

# PMR 330.1 - Delson - P1

## Aula 1:

### • Conformação Plástica:

- Modif. da forma → ação de tensões mecânicas

### • Parâmetros de Processamento:

- veloe, temp, equip, ferr, → qualidade e custo competitivo

### • Metalurgia da Conformação Mecânica

- Características dos metais:

- ↳ resistência à deform. (tensão de escoamento)

- ↳ comportamento sob deform a ↑ Temp

- ↳ modificações microestruturais (encruamento, recristalização)

- parâmetros de processamento

- esforços de conformações → escolher equip e dimensionar ferr

#### 1) Trabalho a Frio:

- deform. plást. dificultada:

- ↳ deform. dos grãos cristalinos, mov. de discordâncias

- encruamento: ↑ resistência ao escoamento

- ↑ Einterna do material ⇒ influência em prop. fís. e mec.

#### - BARREIRAS À DEFORMAÇÃO

- ↳ átomos em solução sólida

- ↳ partículas precipitadas (impurezas, segundas fases, compostos)

- ↳ defeitos de linha (discordâncias em cunha e hélice)

- ↳ contornos de grão

- ↳ ↓ temperaturas

- Material encruado → grãos deformados e alongados

- Material de partida recorrido → grãos recristalizados

#### 2) Trabalho a Quente

- deform. plást. facilitada:

- ↳ energia térmica disponível (calor disponível durante o processamento)

- ↳ maior mobilidade mecânica

- ↳ maior caminho livre p/ mov. de discordâncias

- Temperatura de processo elevada:
  - ↳ suficiente p/ recristalização
  - ↳ " " " transformações allotrópicas  
(Fe CC  $\rightarrow$  CFC, Titântio HC  $\rightarrow$  CCC)
- 3) Trabalho morno

- características vantajosas de trabalho a frio e a quente
- ex: auto-peças forjadas

- 4) Trabalho isotérmico
  - características do trabalho a quente
  - peça e ferr. com temperaturas próximas
  - $\uparrow$  deformações,  $\downarrow$  taxas deformações

#### **Variáveis Importantes:**

- ferr: geometria, superfície, dureza/tinacidade, temp., rigidez e precisão
- produto: geometria, tolerâncias, microestrutura, propriedades mecânicas
- equip: veloc., produtividade, força/energia, rigidez/precisão
- ambiente: ser humano, poluição, controle/utilidades

## **Aula 2 - PROCESSOS DE FABRIC. P/ LAMINAÇÃO**

### **• Classificação dos Processos**

#### **1. Forma do Produto final**

- $\Rightarrow$  chapas, perfis  $\Rightarrow$  laminacão, estampagem
- $\Rightarrow$  tubos, fios, barras  $\Rightarrow$  trefilação, extrusão

#### **2. Tamanho da Região de Deformação**

- $\Rightarrow$  localizada  $\Rightarrow$  laminacão, trefilação, extrusão
- $\Rightarrow$  generalizada  $\Rightarrow$  estampagem, forjamento

#### **3. Escoamento do material**

- $\Rightarrow$  contínuos  $\Rightarrow$  mesmo de 2.
- $\Rightarrow$  intermitentes  $\Rightarrow$

#### **4. Produtos finais**

- $\Rightarrow$  semi-acabados  $\Rightarrow$  processos primária
- $\Rightarrow$  acabados  $\Rightarrow$  " " secundários ou finais

## **LAMINAÇÃO**

PROCESSO	FORÇA	TRABALHO		SEMI-PRODUTOS OU PRODUTOS	
		FRIO	QUENTE	AÇOS	NÃO-FERROSOS
Laminação	compressão não direta	X	X	placas chapas barra perfis	placas chapas barra chamas

- modifica-se geometria / dimensões pela passagem entre 2 cilindros laminadores
  - ↳ ↓ seção → ↑ largura & comprimento
- deform. plásticas → arraste p/ atrito (pressão cilindros)
- cilindros
  - ↳ aço carbono e aços-liga → desbaste
  - ↳ aço-liga e ferro fundido → processos intermediários
  - ↳ ferro fundidos → acabamento
- exemplos:
  - ↳ laminação de produtos planos de aço
  - ↳ " " " perfis de aço
- defeitos:
  - ↳ desvios de forma
  - ↳ irregularidades de superfície: trincas, fissuras, cascal, carpas (sujura e ferrugem num metal fundido)
  - ↳ internos: trincas, escamas
- laminação a QUENTE:
  - ↳ Matéria prima: lingotes fundidos, placas e tanques
  - ↳ lingotados, laminados
  - ↳ preparação (desbaste)
  - ↳ ↑ deformações, ↑ dimensões
  - ↳ Geometrias complexas
  - ↳ produtos semi-acabados
- laminação a FRIO
  - ↳ Matéria-Prima: chapas e barras laminadas a quente
  - ↳ operações de acabamento
  - ↳ pequenas deformações
  - ↳ superfícies regulares, menor rugosidade
  - ↳ produtos acabados
- MECÂNICA DA LAMINAÇÃO
  - ↳ esforço predominante: compressão direta
  - ↳ área de contato
  - ↳ ponto neutro: pressão máxima dos cilindros na peça
  - ↳ ângulos: de contato, de ataque e de mordida

- ↳ forças de atrito: no sentido da lâmina. até o ponto neutro.
  - Depois → tensão de m. p/ frente e p/ trás da peça
  - ↳ carga de laminagem: força de separação dividida pela área de contato → tensões de laminagem
  - ↳ cilindros c/ Ø menores: ↑ área de contato  
↓ força de separação, ↓ forças de atrito, ↑ rigidez e precisão
- TIPOS DE LAMINADORES lamin. Quente (LQ) lamin. frio (LF)
- ↳ duplo reversível → LQ → desbaste e esboço
  - ↳ triângulo → LQ → chapas e placas
  - ↳ quadro → LQ / LF → chapas grossas e planas
  - ↳ linhas contínuas → LQ → chapas médias e finas
  - ↳ Sandzimir → LF → chapas finas
  - ↳ Mannesmann → LQ / LF → tubos s/ costura (c/ mandris)
  - ↳ sequencial → LQ / LF → perfis e tubos c/ costura a partir de tiras

### Aula 3 - Estampagem (Neste ponto nem lista vc se dava o trabalho de assinar)

- Processo para conformação de superfícies
  - ↳ deformações localizadas → chapas e folhas → peças isoladas
- Esforços:
  - ↳ flexão, compressão, cisalhamento e estiramento
- Estampagem Profunda:
  - ↳ copos e caixas, estampas progressivas
- MECÂNICA DA ESTAMPAGEM PROFUNDA
  - Elementos constitutivos:
    - ↳ punção, matriz, sujeitador, extrator
  - Esforços predominantes
    - ↳ compressão, tração ou flexão.
    - ↳ nível dos esforços e afinamento → atrito chapa/ferramenta
  - Equipamentos
    - ↳ m. alternativo → prensas
    - ↳ ii. contínuo → laminadores, calandras
- CARACTERÍSTICAS GERAIS
  - Normalmente a frio
  - A quente → chapas espessas  $\downarrow \%$  C
  - MATERIA PRIMA (dúctil)
    - ↳ laminadores a frio delgados de aços doces, ligas de alumínio e de cobre
  - ESTAMPAGEM PROFUNDA → material partida → discos

## - Distribuição de forças

- evitar problemas → rebaixas excessivas, desgastes da ferr., vibrações e desbalanceamentos → distribuir forças num baricentro

## - Operações de Corte

- funcionamento → fig. geom. através do impacto da ponta, matriz

- força de corte:  $F_c = \tau_{\text{imp}} A_c$

Grup: tensão de ruptura p/cis.

Ac: área de corte

- força de corte (tesoura guillotina)

$$A_c = \frac{e^2}{2tg\lambda}, F_c = \frac{e^2 \tau_{\text{cis}}}{2tg\lambda} \quad e: \text{espessura chapa}$$

$\lambda: \text{inclinação tesoura}$

## - Prensas

- excentricas

↳ acionamento mecânico

↳ golpes rápidos

↳ limitadas às ferr e syst. de alimentação

- hidráulicas

↳ pistão hidráulico

↳ golpes em veloc. constante e controlada

---

## Aula 4 → FORJAMENTO

### - Definição

- deform. volumétrica → variadas formas geométricas → grandes deform → tensões compressivas diretas
- Ação → golpes (martelo) / contínuo (pumar)

### - CARACTERÍSTICAS

- LIVRE

↳ formas simples

↳ peças c/ grandes dimensões

↳ ↓ produtiv.

↳ apta c/ martelos

- MATRIZES FECHADAS

↳ geometrias complexas, ↑ produtiv., ↑ qualidade dimensional

↳ ↑ homogeneidade estrutural, c/ prensas

- A QUENTE

↳ + comum, p/ formas complexas, recristalização

↳ oxidações e contração térmica

- A Frio

↳ peças + simples, encruamento, tolerâncias + fechadas

- A MORNO
  - ↳ caracte. intermediárias
- TEMPERATURA DE TRABAULHO
  - Aumento excessivo de força no frio (limite inferior) e pela oxidação no quente.
- ETAPAS DO FORJAMENTO
  - esboçadora, formadora, calibradora
- AUTOMAÇÃO
  - CAD/CAM → programação computacional → ganho de tempo, redução de desperdício energético e material
- DEFEITOS NOS PRODUTOS
  - falta de redução:
    - ↳ preenchimento incompleto do metal na cavidade da ferramenta
    - ↳ metal não fluui como planejado
    - ↳ ou força não foi suficiente
  - trincas superficiais
    - ↳ excesso de trabalho a frio
    - ↳ ou fragilidade do metal
  - trincas nas rebarbas
    - ↳ metal c/ impureza da fundição
    - ↳ ou esforço rebatimento é muito lento
  - trincas internas
    - ↳ grandes deformações, ↑ temp., impurezas
  - gota fria
    - ↳ rachadura (nuga na superfície)
    - ↳ baixa temperatura
- VANTAGENS
  - ↑ propriedades mec., alinhamento direcional da microestrutura
  - ↑ ductibilidade, ↑ impacto, ↑ resistência a fadiga
  - ↓ custo de fabricação, → mínima perda de metal
- DESVANTAGENS
  - geralmente peças têm de ser usinadas antes
  - equip. muito caro

## AULA 5 - Repuxo, Treliçação, Extrusão

- REPUXO
  - Peças c/ grandes dimensões e lotes reduzidos
  - Máquinas e equip. → torneis, bastaõ, matriz

- Hidrostáticos
  - ↳ pressão no tanque por um fluido
  - ↳ ↑ reduções a frio → ↓ atrito
- Equipamentos
  - ↳ pumpas hidráulicas
    - horizontais → QUENTE
    - verticais → Frio
    - ação contínua
- Equip. Auxiliares
  - ↳ sist. de corte de barras, de retração de pistões
  - ↳ fornos
  - ↳ controle da atm de aquecimento
- COMO AUTOMATIZAR OU CONTROLAR
  - sensores, atuadores e sistemas de controle
    - ↳ sensor de temp, de pressão, de deslocamento

## AULA 6 - PEÇAS DE PLÁSTICO

- Podem sofrer usinagens como metais
- São facilmente manipulados
- Adquiridos:
  - ↳ grãos ou pó → amolecidos
  - ↳ chapas, placas, tanques e tubos
  - ↳ líquido

## AULA 7 - METALURGIA DO PÓ

- Peças metálicas ferrosas ou não
- Pó → moldado a frio  $\xrightarrow[\text{fusão}]{\Delta}$  ligação metalúrgica entre partículas
- CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DOS PÓS
  - forma e tamanho: esféricas, aciculares, dendríticas...
  - distribuição granulométrica das partículas
- ETAPAS DE FABRICAÇÃO
  - obtenção dos pós;
  - mistura;
  - compactações - moldagem;
  - sinterização;
  - calibração;
  - operações complementares.
- VANTAGENS
  - baixo custo p/ larga escala e baixo impacto ambiental (- energia)
  - ↑ aproveitamento (95%)
  - peças complexas
  - peças c/ tel. necess. p/ aplicações direta do cliente

## - TREFILAÇÃO

- produtos c/ geometria diversas por meio da tracção por uma matriz ou fioira
- a fios → encruamento
- ↓ reduções de seção por passo
- ↑ qualidade superficial e dimensionam
- propriedades mecc. controladas
- RECOZIMENTO INTERMEDIÁRIO
  - ↳ se ↓ ductilidade → ↑ resistência → ↓ conformabilidade
- Materia prima
  - ↳ barras e tubos extrudados (não-ferrores) ou laminados (ferrores ou não), decapados e recozidos
- Produtos
  - ↳ arames, fios finos, banhos, tubos ...
- Mecânica
  - ↳ esforços de compressão indireta
  - ↳ atrito entre matriz e peça
  - ↳ lubrificantes/refrigerantes
  - ↳ Velocidade: 10m/s → aço, 20m/s → cobre
- GEOMETRIA DA FERRAMENTA
  - ↳ cone de entrada, de trabalho (regiões de deformação), de saída e região de calibração
- MATERIAIS p/ FERR.
  - ↳ diamante:  $\phi < 2\text{mm}$
  - ↳ metal duro:  $\phi > 2\text{mm}$

## - EXTRUSÃO

- modifica-se a geometria/dimensões pela sua passagem por uma matriz
- produtos com comprimento limitado ao vol. do tarugo inicial
- AQUELENTE
  - ↳ ↑ reduções
  - ↳ maioria dos processos
- A FRIO
  - ↳ ↓ reduções
  - ↳ peças de precisão
- Variações
  - 1) Direto →
  - 2) Inverso →
- vantajoso, atrito tarugo recipiente
- limitado, n permite seções reduzidas

## AULA 8: COMÓSITOS

### - Constituição:

- o 2 ou + materiais quim. insolúveis → MATRIZ e MACROCOMPONENTES
- o matriz envolve macro. → fase contínua
- o macro. → fibrosos, particulados, laminados, escamados, etc...
- o + comuns - matriz metálica, polimérica e cerâmica

### - Propriedades

- o materiais constituintes
- o forma, arranjo estrutural e distribuições
- o interações dos const.
- o matrizes poliméricas: ↓ resist., ↓ fusão
- "      metálicas: ↑ resist., ↑ fusão, ↑ peso (CMM)
- "      cerâmicas: ↑ resist à T altas → ↓ tenacidade

### 1) Compósitos Fibrosos

- o plásticos + fibras de vidro em matriz de poliéster
- o matriz de epóxi / Al + fibras de boro e grafita
- o Whiskers: alumina + matriz metálica/polimérica

### 2) Compósitos Particulares

- o ligas endurecidas por dispersão
- o compósitos de matriz metálica c/ ↑ resist. ao desgaste a ↑ T  
(Al c/ alumina ou carboneto de silício)
- o matriz polimérica c/ metais
- o reforço é aleatório → isotropia

### 3) Compósitos Escamados

- o escamas mantidas juntas por um aglomerante ou incorp. na matriz
- o EX: plásticos c/ escamas de vidro
- tintas c/ escamas de Al ou Ag

### 4) Compósitos Enchidos

- o matriz contínua, tridimensional + material de enchimento
- o EX: matriz de tungsténio + Cu / Ag

### 5) Compósitos Avançados

#### 5.1) de matriz metálica

- o Temp. maiores em rel. aos poliméricos
- o ↑ resist. mec. que o metal n reforç.

#### 5.2) compósitos cerâmico-cerâmico

- o ↑ tenacidade
- o ótimo óptimo em T muito altas

### - PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

- o Fibras + mistura → impregnação → mistura no molde / mandril → polimerização (estufa) → desmolagem → acabamento
- o CMM
  - ↳ moldagem: Fase sólida e líquida
  - ↳ processado c/ geometria n definida → laminação
- o CMC
  - ↳ matriz e reforço → sintetização

## o Gelcasting

- ↳ mistura do pó base, água e monômeros orgânicos
- ↳ ocorre polimerização → material gelificado
- ↳ após secagem → sinterização é completado

## - Moldagem por centrifugação:

- ↳ peças de revolução
- ↳ dentro do molde → fibras + resina
- ↳ cura - Temp. amb. / estufa
- ↳ se usa quando não se quer homogeneidade das propriedades mec.

## 6) Compositos lamelares (tipo sanduíche)

### - duas ou + camadas sobrepostas

- ↳ ↑ resist à corrosão e oxidação
- ↳ impermeabilizar, aspecto decorativo
- ↳ ↓ custo, modif. propriedades elétricas e magnéticas.

### - PAINÉIS SANDUÍCHES

- ↳ necess. elementos leves c/ ↑ rigidez, ↑ resist.
- ↳ 2 lâminas rígidas, finas e resistente e denso
- ↳ 1 camada, ↓ densidade, ↓ rígido, ↓ resist.
- ↳ Aplicações:
  - o indúst. aeroespacial, naval, automó.