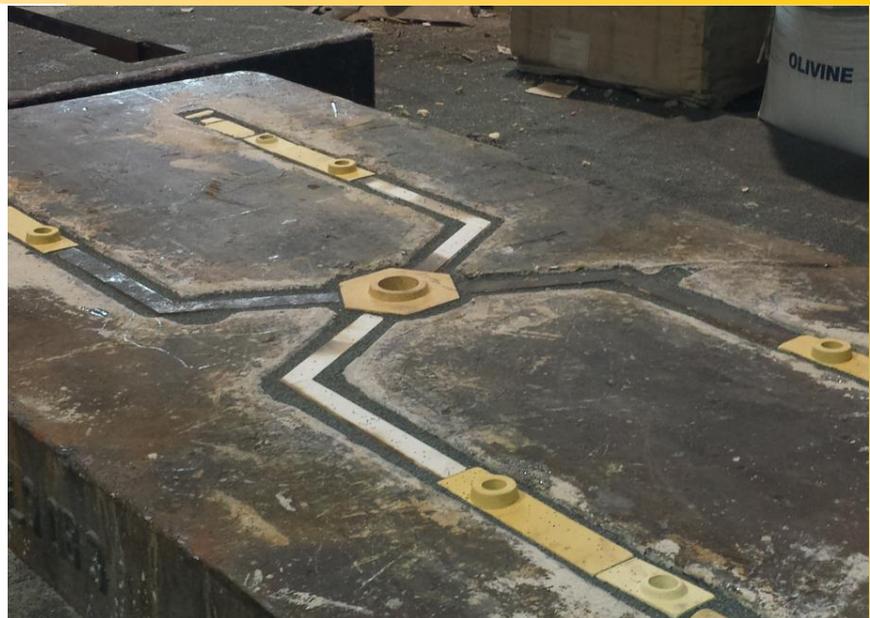
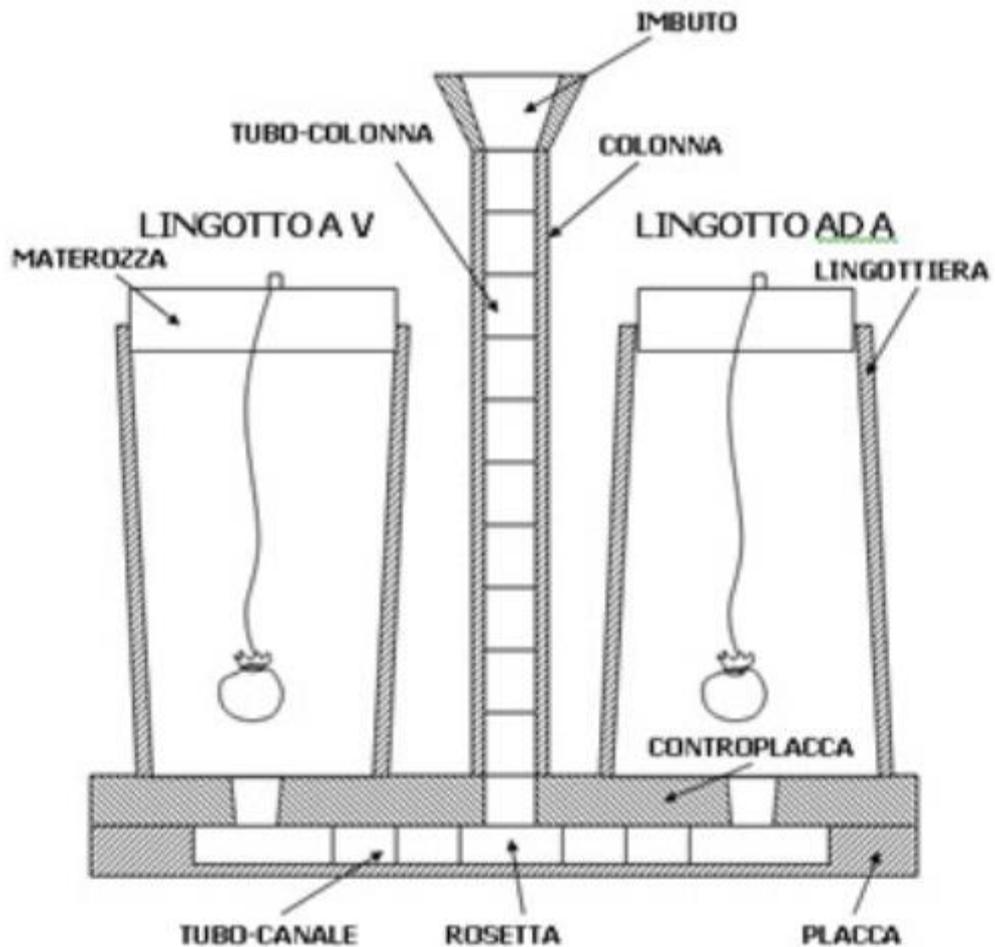
Fonte: <http://www.aluinfo.com.br/novo/materiais/fundicao-por-gravidade>

Etapas do Processo de Lingotamento Convencional Indireto

- Preparação da lingoteira
- Fusão e Vazamento (preparação metalúrgica)
- Desmoldagem
- Eventual Tratamento Térmico
- Controle de Qualidade
- Expedição (*lingotes para forjamento)

Preparação da Lingoteira

- Pré-aquecimento
- Montagem dos canais de alimentação.
- Colocação dos contra-pesos na base.
- Colocação do pó refratário no canal de ataque.
- Colocação das lingoteiras e colunas.
- Colocação dos massalotes.
- Após vazamento pó de cobertura



Vazamento



Fonte: Autor



Fonte: Autor

Tempo de vazamento

$$T = 3,2 \cdot \sqrt{G}$$

G: peso em Kg

Velocidade de vazamento

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$h = \frac{(\sqrt{h_i} + \sqrt{h_f})^2}{4}$$

Desmoldagem



Fonte: Autor

Tempo de solidificação : Regra de Chvorinov:

$$t = B \left(\frac{V}{A} \right)^n$$

$$n = 2$$

$$B = \left[\frac{\rho_m L}{(T_m - T_o)} \right]^2 \left[\frac{\pi}{4k\rho c} \right] \left[1 + \left(\frac{c_m \Delta T_s}{L} \right)^2 \right]$$

Where

T_m = melting or freezing temperature of the liquid (in Kelvin)

T_o = initial temperature of the mold (in Kelvin)

$\Delta T_s = T_{pour} - T_m$ = superheat (in Kelvin)

L = latent heat of fusion (in $[J \cdot kg^{-1}]$)

k = thermal conductivity of the mold (in $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$)

ρ = density of the mold (in $[kg \cdot m^{-3}]$)

c = specific heat of the mold (in $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$)

ρ_m = density of the metal (in $[kg \cdot m^{-3}]$)

c_m = specific heat of the metal (in $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$)

$$B = s/m^2$$

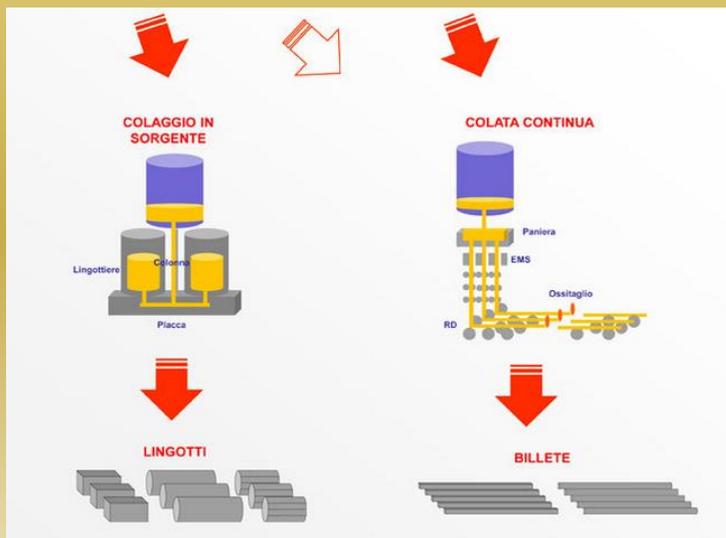
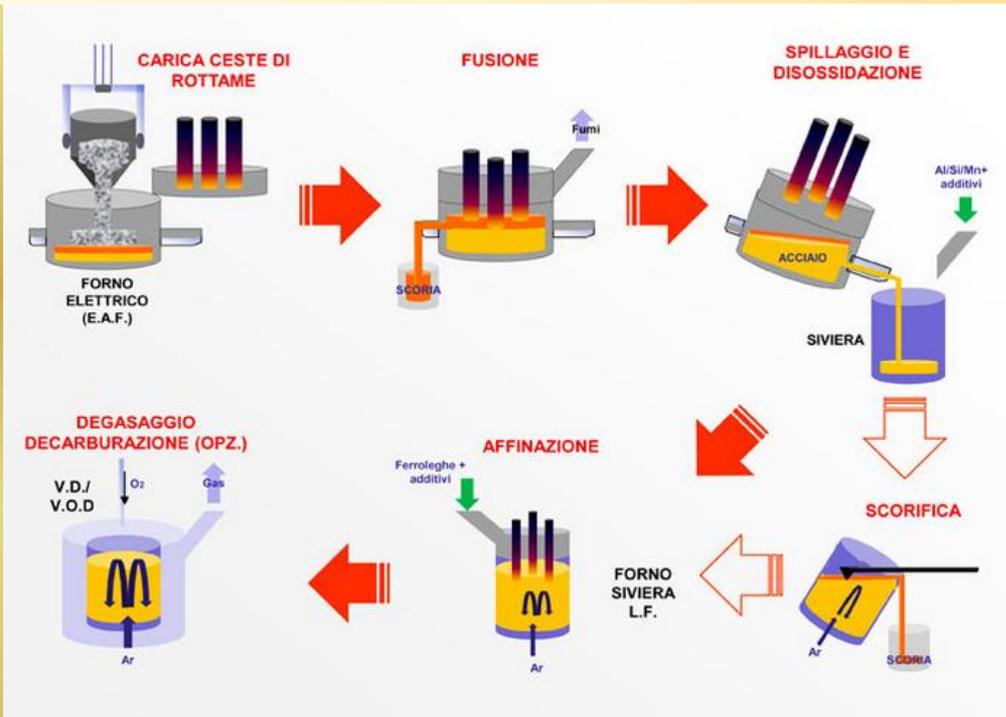


Fonte: Autor

Etapas da Fusão e Refino (Preparação Metalúrgica)

- Forno Elétrico a Arco
- Forno Panela
- Tratamentos sob vácuo
- Refusão (super clean)

Fluxograma da Preparação Metalúrgica (Fusão e Refino)



Forno de Fusão (blast furnace)



Forno Elettrico a Arco (EAF) a Corrente Continua

Capacidade: 80 ton

Potência: 21MW

3 queimadores+2 injetores de carbono +1 injetor de cal (CaO)

Temperatura: 1700°C

Eletrodo de grafite

Responsável pela fusão da carga metálica (sucata), seguido de tratamento do metal líquido e remoção de elementos indesejáveis (P).

HEIGHT • TECH

Operações no Forno Elétrico

- Seleção da Sucata

Elementos que podem ser oxidados: Ca, Al, Zr, Ti, Si, B e V (precipitam na escória).

Elementos que podem ser reduzidos: Cr, Mn, C e P

Elementos que não alteram: Cu, Ni, Sn, Co, W e Mo

- Tratamento da Escória (eliminar S e P) – escória espumosa

Adição de C, alto teor de CaO, baixo teor de SiO₂ e Alumina, adição de MgO, baixo teor de FeO no banho.

Operações no Forno Elétrico

- **Descarburação** (lança supersônica de Oxigênio)

Formação de gás CO_2

- Desfosforação

Alto teor de FeO , presença de CaO , baixo teor de Mn no banho e baixo teor de sílica e alumina na escória

- Adição de Silício, Mn e Carbono

Refino (Refining)



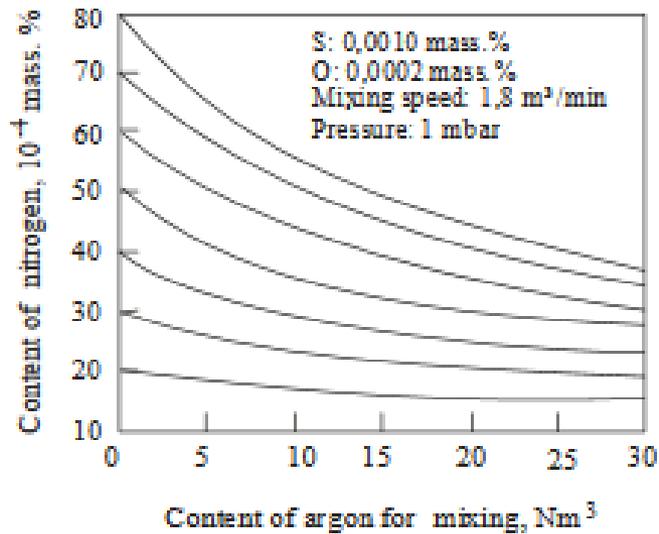
Onde é possível controlar a temperatura do metal líquido e, mediante injeção de gás inerte, propiciar a homogeneização térmica do metal e de todas as ligas de ferro adicionadas para formular o aço desejado na saída do Forno Elétrico. Ao mesmo tempo ocorre o refino secundário, momento em que acontece a desoxidação e a dessulfuração.

Refino em Forno Panela (secundário)

- Limpeza
- Adição de ferro-ligas e de Alumínio
- Homogeneização de temperatura e composição:
 - ✓ Agitador eletromagnético
 - ✓ Argônio (vácuo)
- Desoxidação
- Dessulfuração

Tratamento a Vácuo

- Retirada de gás (N e H)



Remoção de Nitrogênio

Lingotamento (flow source)



Lingotes Refusos

- As aplicações tecnológicas mais avançadas requerem produtos com excelente qualidade. Aços clean e superclean refusos com eletroescória (ESR), possuem baixos teores de inclusões, segregações e melhor rendimento metalúrgico.
- Solidificação direcional e isotropia das propriedades.



ESR (Refusão por Escória Eletrocondutora)

Voltado aos produtos de alta solicitação - em termos de propriedades mecânicas e isotropia -, garantindo baixo nível de inclusões não metálicas. Como resultado, gera lingotes com níveis reduzidos de segregação, assim como excelente microestrutura bruta de solidificação.

Não é um processo de produção, mas de refino e limpeza.

“ Fundição não é uma arte !

É um campo do conhecimento tecnológico, bastante complexo e com um grande numero de variáveis.

Mas exige do fundidor, o saber e a sensibilidade de um artista ! “

(Sergio Mazzer Rossitti)

Valores:

Segurança em primeiro lugar

Fazemos um mundo melhor

Valorizamos as pessoas

Garantimos bons resultados sempre

Somos criativos e inovadores

Amamos o que fazemos

Fazemos o que é certo

Obrigada!