

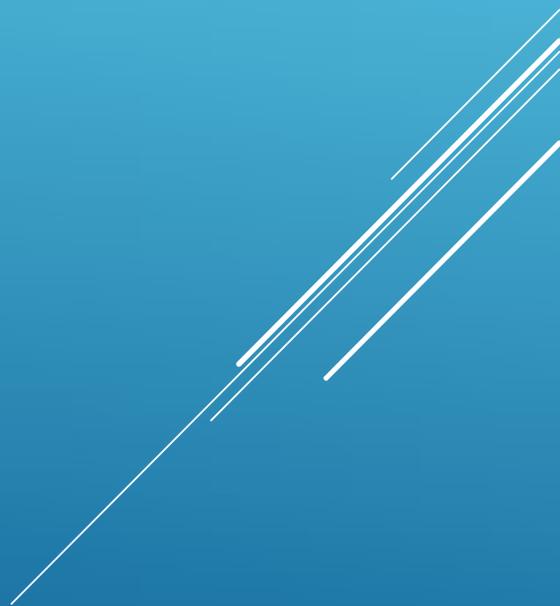
Materiais Metálicos

Lauralice de C. F. Canale

Depto de Eng Materiais

EESC-USP

Aula T1

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted diagonally from the bottom right towards the top right, set against a blue gradient background.

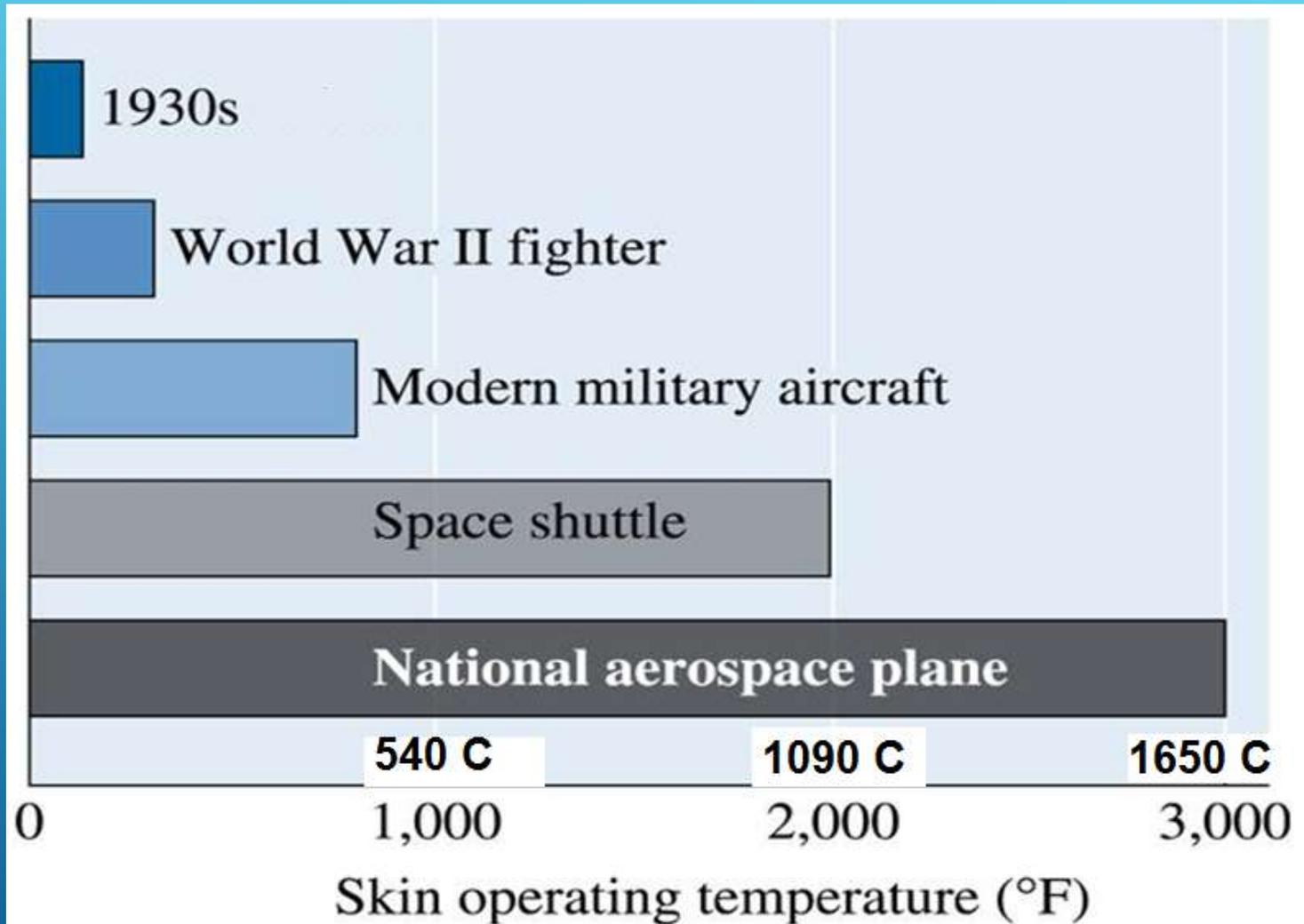
Os materiais estão praticamente envolvidos em todas as atividades humanas.

São recursos essenciais para a sociedade, que os utiliza em todos os setores: transporte, construção civil, energia, produção de alimentos, vestiário, etc

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted diagonally from the top right towards the bottom left, located in the lower right quadrant of the slide.

A criação de novas tecnologias ou ainda o melhoramento no desenvolvimento de produtos e processos está intimamente relacionada ao surgimento de novos materiais.

O surgimento do automóvel não seria possível se na época o aço não estivesse disponível a baixo custo e com propriedades adequadas a sua aplicação.



Busca-se sempre a produção de materiais mais eficientes , seguros, de menor custo e que preservem o meio ambiente, seja na sua produção, seja na sua utilização.

Redução de peso dos veículos com a utilização de ligas de Al nos motores em substituição aos fofos.

Decorative white lines consisting of several parallel diagonal strokes on the right side of the slide.



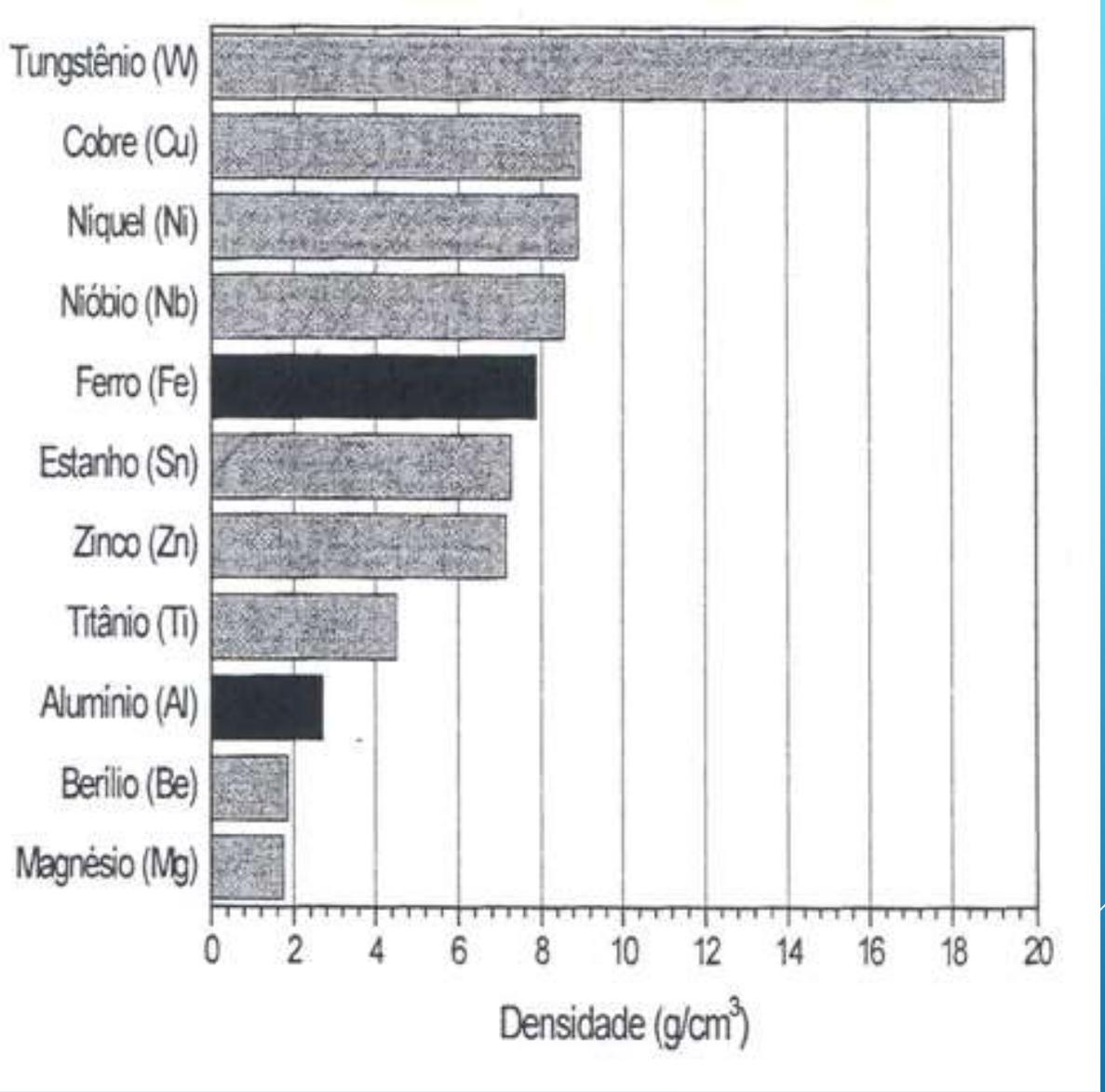
PESO



CONSUMO



EMISSÃO
DE
POLUENTES



Materiais metálicos são geralmente constituídos por elementos químicos metálicos.

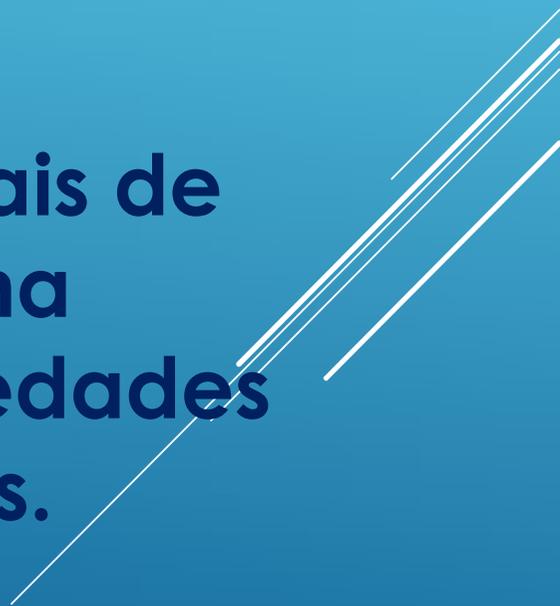
Nesses materiais existem elétrons de grande mobilidade por causa da ligação metálica entre os átomos, o que lhes confere algumas propriedades típicas:

alta condutividade térmica e elétrica.

CORROSÃO

Os materiais metálicos podem ser classificados em metais puros e ligas metálicas.

Existem aproximadamente 80 elementos metálicos puros e mais de 40.000 ligas metálicas, cada uma apresentando diferentes propriedades e naturalmente diferentes custos.

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted diagonally from the bottom right towards the top right, set against the blue background.

Aços C

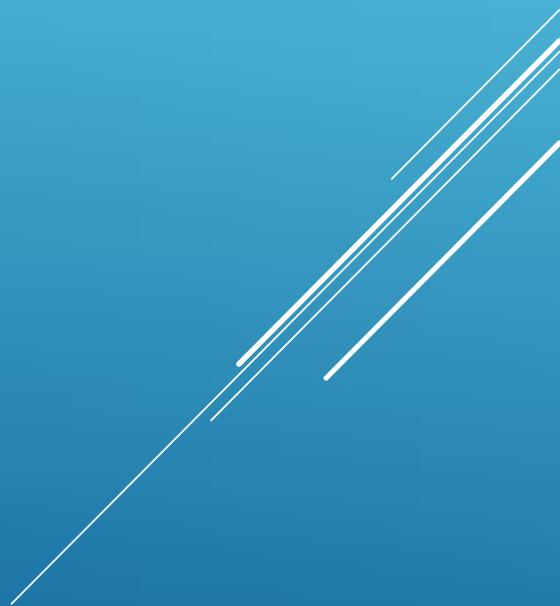
Vergalhões para
construção civil

Propriedades
mecânicas elevadas
conseguidas com
baixo custo

Aços Inoxidáveis

Utensílios de cozinha

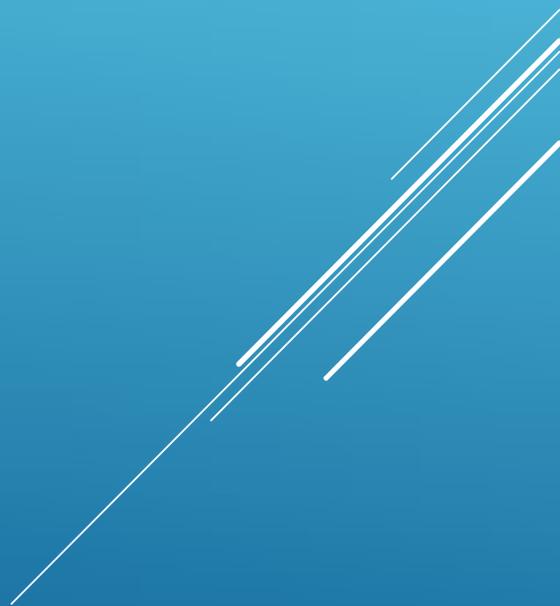
Resistência à
corrosão

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted diagonally from the bottom right towards the top right, set against the blue background.

Ferros fundidos

Base de máquinas

**Amortecimento das
vibrações**

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted diagonally from the bottom right towards the top right, set against a blue gradient background.

Ligas de Alumínio

Pistões automotivos

**Baixa densidade e
facilidade de fabricação**

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted diagonally from the bottom right towards the top right, set against a blue gradient background.

Cobre

Fios elétricos

Alta condutividade elétrica

A decorative graphic consisting of several thin, parallel white lines that originate from the right edge of the slide and extend diagonally towards the bottom-left corner, partially overlapping the text 'Alta condutividade elétrica'.

Superligas de Ni

Palhetas de turbina

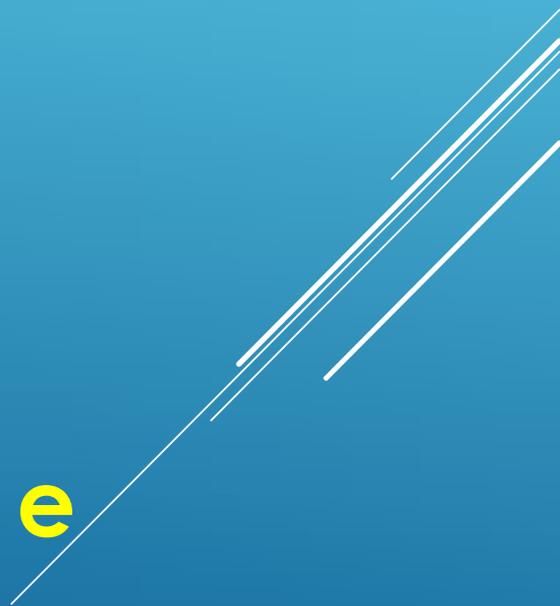
Propriedade mecânicas
elevadas a alta
temperatura

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted diagonally from the bottom right towards the top right, set against a blue gradient background.

Ligas de Ti

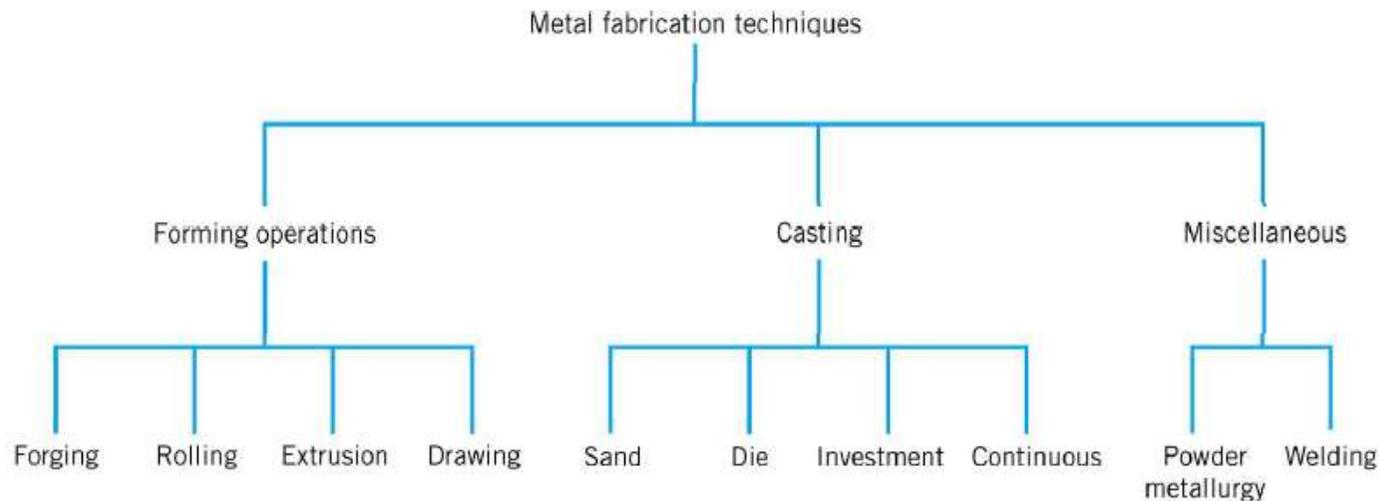
Implantes ósseos

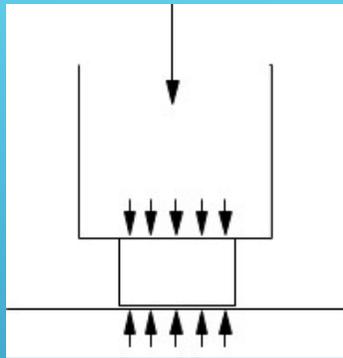
**Biocompatibilidade,
resistência à corrosão e
baixa densidade**

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted diagonally from the bottom right towards the top right, set against the blue background.

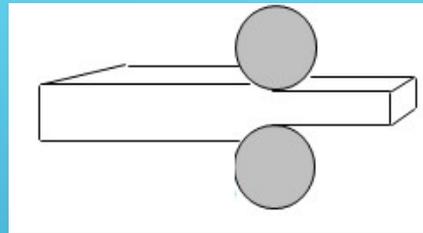
Fabrication of Metals

- Fabrication methods chosen depend on:
 - properties of metal
 - size and shape of final piece
 - cost

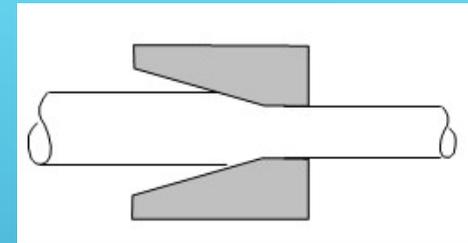




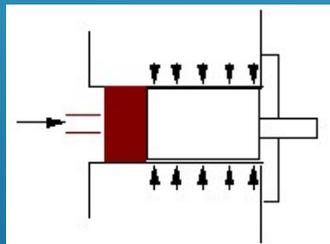
Forjamento



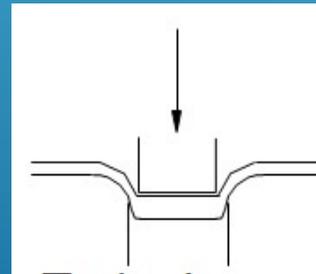
Laminação



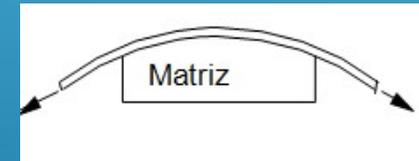
Trefilação



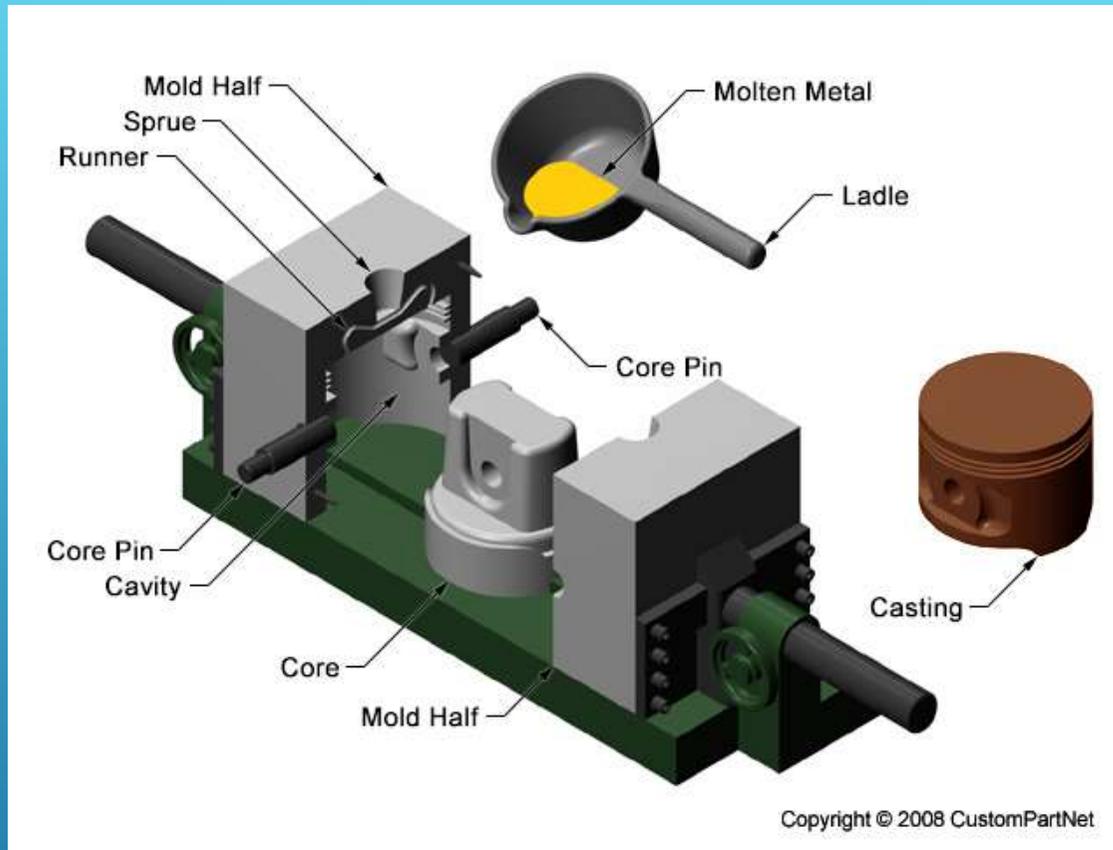
Extrusão



Embutimento Profundo



Estiramento

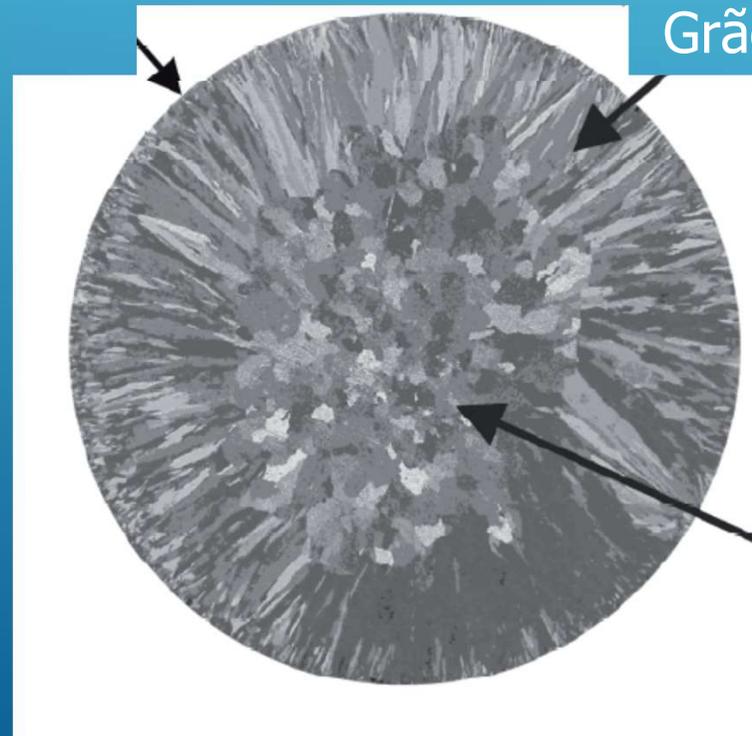


EXEMPLO DE PROCESSO DE FUNDIÇÃO

EXEMPLO DE MICROESTRUTURA

Grãos equiaxiais refinados

Grãos Colunares



Grão Equiaxiais

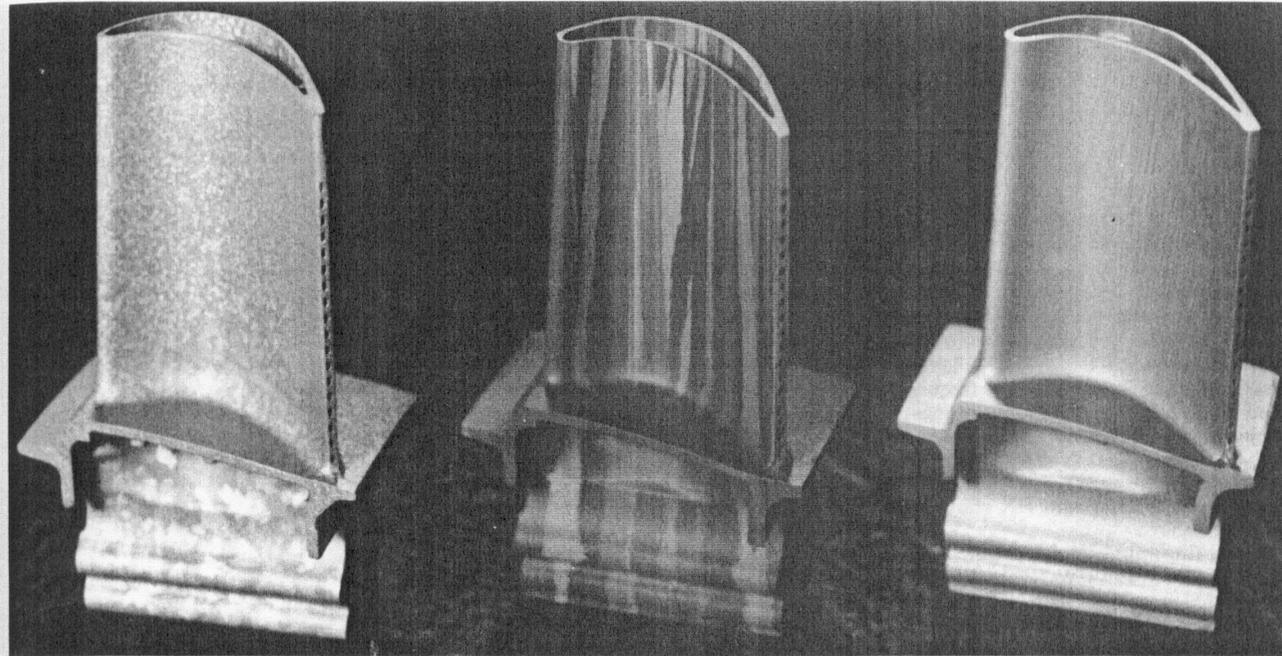


Fig. 1 Comparison of equiaxed (left), directionally solidified (center), and single-crystal (right) nickel-base alloy turbine blades for an aircraft engine. Courtesy of Howmet Corporation, Whitehall Casting Division

EXEMPLO DE MACROESTRUTURAS

Policristalino

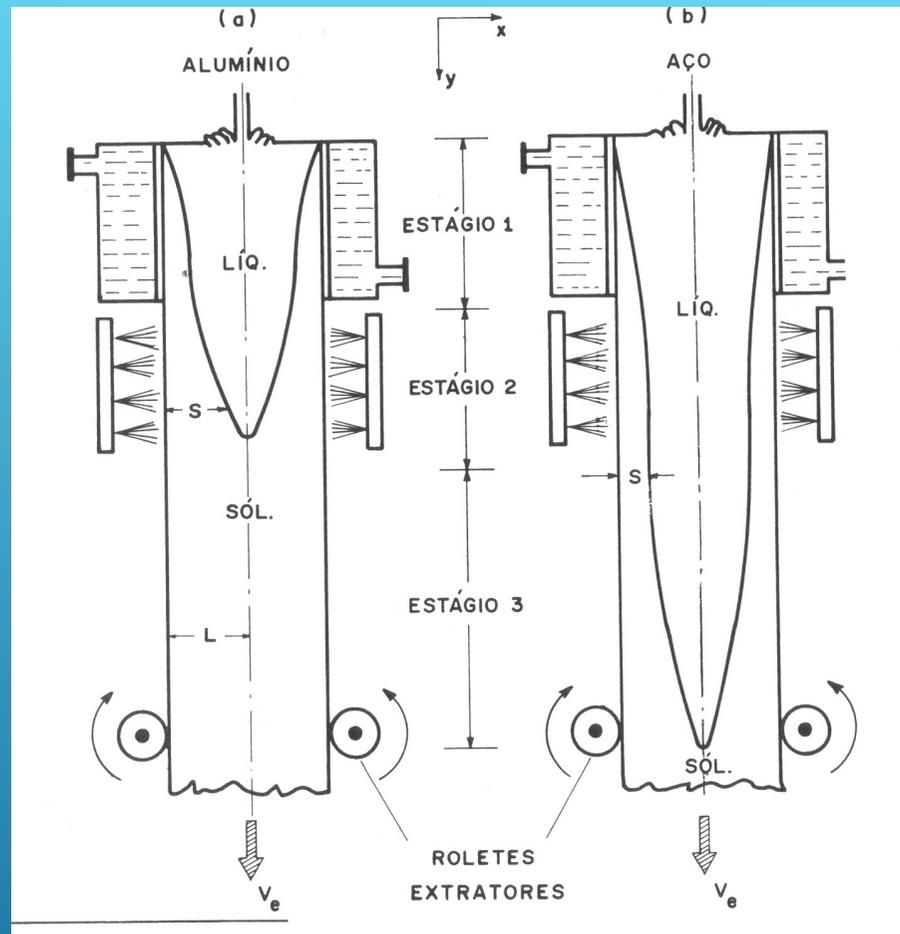
Grãos colunares

Monocristal

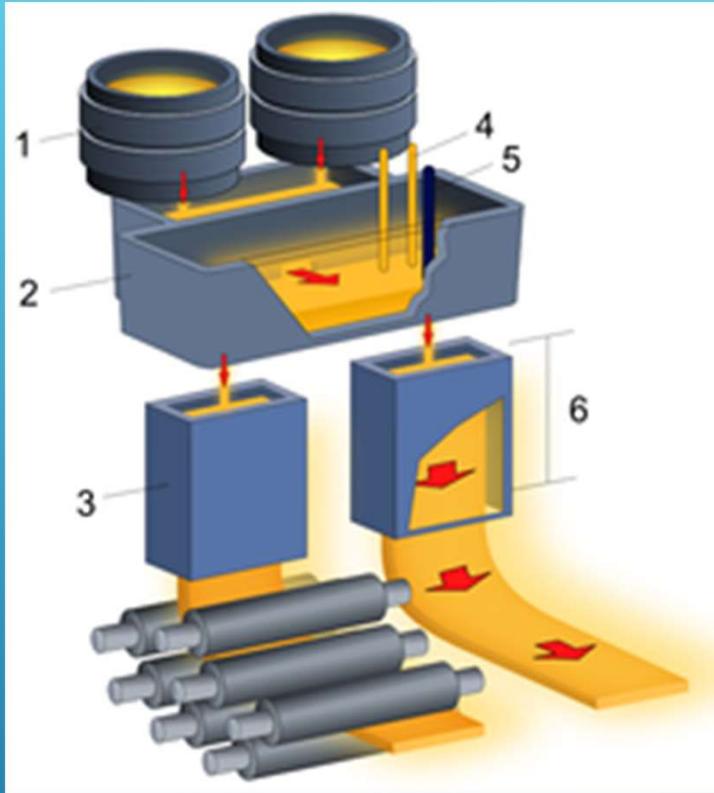


EXEMPLO DE PRODUTO FUNDIDO

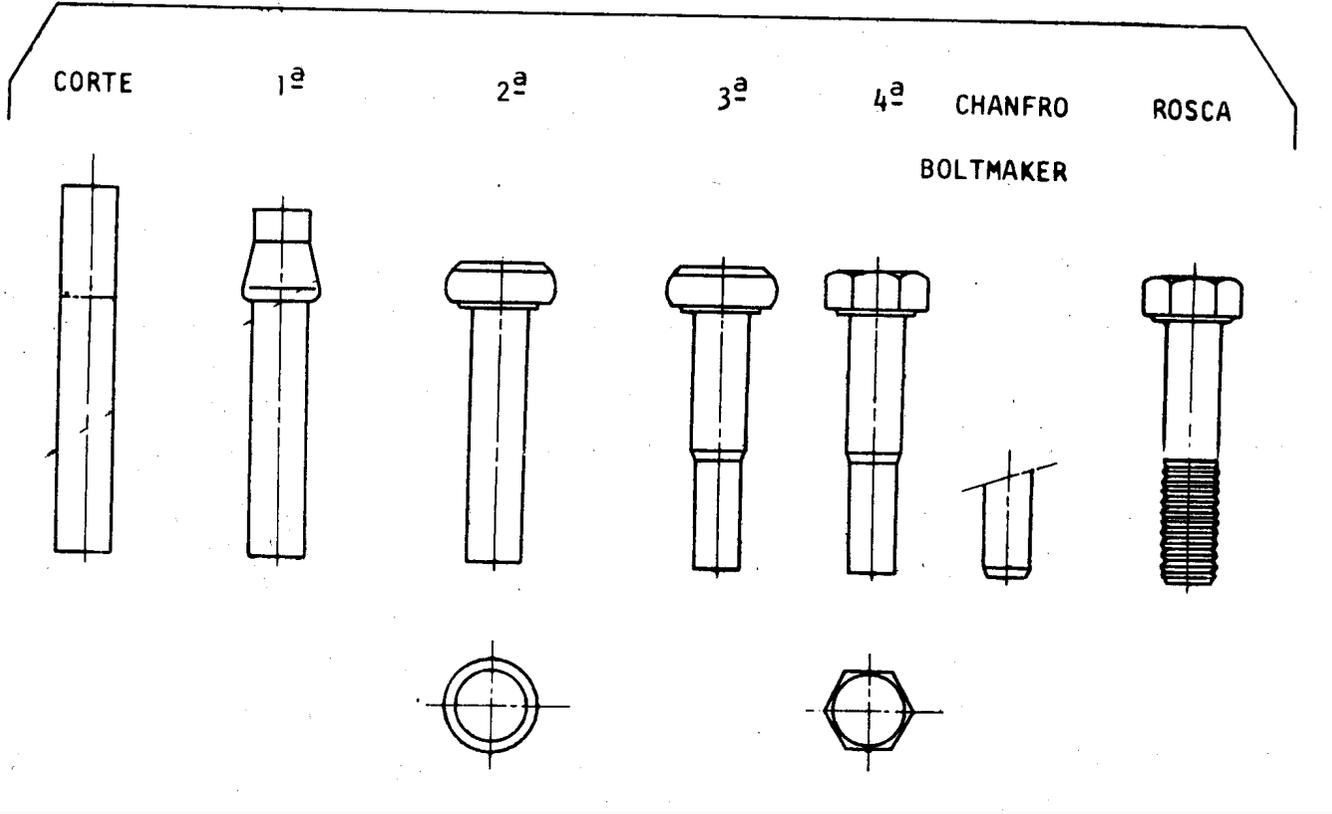
Fonte: Itaipu



LINGOTAMENTO CONTÍNUO



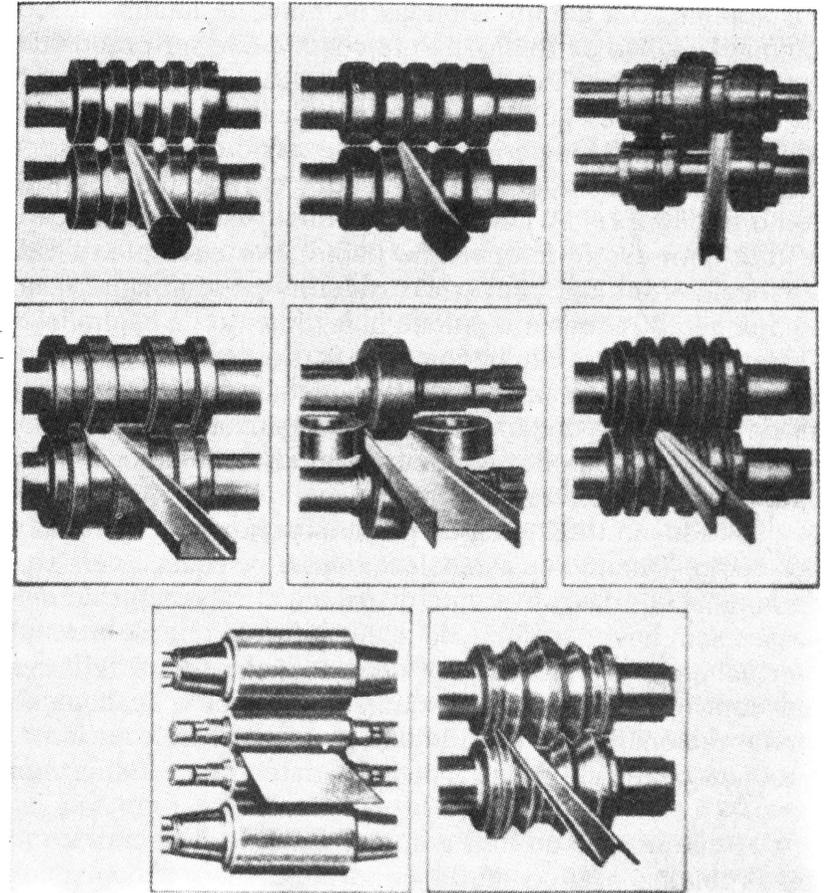
ESTAMPAGEM A FRIO - PRENSA 4 ESTÁGIOS + CHANFRO + ROSCA

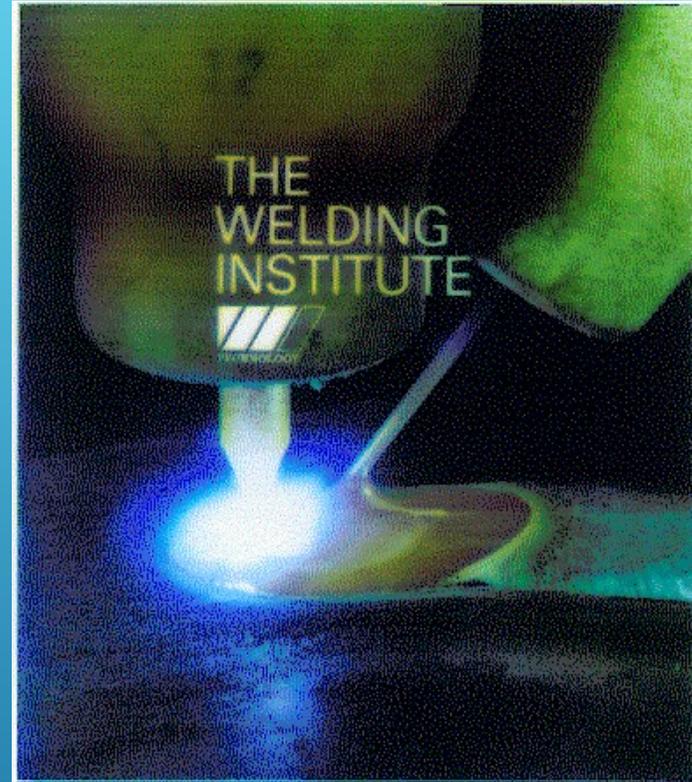
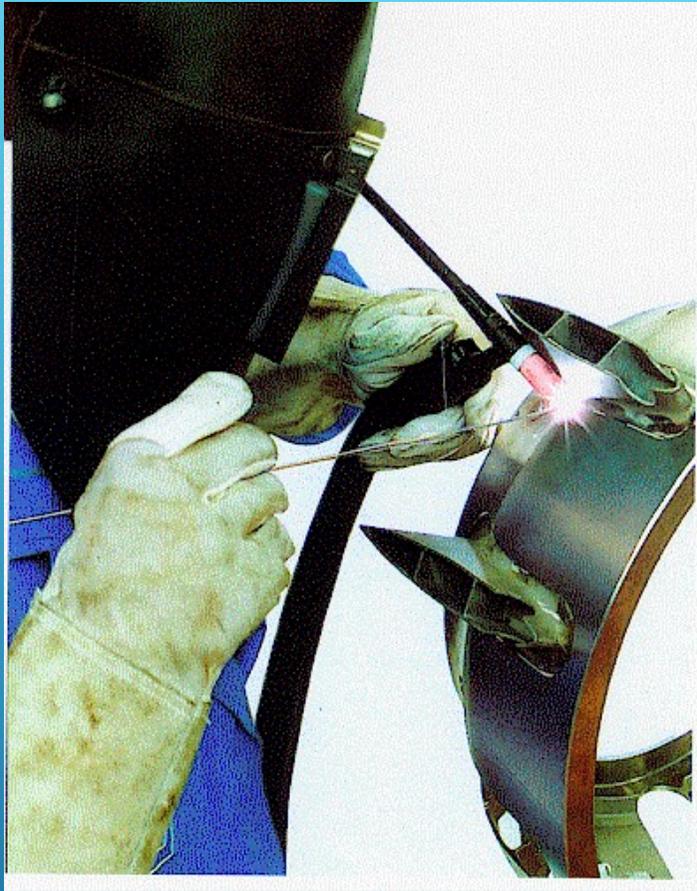


EXEMPLO DE CONFORMAÇÃO PLÁSTICA

EXEMPLO DE CONFORMAÇÃO PLÁSTICA

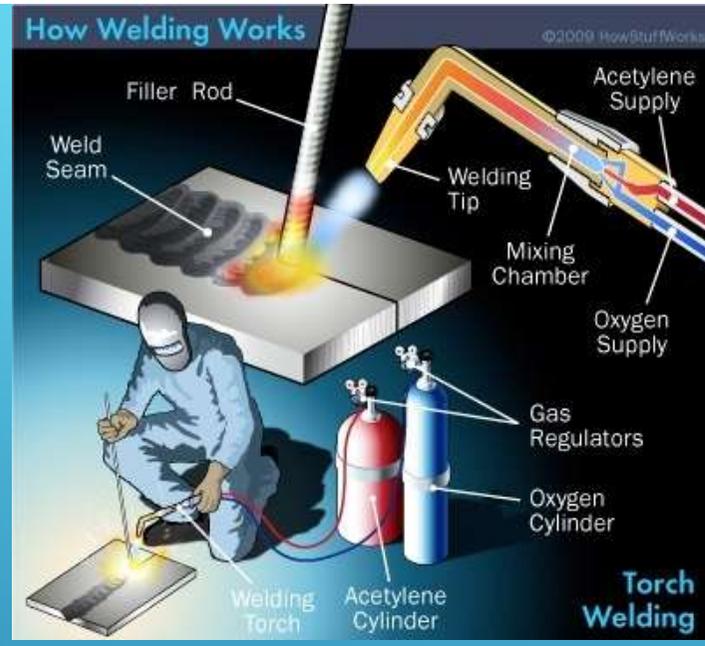
Fig. 17.4 Laminação de barras e perfis estruturais. (American Iron e Steel Institute.)

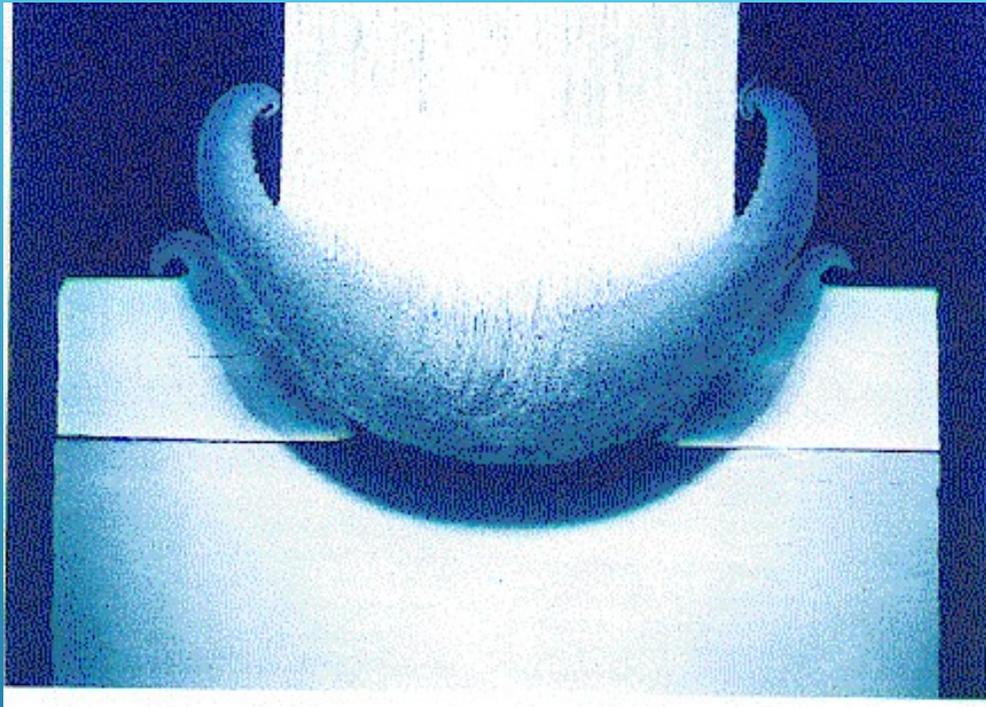




Soldagem por fusão

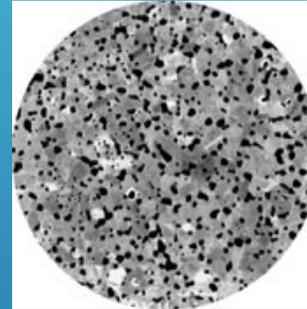
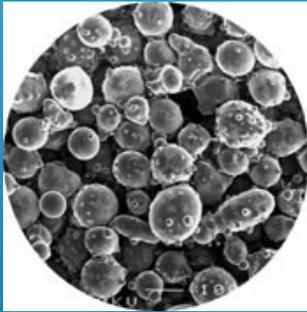
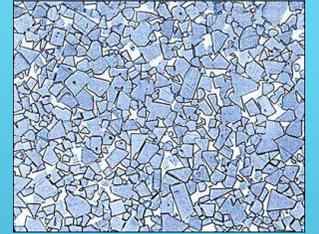
EXEMPLO DE SOLDAGEM



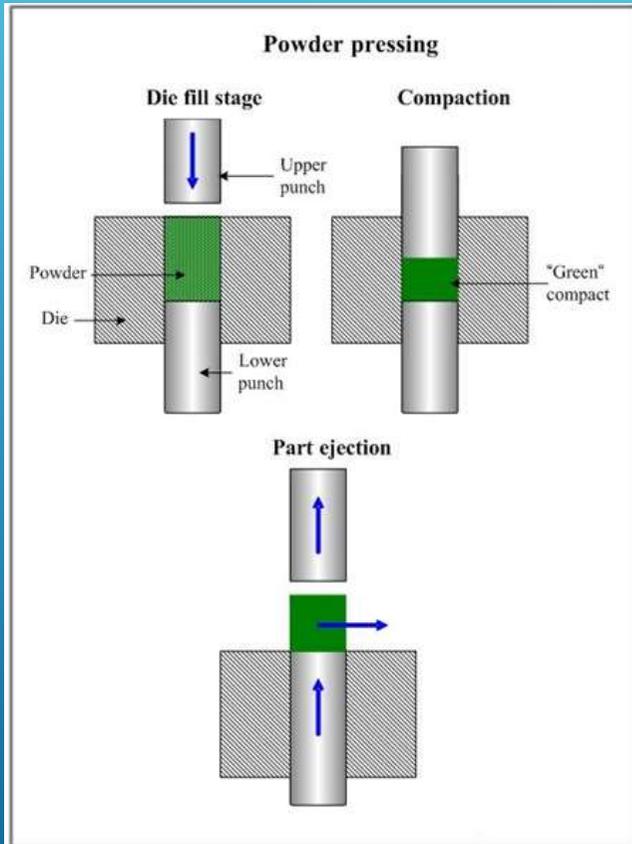


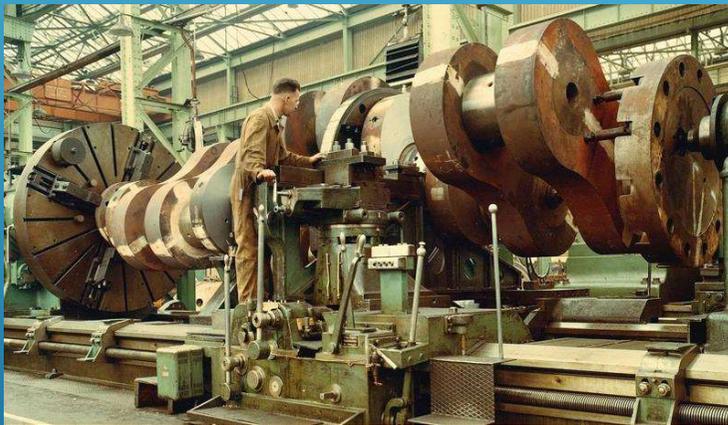
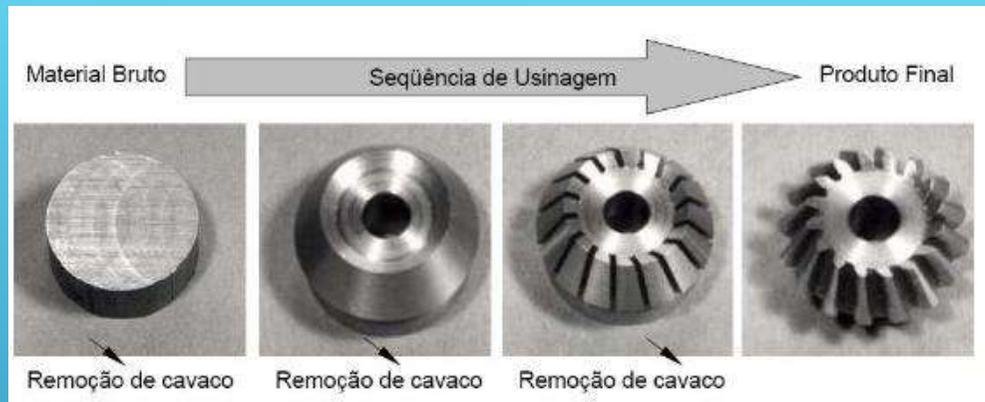
Soldagem no estado sólido (por fricção)

EXEMPLO DE SOLDAGEM

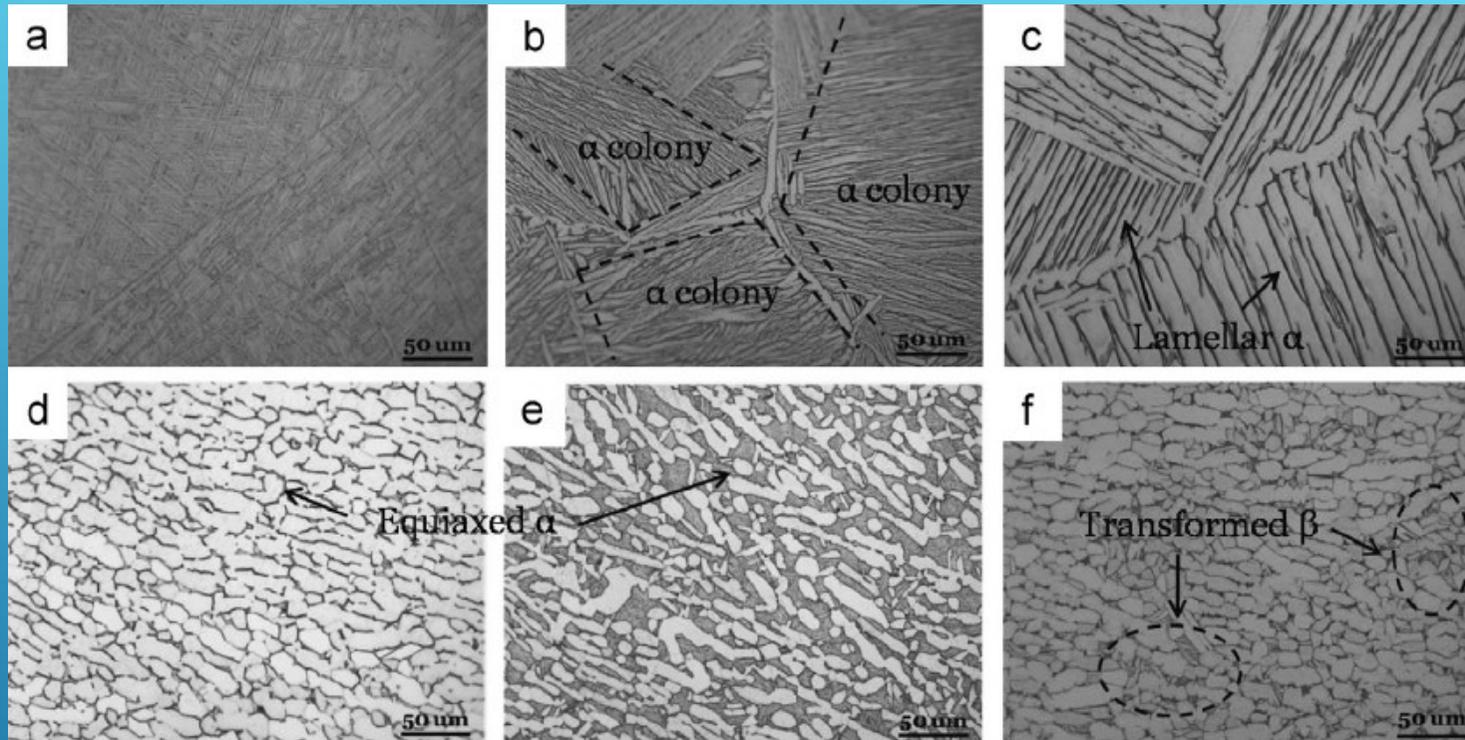


EXEMPLOS DE METALURGIA DO PÓ



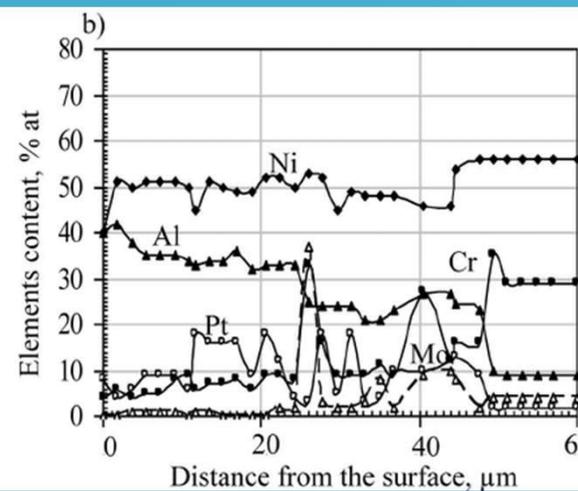
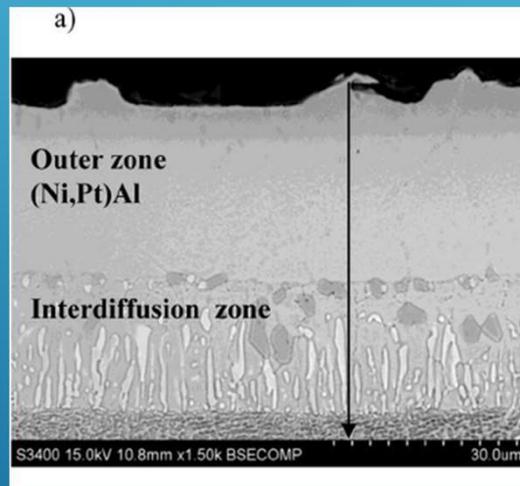
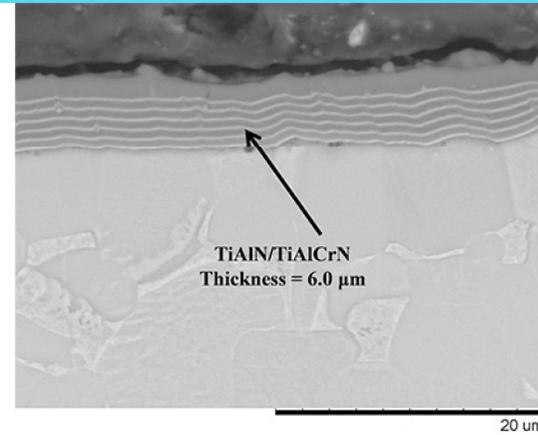
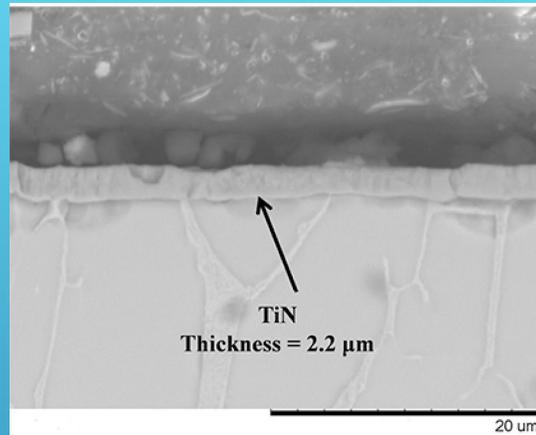


EXEMPLOS DE USINAGEM



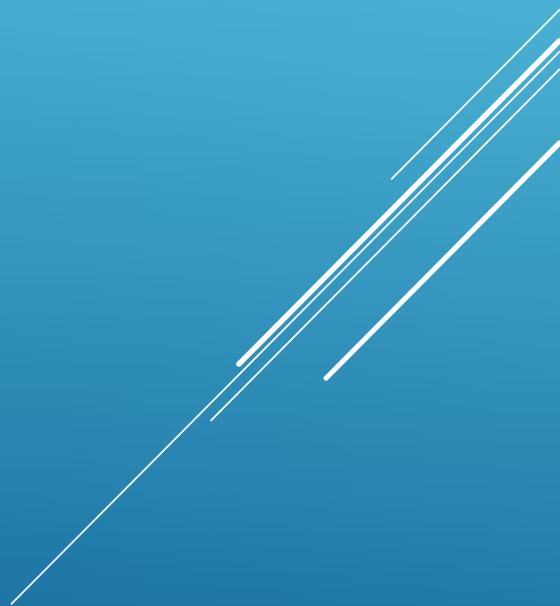
EXEMPLO DE TRATAMENTO TÉRMICO

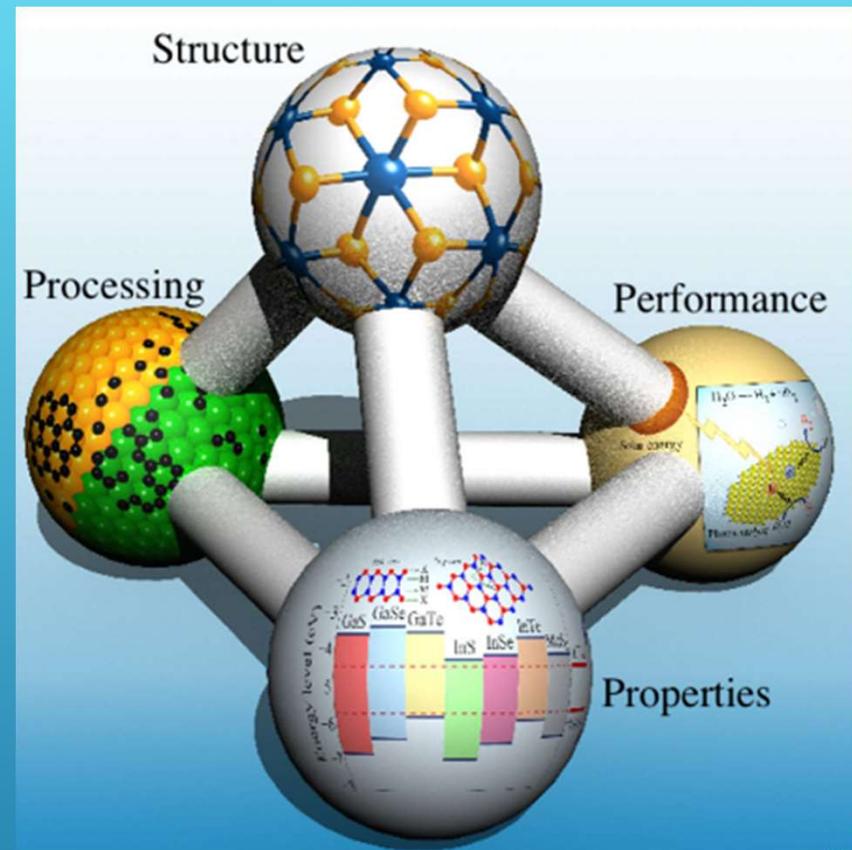
Ti-6Al-4V depois de diferentes tratamentos térmicos



EXEMPLOS DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Nos materiais metálicos existe uma complexa relação entre estrutura, propriedades e processamento.





MICROESTRUTURA X
PROCESSAMENTO X PROPRIEDADES X
DESEMPENHO

Quando o engenheiro de materiais muda qualquer um desses aspectos, 1 ou ambos os outros também se modificam.

A estrutura pode ser modificada por mudanças na composição química ou no processamento gerando propriedades diferentes.

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted diagonally from the bottom right towards the top right, set against a blue background.

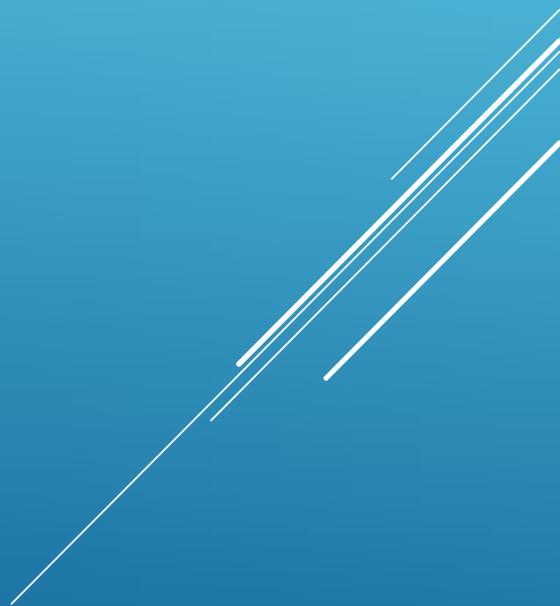
Propriedades são avaliadas por ensaios mecânicos (dureza, tração, fadiga, desgaste).

Processamento é o conjunto de processos utilizados na fabricação dos componentes.

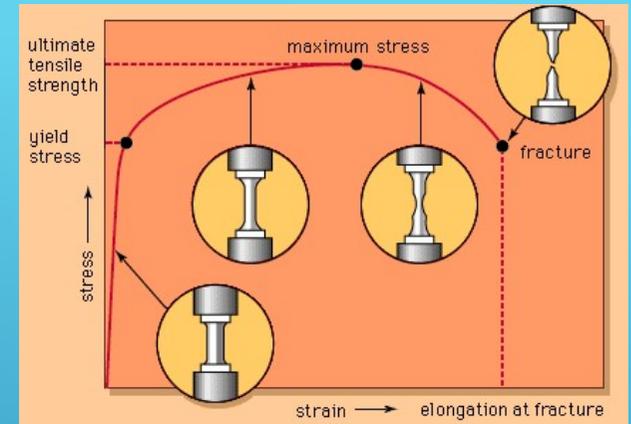
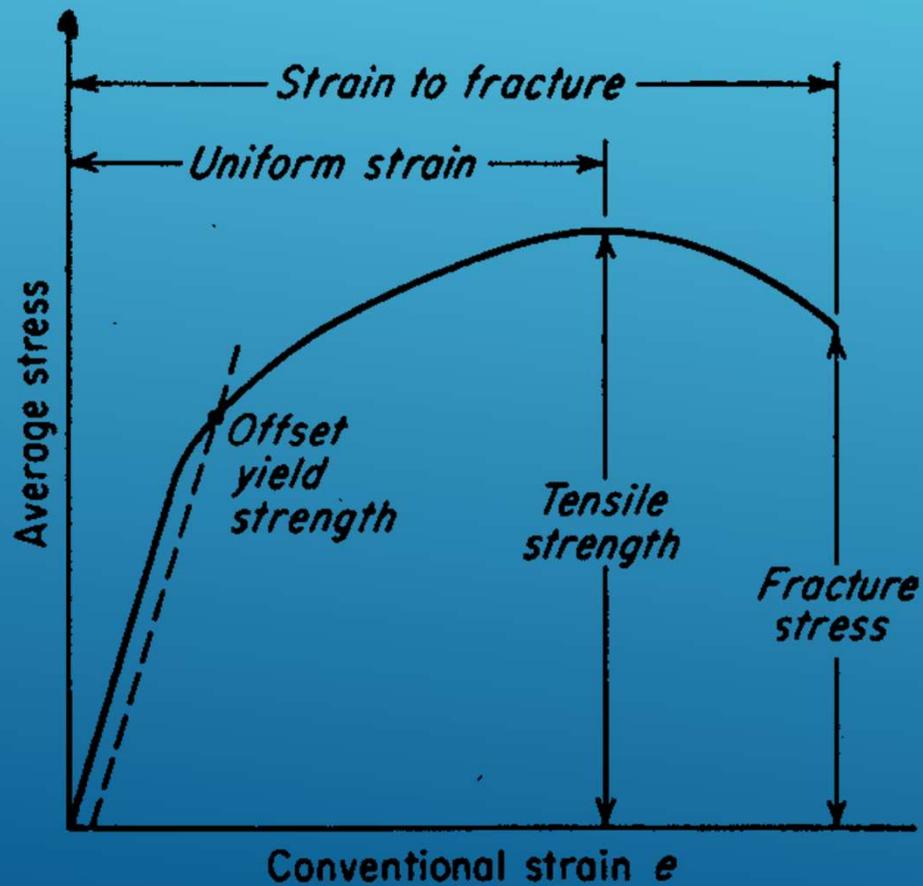
Processos: fundição, forjamento, soldagem, usinagem, tratamentos térmicos, etc

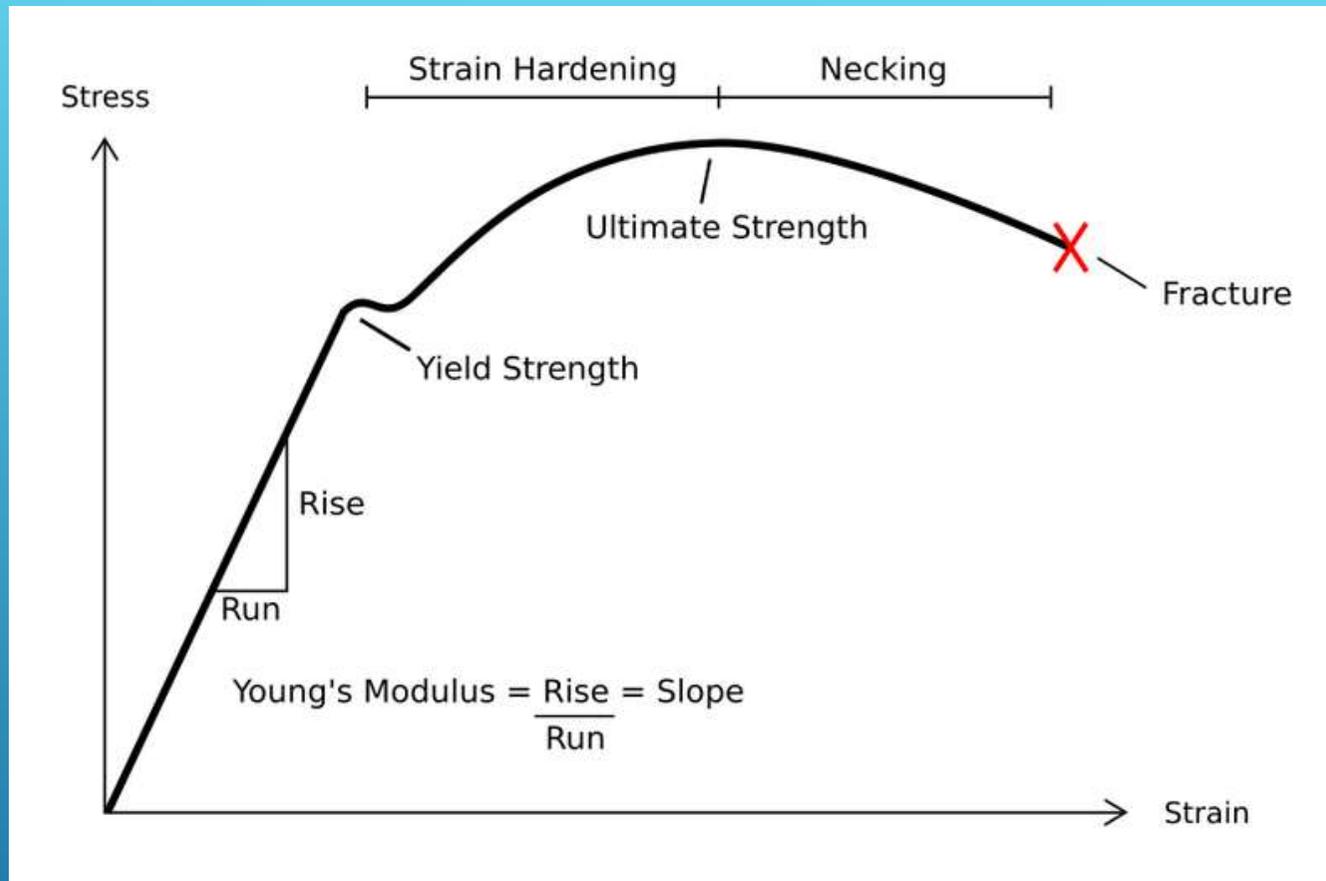
- ▶ Curva tensão x deformação?
 - ▶ Tensão? Deformação?
- ▶ Plasticidade? Ductilidade?
- ▶ Dureza?
- ▶ Tenacidade?
- ▶ Fadiga?
- ▶ Fluência?

PROPRIEDADES MECÂNICAS TÍPICAS



TENSÃO X DEFORMAÇÃO (CURVA TÍPICA)





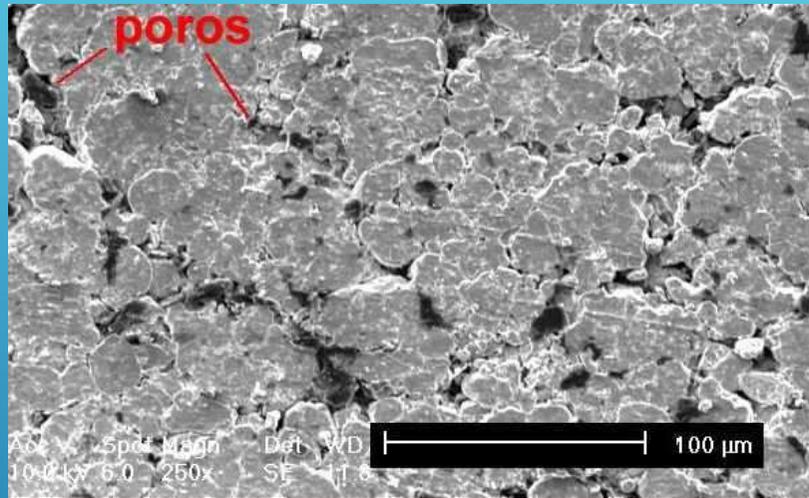
TENSÃO X DEFORMAÇÃO (AÇO COMUM)

DEFEITOS VOLUMÉTRICOS OU DE MASSA

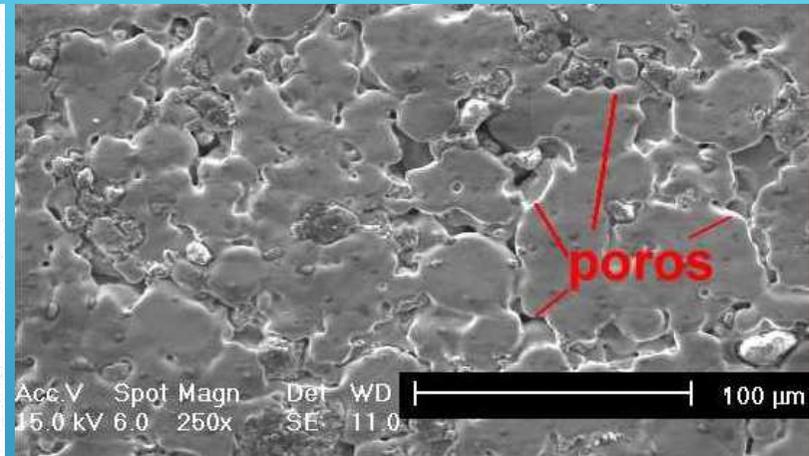
- ▶ **Inclusões** Impurezas estranhas
- ▶ **Precipitados** São aglomerados de partículas cuja composição difere da matriz

- ▶ **Fases** Forma-se devido à presença de impurezas ou elementos de liga (ocorre quando o limite de solubilidade é ultrapassado)
 - ▶ **Porosidade** Origina-se devido a presença ou formação de gases
- 

Porosidade



COMPACTADO DE PÓ DE FERRO, COMPACTAÇÃO UNIAXIAL EM MATRIZ DE DUPLO EFEITO, A 550 MPa



COMPACTADO DE PÓ DE FERRO APÓS SINTERIZAÇÃO A 1150°C, POR 120min EM ATMOSFERA DE HIDROGÊNIO

NUCLEAÇÃO

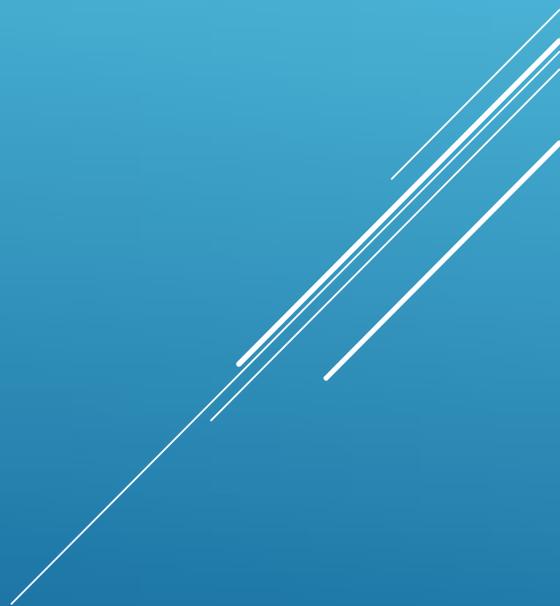
Nucleação – O processo físico em que uma nova fase é produzida no material.

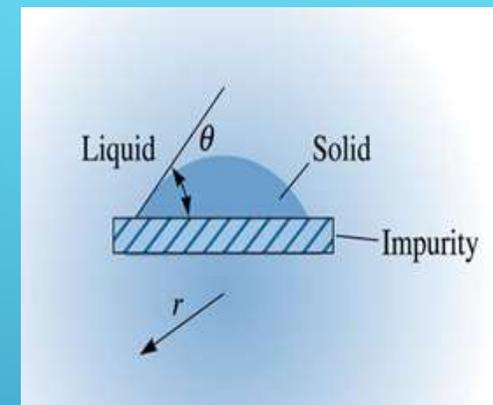
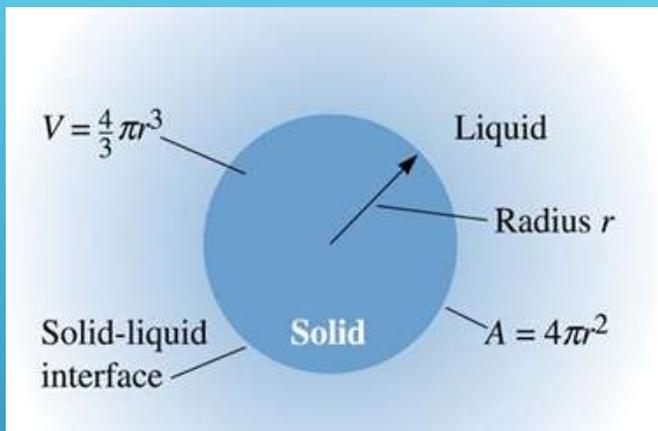
Nucleação homogênea- Formação de sólidos de tamanho crítico a partir de um líquido pela junção de um grande número de átomos que se resfriaram sem estar na interface externa.

Nucleação heterogênea- Formação de um sólido de tamanho crítico a partir do líquido na superfície de uma impureza.

- ▶ A fusão ocorre quando a energia de vibração dos átomos por conta do aumento da temperatura supera a energia envolvida na ligação química entre os átomos.
- ▶ No estado líquido não há ordem a longa distância (não há sistema cristalino) e as ligações entre os átomos é fraca do tipo Van der Waals

EM TERMOS DE METALURGIA FÍSICA

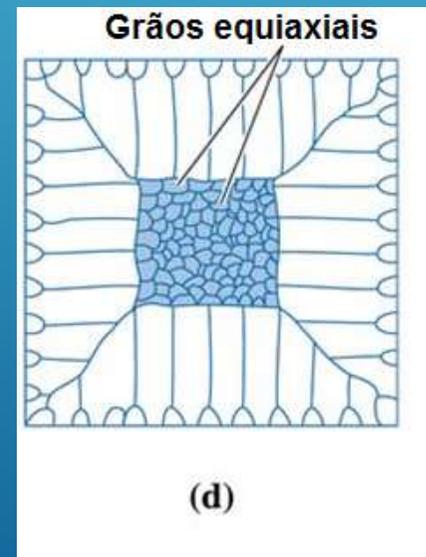
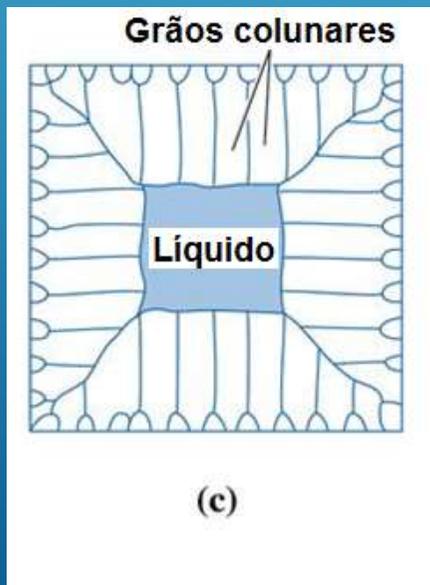
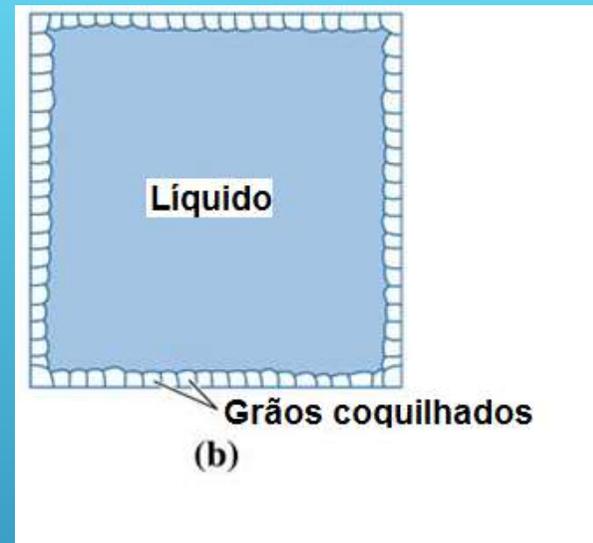
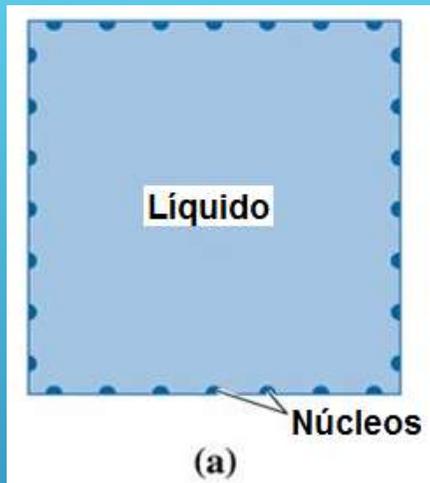




Algumas vezes são introduzidas intencionalmente, no líquido, partículas de impurezas. Tais partículas são chamadas de inoculantes ou refinadoras de grão. Essas partículas produzem um grande número de núcleos para formação dos grãos. Grande número de núcleos, menos espaço para crescer, menor tamanho de grãos.

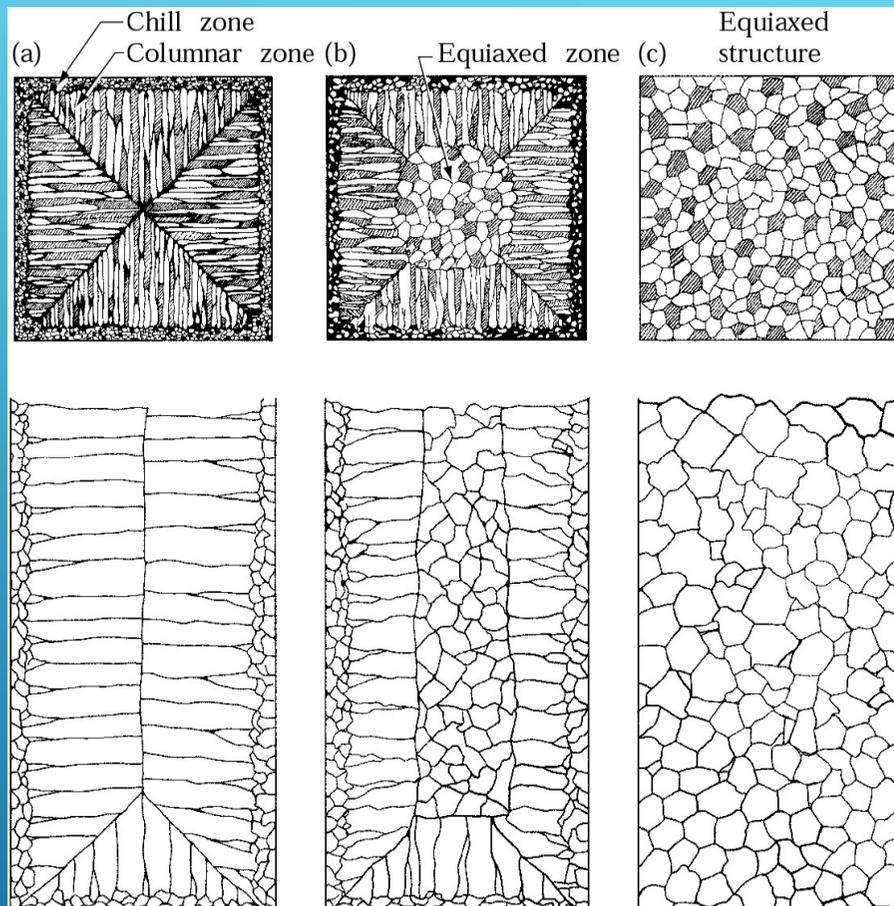
Estrutura do material fundido

- ❑ **Zona coquilhada**- Uma região pequena, de grãos orientados ao acaso que forma na superfície de peças fundidas como um resultado de nucleação heterogênea.
- ❑ **Zona colunar**- Uma região de grãos alongados tendo uma orientação preferencial.
- ❑ **Zona equiaxial**- Uma região de grãos orientados randomicamente no centro de fundidos.



ESTRUTURAS DE GRÃO

- ▶ Grãos colunares:
 - ▶ Longos, finos, grosseiros.
 - ▶ Crescem a partir dos grãos equiaxiais formados na parede do molde.
 - ▶ Solidificação relativamente lenta em gradiente de temperatura
 - ▶ Perpendiculares à parede fria do molde



(a) Pure metals;

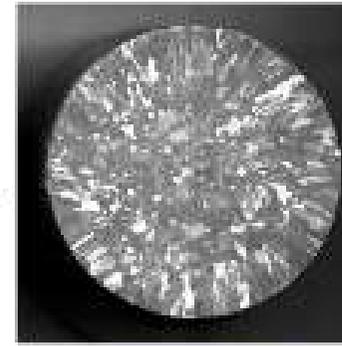
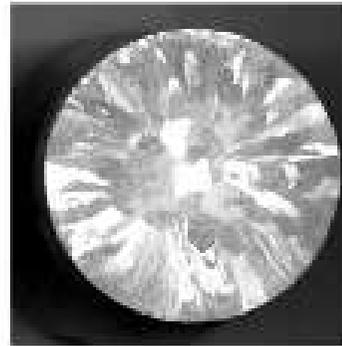
(b) solid-solution alloys; and

(c) structure obtained by using nucleating agents.

ESTRUTURAS DE METAIS FUNDIDOS

VARIAÇÕES NA MACROESTRUTURA DE UMA LIGA AlMg EM FUNÇÃO E DO USO DE REFINADOR DE GRÃO PARA DIFERENTES TEMPERATURAS DE VAZAMENTO

$T_v = 815^{\circ}\text{C}$



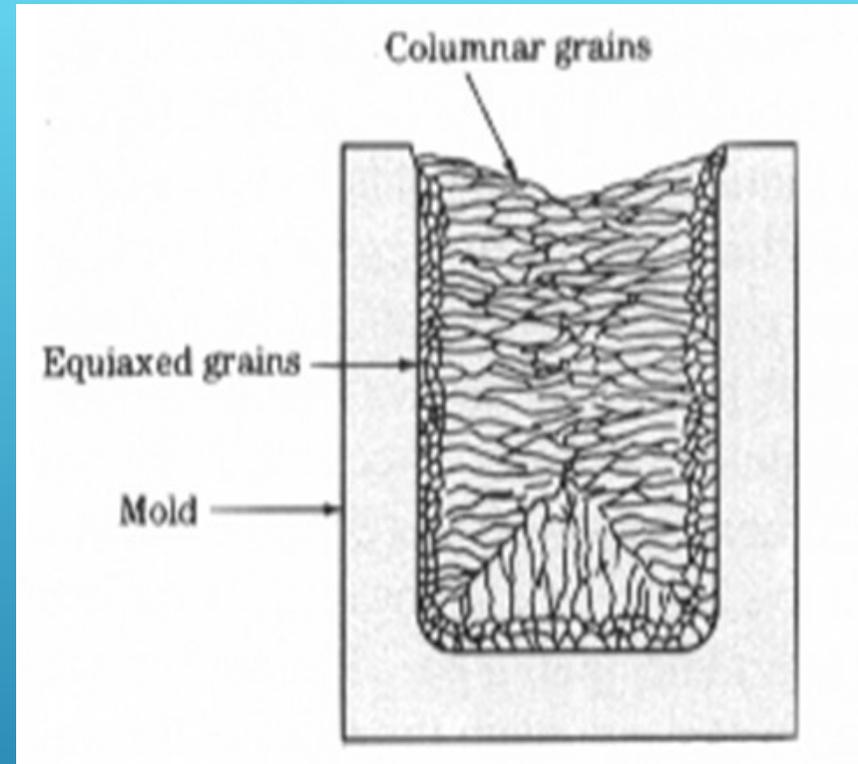
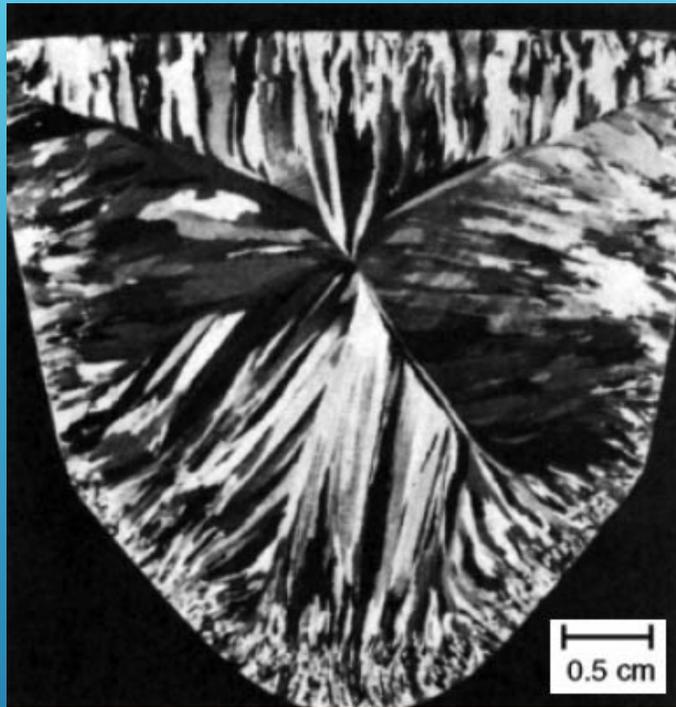
S/REFINO

C/REFINO

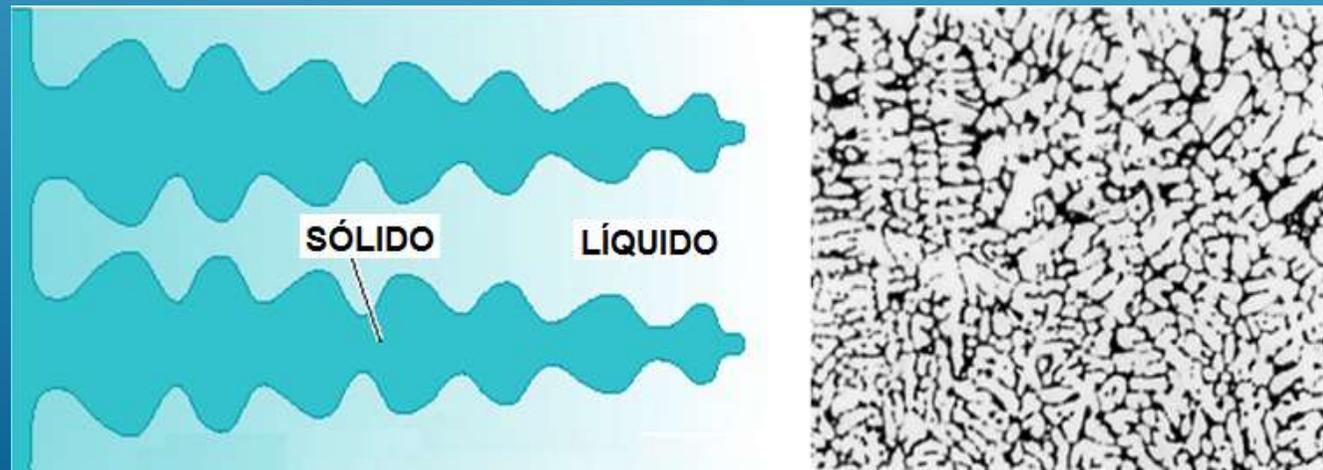
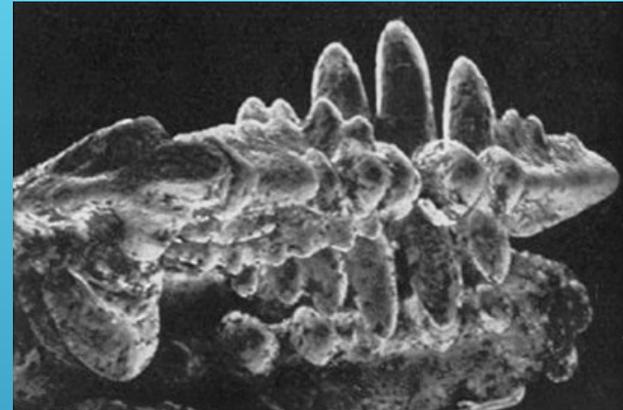
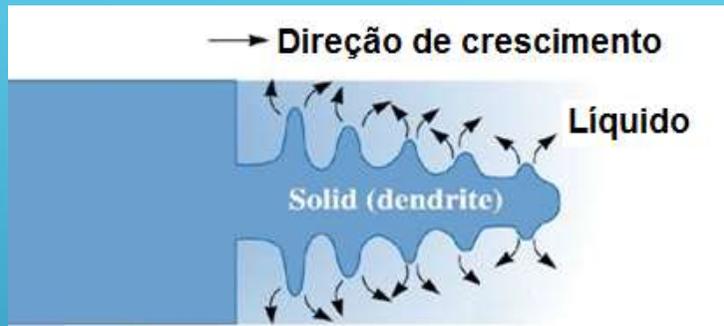
$T_v = 750^{\circ}\text{C}$

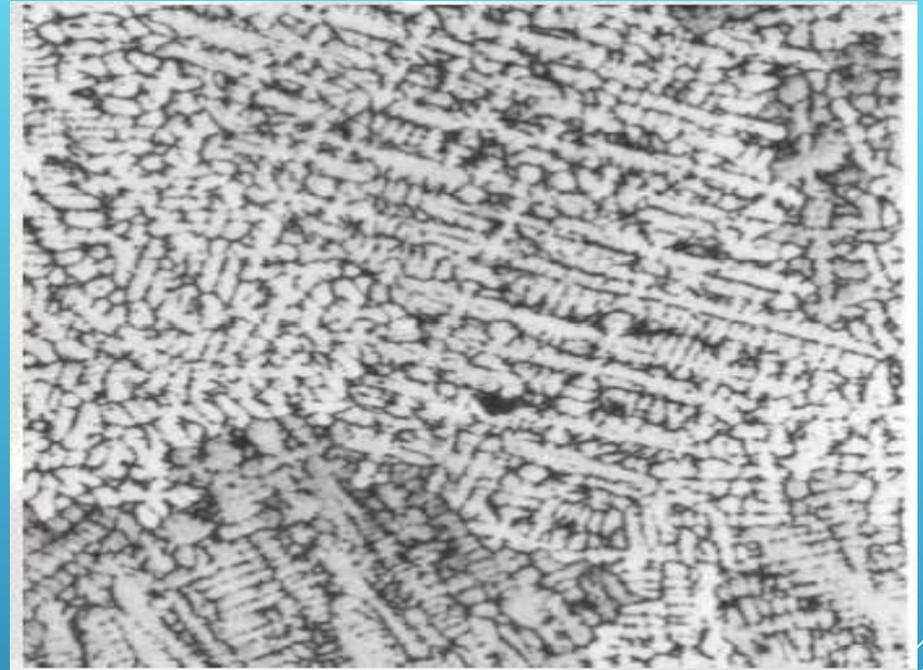


EFEITO DA PRESENÇA DE NUCLEANTES (REFINADORES DE GRÃOS) DURANTE A SOLIDIFICAÇÃO.

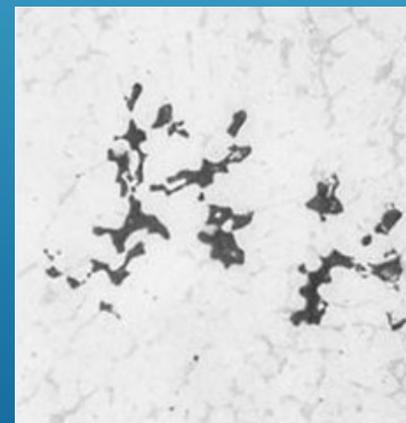
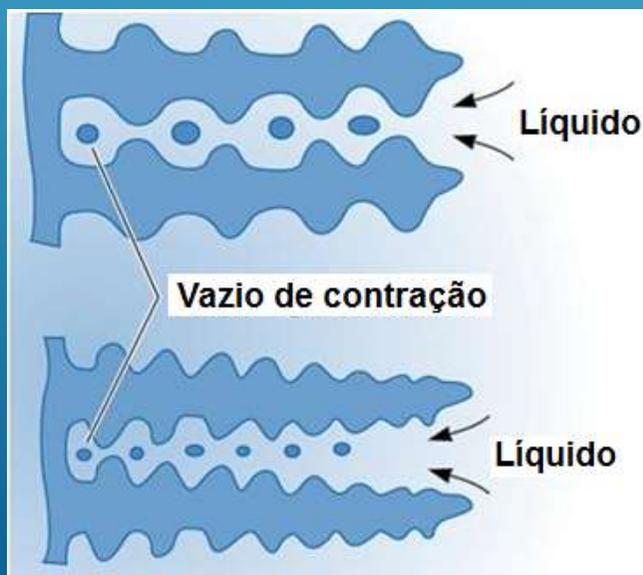


GRÃOS COLUNARES EM UM LINGOTE DE ALUMÍNIO FUNDIDO: REATIVO DE TUCKER





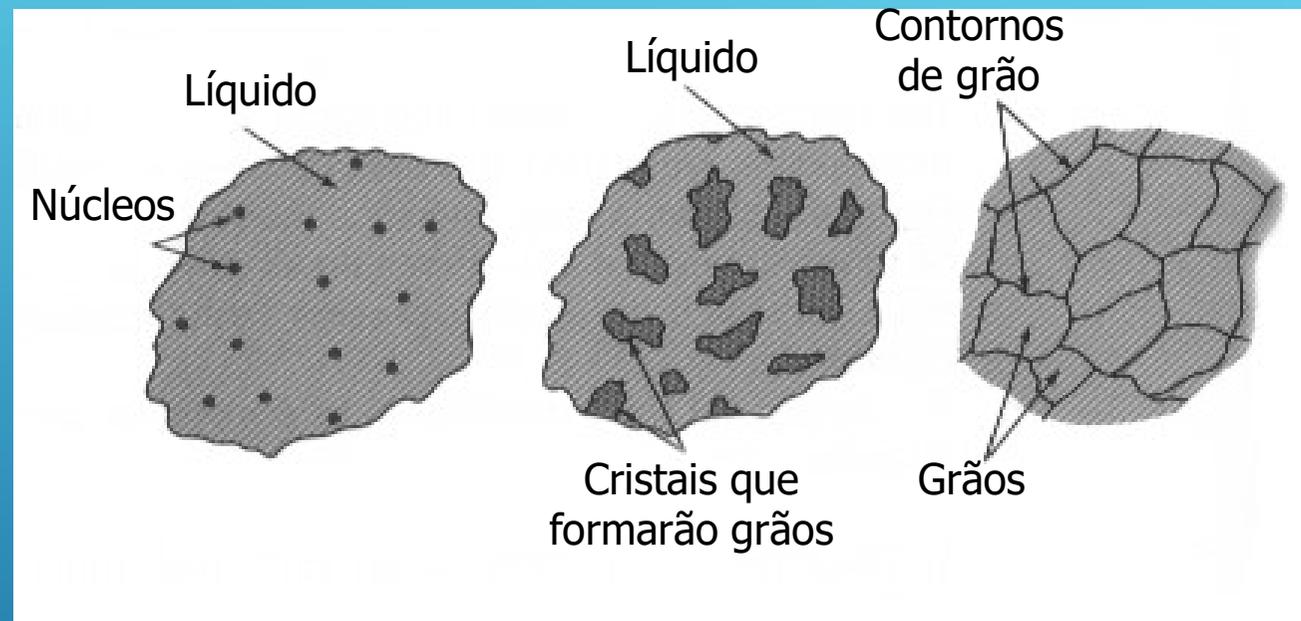
FRENTE DE SOLIDIFICAÇÃO COM CRESCIMENTO DENDRÍTICO



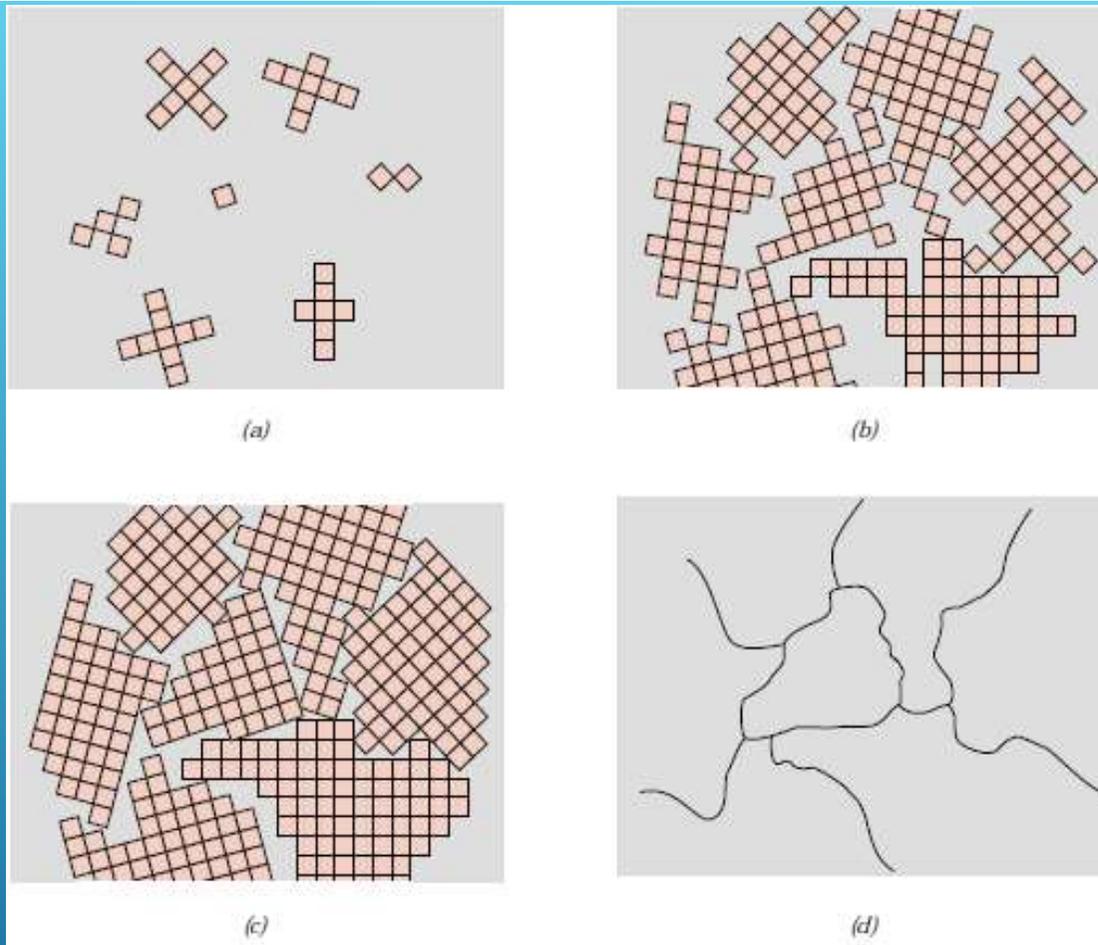
ESTRUTURAS DE GRÃO

- ▶ Grãos equiaxiais:
 - ▶ **Crescimento de cristais aproximadamente igual em todas as direções.**
 - ▶ **Se formam devido a alta velocidade de solidificação na parede do molde.**
 - ▶ **Usualmente adjacentes a parede fria do molde, (zona Chill, ou coquilhada) mas podem aparecer no centro do lingote também dependendo do tamanho do molde e da velocidade de resfriamento (nesse caso se for lenta).**

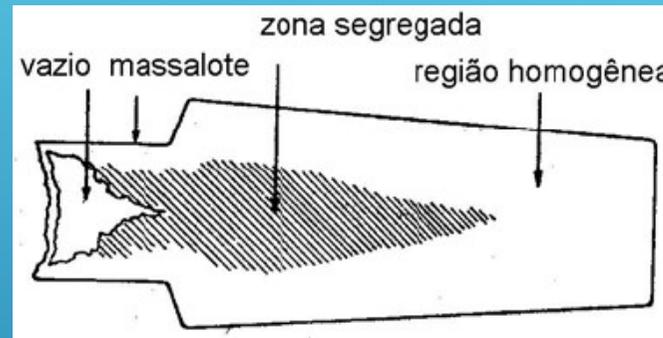
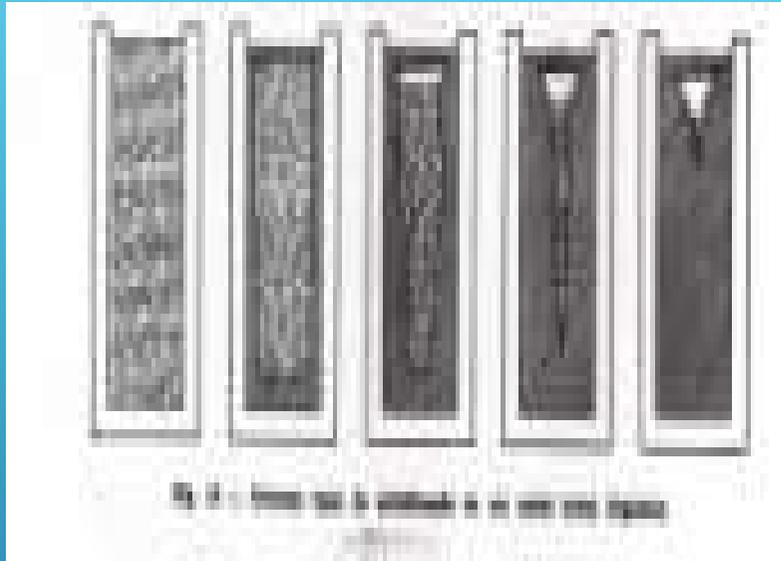
PROCESSO DE NUCLEAÇÃO E CRESCIMENTO



O contorno de grão é uma região de 2 a 10Å, desordenada, sem uma estrutura cristalina definida, sendo portanto uma região de maior energia que a do interior do grão.



**DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DAS VÁRIAS ETAPAS DA
SOLIDIFICAÇÃO DE UM MATERIAL POLICRISTALINO: OS PEQUENOS
QUADRADOS REPRESENTAM CÉLULAS UNITÁRIAS EM UMA ESCALA
BIDIMENSIONAL**



FORMAÇÃO DO VAZIO APÓS A SOLIDIFICAÇÃO: EM GERAL OS SÓLIDOS APRESENTAM MENOR VOLUME QUE OS LÍQUIDOS, OCORRENDO UMA CONTRAÇÃO DURANTE A SOLIDIFICAÇÃO

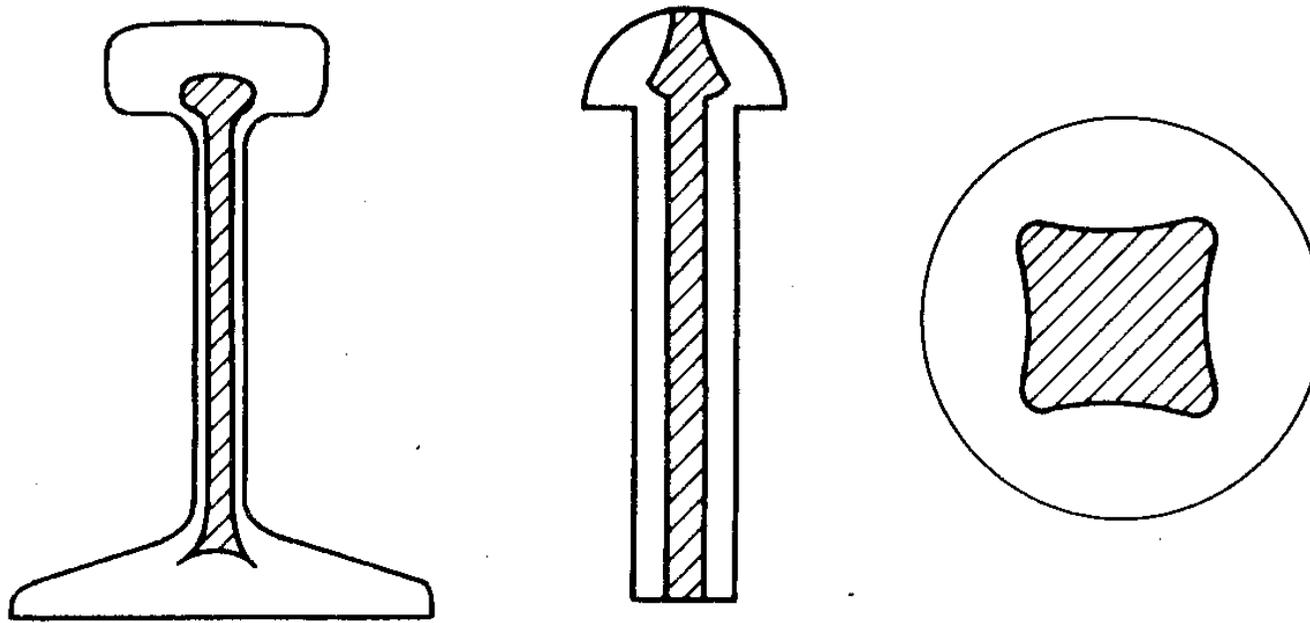
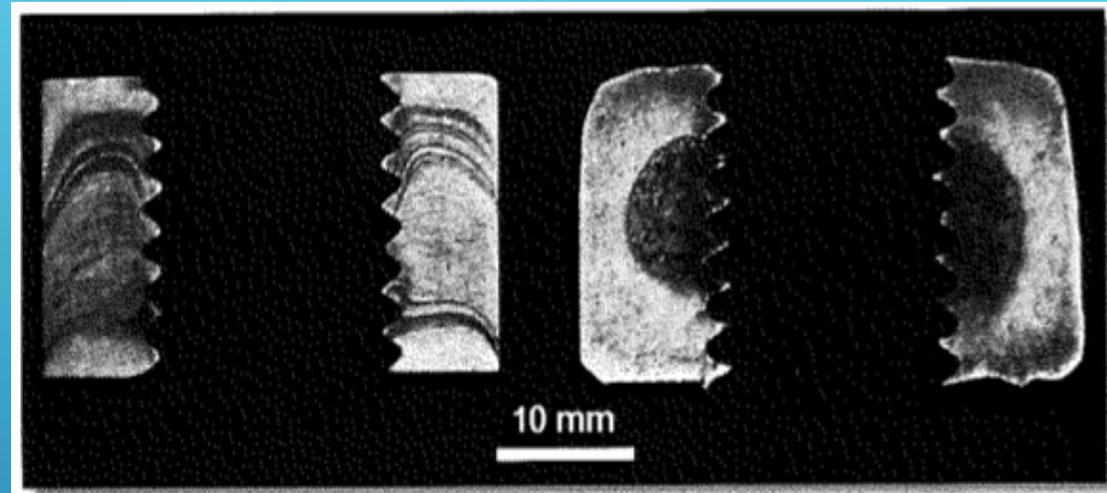
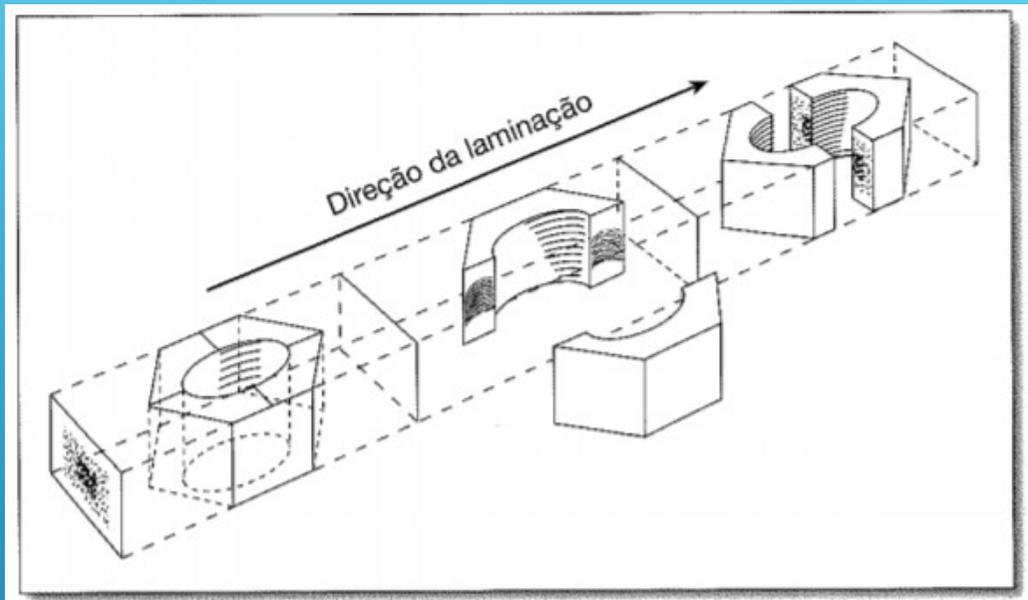


Figura 5 *Segregação em peças laminadas e forjadas.*

LOCALIZAÇÃO ESQUEMÁTICA DA
SEGREGAÇÃO



VISUALIZAÇÃO VINCULADA À DIREÇÃO DE CORTE

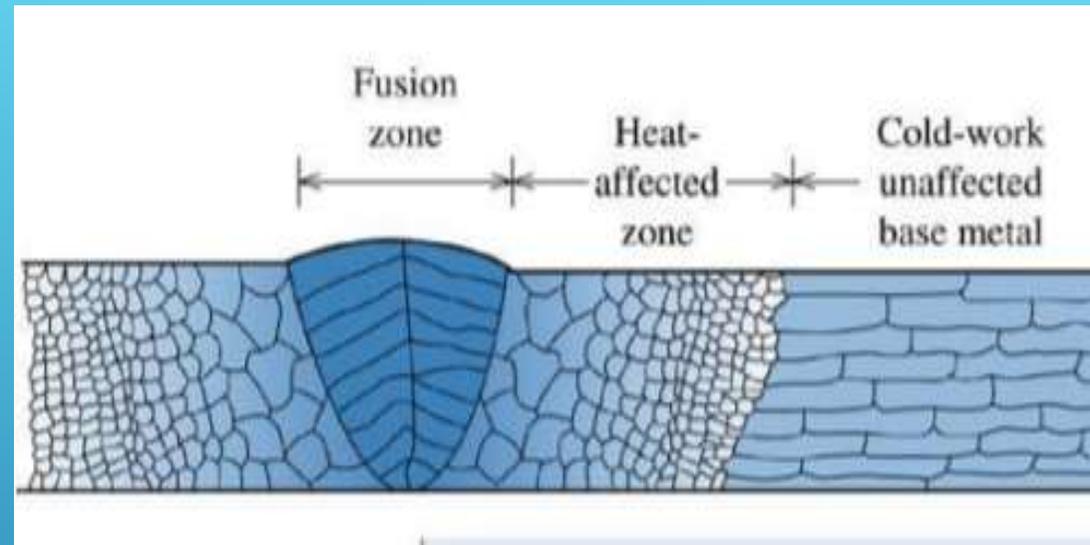
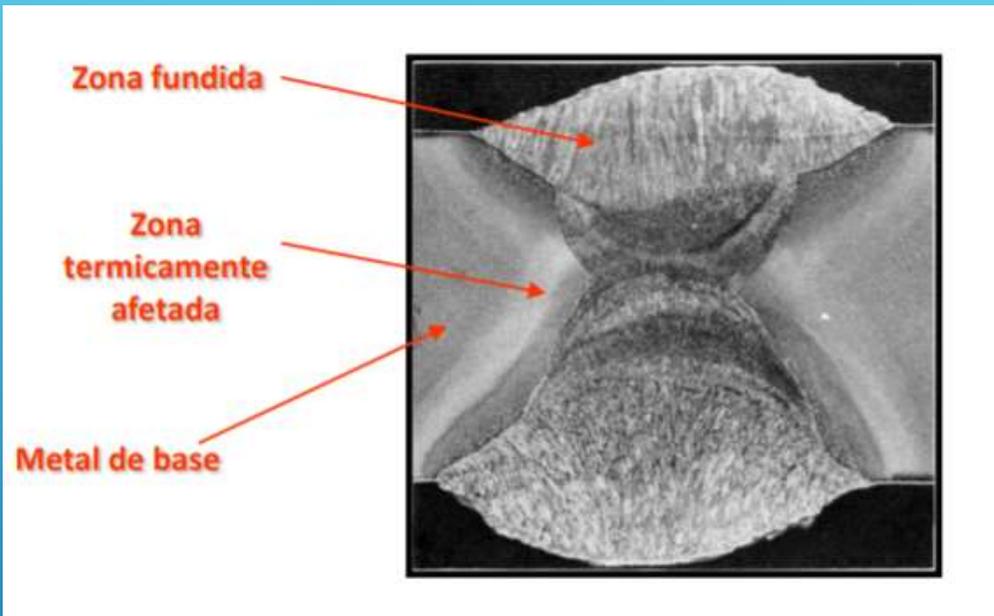


Figure 1. Grain flow can be observed in this sliced section of a forging. It has been cut, polished and etched with an acid solution. The observed flow lines are due primarily to the particles and inclusions, which were remnants of the original casting. These have been deformed during the billet conversion and forging process. The forging process has also aligned the grains of the metal in a direction similar to the flow lines in this picture. *(Courtesy HHI Forgings)*

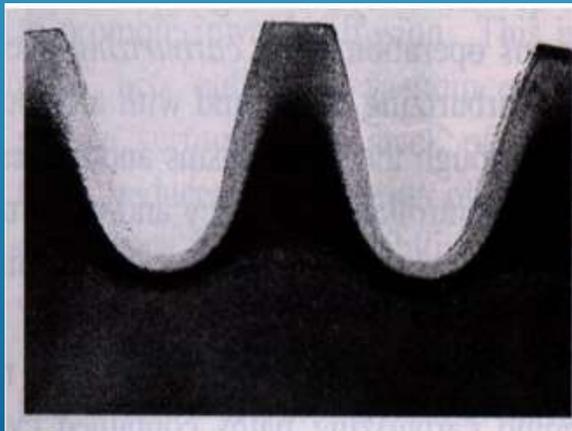
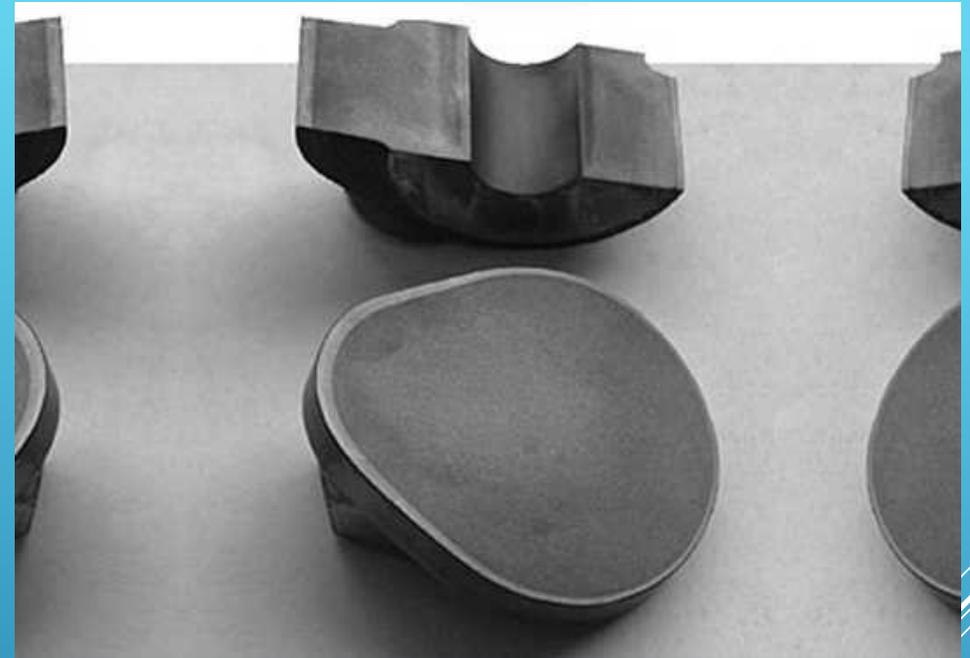


Camada cementada

Adição de carbono superficial para aumentar a resistência ao desgaste.



Soldagem: ZTA



Têmpera superficial

**Modificação da
microestrutura superficial**