


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



PRO 3610 – MÉTODOS E MEIOS DE PRODUÇÃO


Principais Processos para o Design de Produtos

Processos de conformação – Chapas


Prof. Dr. Fausto L Mascia

Bibliografia: Ashby, M., Johnson, K. Materiais e Design. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011
Lefteri, C., Como se faz. São Paulo: Blucher, 2009.

1



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Chapa

Principais processos:

- Estampagem
- Corte (convencional, chama de oxiacetileno)
- Torneamento de repuxo
- Termoconformação
- Compensado encurvado
- Prensagem de compensado
- Vidro

2



Corte de metal (sem formação de cavaco)

Processos de conformação a frio

Vários processos: conformação em prensa, corte em tesoura, estampagem de corte, puncionamento, dobramento, perfuração, estampagem.

Puncionamento: chapas com furos.

Estampo: fabricar peças cortadas a partir de chapas.

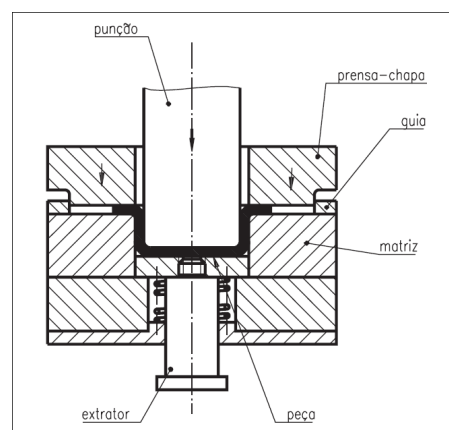
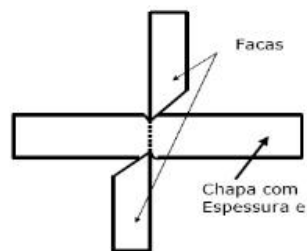
Volumes de produção variáveis – manual ou automatizado.

Custo do ferramental relativamente baixo.

3





Corte de metal (sem formação de cavaco)

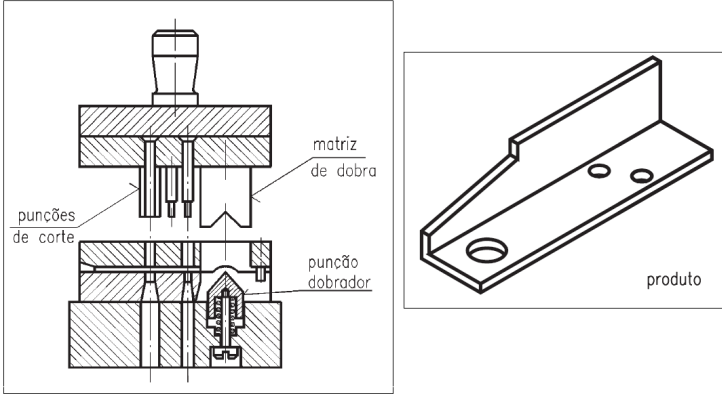


4

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção






Corte de metal (sem formação de cavaco)



5

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

Corte de metal (sem formação de cavaco)

- Demandam acabamento – retirada de rebarbas.
- Restrito às dimensões padronizadas de chapas.
- Tolerâncias relativamente precisas.
- Restritos a chapas metálicas.
- Necessidade de otimização das chapas.

6

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Corte de metal (sem formação de cavaco)



7



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Conformação a partir de chapas de metal



8

 Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção 

Conformação a partir de chapas de metal
Fabricação de garfos, colheres e facas
<https://www.youtube.com/watch?v=LVLjHtV-WKM>

<https://www.youtube.com/watch?v=toIHqQaF9IQ>
Para o segundo vídeo observar a partir de 1,05

Corte e dobra de chapas
<https://www.youtube.com/watch?v=tStH0gESkGA>

Dobra
<https://www.youtube.com/watch?v=whzmOIHH1mI>

Produção de painéis
<https://www.youtube.com/watch?v=hmbQEH2sx4E>

9

 Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção 

Processamento chapas de metal





10

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Processamento chapas de metal



11

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Processamento chapas de metal



12

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Processamento chapas de metal



13

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Processamento chapas de metal



14

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Processamento chapas de metal



15

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Processamento chapas de metal



16

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Processamento chapas de metal



17


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção




Processamento chapas de metal



18



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Corte por Estampagem

Processo simples; aplicado em plásticos ou papel.
O estampo tem duas funções: **cortar e vincar**.


Indicado para pequenos ou grandes lotes.

Baixo custo do ferramental; processo econômico, forma do material e equipamentos (chapas x bobinas)


Velocidade do processo alta; montagem pode ser mais demorada (embalagens)

Tolerâncias precisas
Material: PVC, polietileno, PET, papel, cartão.

19



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Corte por Estampagem

Complexidade das peças depende do tamanho dos cortes.

Pode ser facilmente combinado com impressão.

Formas podem ser cortadas em uma única ação de corte;

Produtos tridimensionais precisam ser montados manualmente.

20

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Corte por Estampagem



21

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Corte por Estampagem



22

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Corte por Estampagem



23

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Corte por Estampagem



24



Corte (chama de oxiacetileno)

Não indicado para materiais finos ou estreitos > 8mm
(manual ou automatizado).

Indicado para pequenos lotes.

Baixo custo do ferramental manual; processo econômico,
forma do material e equipamentos (bobinas x chapas ou
folhas).

Velocidade do processo depende da espessura do material

Construção naval, máquinas pesadas.

25



Corte (chama de oxiacetileno)



26



Usinagem a plasma

Corte com gás aquecido (nitrogênio ou argônio ou oxigênio)

Volumes de produção: pequenos lotes

Velocidade: depende da espessura do material

Tamanho: não há restrições

Tolerâncias: +-1,5 milímetro

Aplicação: construção pesada

27



Usinagem a plasma

Corte com gás aquecido (nitrogênio, argônio, oxigênio)



28



Usinagem a plasma


Corte com gás aquecido (nitrogênio, argônio, oxigênio)




Usinagem a plasma

Corte com gás aquecido (nitrogênio, argônio, oxigênio)





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção




Usinagem por feixe de elétrons

O calor concentrado a partir de um feixe de elétrons é utilizado para derreter o metal.


O processo geralmente ocorre dentro de um vácuo, protegendo o metal da atmosfera exterior.

Esta técnica é usada em uma variedade de aplicações, incluindo a solda, **tratamento térmico** e remoção de metais.

31



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Usinagem por feixe de elétrons

Processo versátil
Usado para furar, cortar, soldar, temperar peças.
Indicado para peças únicas ou lotes.

Custo: equipamento de geração de feixe de elétrons é caro.
Elevado grau de precisão
Tolerâncias: cortes precisos (possibilidade de cortes inclinados)

32



Eletroerosão por meio de descarga elétrica EDM (a fio)

Para corte de metais muito duros, condutores de eletricidade (uso de centelhas para derreter o material); centelha gerada por um fio (não há contato entre o eletrodo e o material).

- Volume de produção variável.
- Produz bom acabamento de corte e excelente tolerância.
- Velocidade do processo depende da espessura do material
- Indicado para formas complexas em metais.

33



Eletroerosão a fio



34

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção






Eletroerosão a fio






35

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

Repuxamento

Para produção de formas com paredes finas.

O Blank é preso no mandril; girados em alta rotação; metal é empurrado com uma ferramenta até que se ajuste à forma.

Volumes de produção elevados. Custo das ferramentas não é excessivo.

Possível trabalhar apenas peças simples. Peças fechadas (em duas metades).

36

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção





Repuxamento



37

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Repuxamento

Cobre e alumínio são materiais mais empregados.

Se for manual o processo é lento.

Tolerâncias pouco precisas. Superfície precisa ser polida para eliminar marcas do processo.

Tamanho das peças depende da dimensão do equipamento.

38

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção






Repuxamento





39

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

Termoconformação (termoformagem)

Chapa plástica é aquecida por convecção colocada sob a forma e o vácuo é aplicado.

Volume de produção: de peça única à produção em larga escala.



Maior custo: forma e equipamento de vácuo.

A espessura do material interfere no tempo do processo.

Boas possibilidades de acabamento.

40

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Termoconformação (termoformagem)

Atenção para os ângulos de saída.

Tamanho das peças depende do equipamento.

Maioria dos termoplásticos fornecidos em chapas podem ser conformados (poliestireno, ABS, Acrílicos, policarbonato).

41

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Termoconformação (termoformagem)

Bandeja Para Transporte



42

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção




Termoconformação (termoformagem)



43

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Compensado encurvado

Técnica antiga. Laminação cruzada de compensados em chapas; aplicação de cola entre as chapas; sob pressão de molde para dar forma até a secagem da cola; acabamento.

Volumes de produção variável: de peça única a milhares de unidade. Custo dependa da escala – em escala industrial o custo do ferramental é coberto por menor custo das unidades produzidas.

Tempos de produção relativamente longos; necessário acabamento posterior

44



Compensado encurvado

Restrito a curvas simples em única direção. Possível leves reentrâncias.

Restrição de tamanho – tamanho dos moldes

Tempos de produção relativamente longos; necessário acabamento posterior.

Muito empregado em mobiliário

45



Compensado encurvado



Cadeira dobrável Elica – Gudmundur Ludvik

46

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção






Compensado encurvado



Outros exemplos

47

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

Conformação tridimensional profunda em compensado

Tecnologia de processamento do compensado desenvolvida na Alemanha.

O Material é moldado em curva tridimensional – produz forma mais complexas (passo inicial – tratamento de corte).

Indicado para produção em massa. Investimento elevado em ferramental.

Possível acabamentos posteriores.

Tamanho limitado pelo dimensão das chapas e moldes.

48



Conformação tridimensional profunda em compensado

Difícil alcançar tolerâncias precisas.

Necessário folhas de madeira de alta qualidade.

Possível substituir plástico e metais em alguns segmentos.

Aumenta a resistência estrutural do compensado.

Restrições quanto à pequenos raios e curvas fechadas.

49



Conformação tridimensional profunda em compensado



50

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Conformação tridimensional profunda em compensado



51

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Conformação tridimensional profunda em compensado



52



Prensagem de compensado

Conformação a partir de chapas planas coladas – veios das madeiras em direções cruzadas; folhas impregnadas de melanina adicionadas na base e topo da pilha; colocados em moldes sob pressão a temperatura 135 grausC; acabamento.

Produção em média escala.

Bom acabamento. Boa resistência química.

Chapas em relevo com profundidade até 25 milímetros.

53



Prensagem de compensado

Bandejas Neville – GB



54



Prensagem de compensado

