



Instituto Politécnico de Coimbra
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Análise, Caracterização e Desenvolvimento de Ferramentas de Estampagem para a
Indústria Automóvel

Orientador: Prof. Doutor João Maia Carrapichano,
Prof. Adjunto, ISEC

Autor:
Wilson Emanuel Mota Nogueira

Relatório de Estágio para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

COIMBRA
2015

Resumo

A atual necessidade de adaptação do mercado à introdução contínua de novos produtos obriga os construtores para a indústria automóvel a ciclos de renovação dos seus modelos que desenvolvem cada vez mais curtos e com uma diversidade cada vez maior, isto exige um elevado desenvolvimento de novas técnicas de produção e para isso também o ótimo conhecimento das técnicas tradicionais e com isto o aumento contínuo da eficácia dos processos. Para garantir estas necessidades, o processo de estampagem necessita de ser conhecido e dominado por forma a atingir os objetivos relacionados com a tendência de modularização de elementos cada vez mais completos e complexos, da individualização de forma a resultarem instalações flexíveis de produção e a diminuição do tempo de desenvolvimento utilizando técnicas informáticas avançadas.

O objetivo deste trabalho é caracterizar todos os métodos tecnológicos atuais utilizados na estampagem assim como todos os passos para a industrialização de uma peça com o grau de dificuldade elevada.

Palavras-chave: Ciclos de fabrico, Modularização, Individualização, Diminuição do tempo de desenvolvimento

Abstract

The price of a **stamping tool** clearly depends on its size and complexity but a reasonable estimate would average 150 000 Euros, which means that the price of a complete set of tools for a new car is between 70 and 150 million Euros. In Europe there are 14 automakers, releasing a total of about 10 new models a year. Thus we come to an estimated one billion Euros invested each year, only in the manufacture of stamping tools, the automotive industry (value close to 1% of Portuguese PI, that around 130 billion Euros [INE 2005]). These values are not considered the **study and tools project**, which also represent important costs but are more difficult to account. Finally, bearing in mind that the above costs are a small fraction of production value that these tools produce, we realize the greatness of the numbers involved.

The second example is the economic importance of the sector in Germany. In this country, the automotive industry is a key element in the respective economy, represents a business volume of 184 billion Euros (about 1.6 times the Portuguese PIB) and a direct workforce of 755,000 people. One in seven jobs in this country are directly or indirectly related to the production, sale and use of motor vehicles [Maderner 2001].

The automotive industry has taken a leading role in several areas of knowledge that is turned on and has been a strong driving force of research and development in this sector. Having a key influence on industrial development in the XX century [Flege 2001], continues to represent the beginning of the XXI century **state of the art** in the knowledge fields associated with them, including the **Technology Drawing**.

The leading position of this industry and the fact that it represents the state of the art stamping technology are the reasons to use it as a reference in this report by addressing new trends of this technology, as well as some of the objectives to be achieved, which necessarily go the use of **new materials**, the use of **new forming methods** and also the adoption of **numerical simulation** and **virtual reality**.

Keywords: Stamping Tool, study and tools project, state of the art, Technology Drawing, new materials, new forming methods, numerical simulation and virtual reality

Agradecimentos

Desejo apresentar os meus agradecimentos a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização do presente relatório.

Ao Professor Doutor João Miguel Maia Carrapichano, orientador de estágio, um agradecimento especial pelos conhecimentos transmitidos, pelo seu apoio sempre disponível, bem como pela preciosa e sempre disponibilidade para orientação e colaboração.

Em geral ao Grupo Kirchhoff Automotive por me dar a oportunidade de fazer parte de si e como consequência ser o ponto de alavancagem para eu poder evoluir fortemente ao nível técnico na área da estampagem para a indústria automóvel.

Há minha família todo o apoio e encorajamento prestado, sem os quais teria sido difícil concluir esta etapa.

Índice

Resumo	iii
Abstract	iv
Agradecimentos	v
Índice	vi
Nomenclatura	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiv
Lista de Equações	xv
1 Introdução	xvi
2 Princípios Básicos para a Conformação Metálica	1
2.1 Métodos de conformação e tecnologias de conformação de metal	1
2.1.1 Sumário	1
2.1.2 Processos de Produção Utilizadas no Domínio da Tecnologia da Conformação Metálica	2
2.2 Conformação	3
2.2.1 Conformação em condições de compressão	3
2.2.1.1 Conformação com matriz aberta	3
2.2.1.2 Conformação com matriz fechada	3
2.2.1.3 Cunhagem	4
2.2.1.4 Conformação utilizando pressão através de um orifício	4
2.2.2 Conformação sob combinação de condições de compressão e tração	5
2.2.2.1 Estampagem Profunda	5
2.2.2.2 Flanges	7
2.2.2.3 Fiação de metal	7
2.2.2.4 Abaulamento da peça	8
2.2.3 Conformação em condições de tração	8
2.2.3.1 Extensão por alongamento	8
2.2.3.2 Expansão	8
2.2.3.3 Conformação por estiramento	9

2.2.4	Conformação através do processo de dobra	9
2.2.4.1	Dobra com movimento linear da matriz	9
2.2.4.2	Dobra com matriz de movimento rotativo	10
2.2.4.3	Dobra rotativa com suporte	11
2.2.4.4	Dobra circular	11
2.2.5	Conformação sob condições de cisalhamento	12
2.2.5.1	Conformação com deslocamento de material	12
2.2.5.2	Torção	12
2.3	Separação	13
2.3.1	Corte	13
2.3.1.1	Corte por cisalhamento	13
2.3.1.2	Corte fino	13
2.3.1.3	Corte por ação de cunha	14
2.4	Combinação de processos de fabrico (juntar elementos em chapa)	14
2.5	Termos básicos	16
2.5.1	Condição de fluxo e curva de fluxo	16
2.5.2	Deformação e fluxo de material	17
2.5.3	Força e trabalho	19
2.5.4	Moldabilidade	21
2.5.5	Processo de Corte	21
2.5.6	Processo de Dobra	29
2.6	Ferramentas para o processo de estampagem	34
2.6.1	Classificação das ferramentas	34
2.6.1.1	Ferramentas <i>Transfer</i>	36
2.6.1.2	Ferramentas Progressivas	36
2.6.2	Desenvolvimento de Ferramentas Estampagem	38
2.6.2.1	Ciclo de tempo para produção em massa de um elemento estrutural automóvel	38
2.6.2.2	Calendário de um projeto com Engenharia Simultânea	39
2.6.2.3	Dados e Desenho da Peça	40
2.6.2.4	Métodos e Processo de Simulação	40
2.6.2.5	<i>Layout</i> do Processo e Desenvolvimento dos elementos de estampagem	42
2.6.2.6	Desenvolvimento da Ferramenta	43
2.6.2.7	Montagem e <i>Try-Out</i> no Fabricante da Ferramenta	47
2.6.2.8	<i>Try-Out</i> Linha Final de Produção e Aprovação da Ferramenta	50
3	Conclusões	52
4	Trabalho futuro	53

Nomenclatura

Letras e símbolos

α	Angulo [°]
α_1	Angulo requerido de dobra [°]
α_2	Angulo necessário de dobra [°]
β	Angulo de abertura da peça [°]
ε	Alongamento
η	Eficiência [%]
μ	Coeficiente de atrito
σ	Tensão [N/mm^2]
$\dot{\phi}$	Rácio de deformação [N/mm^2]
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	Deformação em várias direções
A	Superfície [mm^2]
b_s	Passo da banda [mm]
D	Diâmetro [mm]
E	Modulo de Elasticidade
F	Força [kN]
F_s	Força exercida pela punção [kN]
H	Espessura de uma placa [mm]
K	Fator de correção
K_f	Fluxo de tenção
R_i	Raio externo contorno externo [mm]
r_{i1}	Raio interno da matriz [mm]
r_{i2}	Raio interno da peça [mm]

R_M	Resistência á tração do material [N/mm^2]
S	Espessura do material [mm]
T	passo [mm]
μ	Folga de corte [mm]
U	Velocidade de trabalho da prensa [<i>strokes</i> /min]
W	Largura da matriz [mm]
W_B	Trabalho de dobra [Nm, kNm]
X	Fator de correção

Lista de Figuras

Figura 1- Classificação dos processos de produção usados na Conformação (de acordo com a Norma DIN8582)	2
Figura 2 – Conformação com Matriz Aberta (Schuler GmbH)	3
Figura 3 – Conformação com Matriz Aberta (Schuler GmbH)	4
Figura 4 – Operação de Cunhagem (Schuler GmbH)	4
Figura 5 – Extrusão Livre de Veios (Schuler GmbH)	5
Figura 6 - Extrusão Invertida (Schuler GmbH)	5
Figura 7- Conformação sob condições de tração e compressão (Schuler GmbH)	5
Figura 8 - Estampagem Profunda Singular (Schuler GmbH)	6
Figura 9 – Re - estampagem Profunda com Punção Telescópico (Schuler GmbH)	6
Figura 10 - Estampagem Inversa (Schuler GmbH).....	6
Figura 11 - Estampagem Hidrodinâmica (Schuler GmbH).....	6
Figura 12 - Processo de para execução de Flanges (Schuler GmbH)	7
Figura 13- Fiação de Metal (Schuler GmbH)	7
Figura 14 - Abaulamento da peça (Schuler GmbH).....	8
Figura 15 – Expansão da peça (Schuler GmbH).....	8
Figura 16 – Estiramento Profundo (Schuler GmbH).....	9
Figura 17 – Gravação da Peça (Pequenas dimensões quando comparado com a peça) (Schuler GmbH)	9
Figura 18 – Dobra com Matriz de Movimento Linear (Schuler GmbH).....	10
Figura 19 – Dobra com matriz de Movimento Rotativo (Schuler GmbH)	10
Figura 20 – Panificador por Rolos (Schuler GmbH)	10
Figura 21 – Conformação por Rolos (Schuler GmbH)	11
Figura 22 – Dobra Rotativa com Suporte (Schuler GmbH)	11
Figura 23 – Dobra Pura (OLAF Diegel, Complete Design Services, July 2002)	11
Figura 24 – Dobra Rotativa (OLAF Diegel, Complete Design Services, July 2002)	11
Figura 25 – Dobra Circular (Schuler GmbH)	12
Figura 26 – Exemplos de processos de dobra com vários passos (OLAF Diegel, Complete Design Services, July 2002)	12
Figura 27 – Conformação em condições de Cisalhamento (Schuler GmbH)	12
Figura 28 – Torção (Schuler GmbH)	13
Figura 29 – Corte por tesoura e por punção/matriz (Schuler GmbH).....	13
Figura 30 – Corte Fino (Schuler GmbH).....	14
Figura 31 – Corte por ação de cunha (Schuler GmbH).....	14
Figura 32 – Combinação de processos de fabrico (Schuler GmbH)	15
Figura 33 – Junção por corte e por conformação da dobra (Schuler GmbH)	16
Figura 34 – Alterações dimensionais de um cubo sem atrito (Lange, K 1984)	18
Figura 35 – Curvas que demonstram a deformação específica para diferentes materiais (Schuler GmbH)	20
Figura 36 – Fases do Processo de Corte (Schuler GmbH)	22

Figura 37 – Curva Força – Tempo para a operação de Corte na Estampagem (Schuler GmbH).....	22
Figura 38 – Resultado Trabalho da Furação na Estampagem (Schuler GmbH).....	23
Figura 39 – Exemplo de Layout de bandas favoráveis á poupança de matéria-prima (Schuler GmbH).....	23
Figura 40 – Utilização da “sucata” de uma peça para produção de outra (Schuler GmbH)	23
Figura 41 – Layout da banda com as peças “Top-to-Tail” (Schuler GmbH)	24
Figura 42 – Utilização da peça “b” produzida com a sucata da peça principal “a” na montagem “c” (Schuler GmbH)	24
Figura 43 – Utilização de apenas uma peça ou múltiplas peças organizadas na banda (fator rendimento ηA em %) (Schuler GmbH)	24
Figura 44 – Definições da banda: d > Diâmetro furo; a > Largura da ligação; b > Distancia mínima entre peças; i > Sucata lateral da banda; I_e > Largura da peça; I_a > Comprimento da peça; bs > Largura da banda; L > Comprimento da banda; t > Passo (alimentação); (Lange, K 1984)	25
Figura 45 – Diferentes formas de Punções e Matrizes de Corte (h = diferença em altura) (Schuler GmbH)	27
Figura 46 – Redução da força de corte com a inclinação da forma do punção (Schuler GmbH).....	28
Figura 47 – Dimensões (para a furação e corte) do punção e matriz (Schuler GmbH).....	28
Figura 48 – Dimensões de uma Peça em forma de disco e do respetivo punção e matriz (Schuler GmbH)	29
Figura 49 – Recuperação elástica após a dobra: s > Espessura do material; α_1 > Angulo necessário de flexão; α_2 > Angulo desejado na dobra da peça; R_{i1} > Diâmetro do raio interior da matriz; R_{i2} > Diâmetro do raio interior da peça; (Schuler GmbH)	31
Figura 50 – Deformação da secção transversão durante a dobra (Schuler GmbH).....	32
Figura 51 – Geometria da dobra (Schuler GmbH).....	32
Figura 52 – Processo de dobra em V (Schuler GmbH)	33
Figura 53 – Exemplo ferramenta trabsfere para estampagem de metal (Kirchhoff Automotive Portugal).....	34
Figura 54 – Etapas de conformação para um cárter de motor (Kirchhoff Automotive Portugal)	35
Figura 55 – Ferramenta Transfere para estampagem duas peças em simultâneo (Kirchhoff Automotive Portugal).....	35
Figura 56 – a > Ferramenta <i>Transfer</i> ; b > <i>Layout</i> Banda + Sistema <i>Transfer</i> (Kirchhoff Automotive Portugal).....	36
Figura 57 – Ferramenta progressiva de Corte (Kirchhoff Automotive Portugal)	36
Figura 58 – a) <i>Layout</i> de banda de uma ferramenta progressiva; b) <i>Layout</i> otimizado da mesma banda de uma ferramenta progressiva (Schuler GmbH)	37
Figura 59 – ESQ: Reforço (esquerdo e direito) estrutural de um veículo produzido por uma ferramenta progressiva composta. (Kirchhoff Automotive Portugal)	37
Figura 60 – Layout de banda de uma ferramenta Progressiva Composta (Kirchhoff Automotive Portugal).....	38
Figura 61 – Planeamento Geral para implementação de produção em massa de um elemento estrutural automóvel. (Wilson Nogueira, 2014)	39
Figura 62 – Exemplo 3D e 2D de duas peças e serem produzidas para a indústria automóvel (Kirchhoff Automotive Portugal).....	40
Figura 63 – Simulação para a conformação da peça (a e b > Simulação enrugamento durante conformação; c > Simulação da espessura mínima do material após estampagem; d > Tendências ao	

nível de qualidade da peça; e e f > Simulação do <i>Springback</i> para o eixo X e Y) (Kirchhoff Automotive Portugal).....	41
Figura 64 – <i>Layout</i> de Banda de uma ferramenta transfere. (Kirchhoff Automotive Portugal)	42
Figura 65 – Ponto de interceção entre Cortes de uma peça. (Kirchhoff Automotive Portugal).....	42
Figura 66 – <i>Design</i> básico entre ferramentas com efeito simples e duplo (Schuler GmbH)	44
Figura 67 – Melhoria para o posicionamento da peça por meio de movimento giratório na operação de dobra (Schuler GmbH).....	45
Figura 68 - Ferramenta montada na prensa durante ensaio dinâmico (Kirchhoff Automotive Portugal)	47
Figura 69 – Plano de ações aberto durante os testes da ferramenta no construtor (Kirchhoff Automotive Portugal).....	49
Figura 70 – Exemplo de relatórios dimensionais apresentados por um fornecedor durante o “Buy-Off” de determinada ferramenta (Kirchhoff Automotive Portugal).....	49
Figura 71 – a> Banda pintada após teste da qualidade da pressão exercida pelos punções e matrizes na estampagem e calibração da peça; b> Elementos de estampagem pintados após verificação da qualidade da pressão exercida com resultado negativo (Kirchhoff Automotive Portugal)	50
Figura 72 – Ferramenta “aberta” parte superior e inferior durante ensaio estático no construtor da ferramenta (Kirchhoff Automotive Portugal).....	50

Lista de Tabelas

Tabela 1- Larguras de Banda e das ligações de acordo com a norma VDI 3367 (7.70)	25
Tabela 2- Raio mínimo de dobra <i>r_{imin}</i> para determinados ângulos até 120° desejados para a peça (de acordo com a norma VDI3367 (7.70)).....	30
Tabela 3- Fatores de springback <i>K_R</i> (de acordo com a norma VDI 3367 (7.70))	31

Lista de Equações

Equação 1- Fluxo de tensão (Lange, K 1984).....	17
Equação 2 – Fluxo de tensão (Lange, K 1984)	17
Equação 3 – Deformação ou Tensão logarítmica (Lange, K 1984).....	18
Equação 4 – Deformação elástica (Lange, K 1984)	18
Equação 5 – Deformação em um dos eixos principais (Lange, K 1984)	18
Equação 6 – Soma das deformações principais de um sólido (Lange, K 1984).....	18
Equação 7 – Maior deformação principal de um sólido (Lange, K 1984).....	18
Equação 8 – Taxa de deformação (Lange, K 1984)	19
Equação 9 – Taxa de deformação (Lange, K 1984)	19
Equação 10 – Tensão média (Lange, K 1984).....	19
Equação 11 – Força necessária para operações de conformação (Lange, K 1984)	19
Equação 12 – Eficiência da deformação (Lange, K 1984).....	20
Equação 13 – Forças de conformação indiretas (Lange, K 1984).....	20
Equação 14 – Trabalho de deformação (Lange, K 1984).....	20
Equação 15 – Trabalho de deformação total (Lange, K 1984)	21
Equação 16 – Pressão hidrostática exercida durante a operação de conformação (Lange, K 1984) ...	21
Equação 17 – Eficiência da utilização de material da banda (Lange, K 1984).....	25
Equação 18 – Eficiência da utilização de material da banda (Lange, K 1984).....	26
Equação 19 – Largura de banda (Lange, K 1984)	26
Equação 20 – Passo (Lange, K 1984)	26
Equação 21 – Força de corte com contorno de corte fechado (Lange, K 1984)	26
Equação 22 – Resistência de cisalhamento (Lange, K 1984).....	26
Equação 23 – Trabalho da força de corte (Lange, K 1984).....	28
Equação 24 – Trabalho da força de corte (Lange, K 1984).....	28
Equação 25 – Fator de <i>Springback</i> (Lange, K 1984)	31
Equação 26 – Angulo necessário para a matriz da dobra (Lange, K 1984)	31
Equação 27 – Angulo interior da matriz (Lange, K 1984).....	31
Equação 28 – Comprimento da banda para dobra (Lange, K 1984)	32
Equação 29 – Calculo do fator de compensação v para o processo de dobra (Lange, K 1984).....	33
Equação 30 – Comprimento L do processo de dobra em V (Lange, K 1984)	33
Equação 31 – Força de dobragem no processo em V (Lange, K 1984)	33
Equação 32 – Trabalho para a dobra em V (Lange, K 1984)	33

1 Introdução

Os processos tecnológicos de conformação dos metais por deformação plástica caracterizam-se pela capacidade de obtenção de peças mecânicas com cadências de produção elevadas e pela utilização praticamente integral da matéria-prima posta em jogo, permitindo a obtenção da forma final ou quase final do produto (“*near-netshape-technology*”). É, aliás, a sua capacidade para altas cadências que faz com que este tipo de processo seja especialmente adequado para a produção de componentes em larga escala.

Dentro dos processos anteriores podemos encontrar dois grandes grupos:

- Processos como o forjamento, a laminagem, o estiramento, etc., considerados como processos de conformação plástica em massa (“*bulk metal forming*”);
- Processos como a quinagem e a conformação, em que os componentes ou produtos são obtidos a partir da deformação plástica de chapas metálicas (“*sheet metal forming*”);

Neste trabalho iremos dedicar-nos em exclusivo ao Processo Relacionado com as Tecnologias de Corte e Conformação, que, como veremos, merece só por si uma atenção especial e um tratamento diferenciado, devido à sua importância e complexidades específicas.

A Conformação é uma técnica que utiliza a deformação plástica que consiste na obtenção de peças mecânicas de superfície não gerada ou não planificável, a partir de chapas metálicas previamente cortadas. A deformação plástica imposta à chapa, necessária para obtermos a forma final desejada, é conseguida através de uso de uma ferramenta específica. Por sua vez, a ferramenta é montada numa prensa, que lhe transmite o movimento linear alternativo, necessário ao funcionamento deste processo.

Um dos principais utilizadores da Tecnologia de Conformação é a indústria automóvel, responsável por grandes volumes de produção, e por uma grande variedade de componentes embutidos. No entanto, esta tecnologia aplica-se em muitos outros campos, como a indústria de eletrodomésticos, a indústria de elementos domésticos e decorativos, a indústria elétrica e eletrónica, a indústria de utensílios alimentares, a indústria aeronáutica e aeroespacial, a indústria naval, a indústria relojoeira, etc.

A importância económica do sector é grande e a sua ligação à indústria automóvel permite dizer que o sector representa um grande peso na economia dos países desenvolvidos. Para termos uma ordem de grandeza deste peso podemos referir dois exemplos.

O primeiro diz respeito aos custos relacionados com a produção das ferramentas de produção na indústria automóvel. O número de componentes de grandes dimensões num veículo automóvel (portas, guarda-lamas, teto, chão, longarinas, pilares, etc.) varia entre 100 e 200, consoante o número de diferentes versões a produzir [3DS 2001]. Por sua vez, cada componente é obtido usando sucessivamente diferentes ferramentas em diferentes prensas, em média cerca de 4 a 5 ferramentas por componente.

2 Princípios Básicos para a Conformação Metálica

2.1 Métodos de conformação e tecnologias de conformação de metal

2.1.1 Sumário

De acordo com a norma *DIN8580*, os processos de fabrico são classificados em seis grupos principais: (Fig.1).

Formação Primária

É a criação de uma forma inicial a partir de um material fundido, material em estado sólido ou gasoso;

Corte

É a separação do material em vários elementos;

Junção

É a criação de um conjunto com recurso a várias peças individuais de forma a serem criados subconjuntos;

Revestimento

É aplicação de camadas finas sobre os componentes, por exemplo, a galvanização e pintura;

Modificação das Propriedades do Material

Técnica utilizada para alterar as características do material de uma peça para atingir determinadas propriedades úteis ao processo ou á sua funcionalidade como produto.

Estas modificações incluem o tratamento através de processos utilizando calor, tais como por exemplo o endurecimento, recozimento ou recristalização;

6 - Conformação:

Esta tecnologia é o tema principal deste trabalho - é definido pela norma DIN 8580 como a produção tridimensional ou modificação plástica de uma determinada forma física, retendo a sua massa e coesão do respetivo material. Em contraste à deformação, conformação é a modificação controlada da geometria de determinado elemento em processamento;

Na prática, a área da "tecnologia de conformação" inclui não apenas a principal categoria de conformação mas também subtópicos, o mais importante são o Corte e

Junção através da Conformação. Combinações com outros processos de fabrico, como por exemplo a fundição também são utilizados.

2.1.2 Processos de Produção Utilizadas no Domínio da Tecnologia da Conformação Metálica

As técnicas de conformação são classificadas também de acordo com a norma *DIN 8582* dependendo da direção principal da tensão aplicada no processo (Fig. 2):

- 1 - Conformação sob condições de compressão;
- 2 - Conformação sob condições de compressão e tração combinadas entre si;
- 3 - Conformação sob condições de tração;
- 4 - Conformação utilizando a dobragem;
- 5 - Conformação sob condições de cisalhamento;
- 6 - Cisalhamento através do processo de conformação (Processo não pertencente á raiz da conformação);
- 7 - Junção através do processo de conformação (Processo não pertencente á raiz da conformação);

A norma *DIN* diferencia entre 17 processos de Conformação distintas entre si de acordo com o movimento relativo entre a matriz e a peça a processar, a geometria da ferramenta e a geometria da peça (Fig. 2).

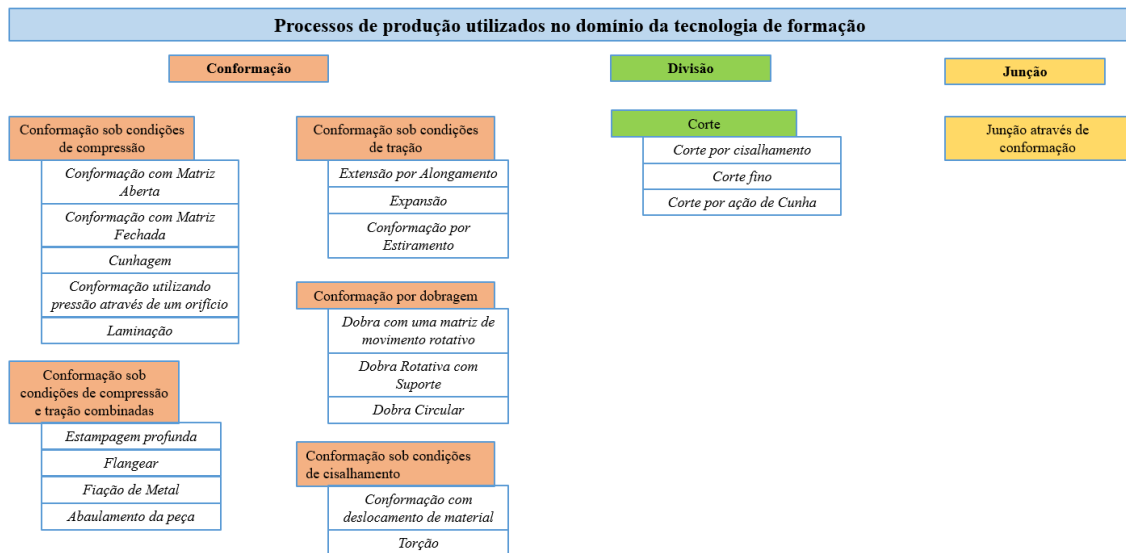


Figura 1- Classificação dos processos de produção usados na Conformação (de acordo com a Norma *DIN8582*)

2.2 Conformação

2.2.1 Conformação em condições de compressão

Barras e tarugos são transformados para produtos semiacabados através da laminagem. Com o objetivo de manter as forças de rolamento necessárias num valor mínimo possível, a conformação é realizada inicialmente utilizando alta temperatura. A estas temperaturas, o material tem elevadas capacidades de se moldar, do género “pastoso”, facilmente consistente e moldável que permite um elevado grau de deformação sem o seu endurecimento. A laminagem a quente pode ser utilizada para produzir material plano necessário para a produção da chapa ou placas para seguidamente ser processada em conformação, mas também para a produção de tubos, fios ou perfis. Se a espessura do material laminado é inferior a um determinado valor mínimo, e onde as requisições impostas particularmente rigorosas ao nível de precisão dimensional e a qualidade da superfície, o processamento é realizado à temperatura ambiente por laminação a frio. Além de laminação de produtos semiacabados, tais como chapa, placas, engrenagens e roscas em peças discretas também podem ser gerados elementos por laminação sob condições de tensão de compressão.

2.2.1.1 Conformação com matriz aberta

É o termo usado para conformação sob compressão com o uso de ferramentas que se movem com direção uma da outra e que não estão em conformidade, quer no todo ou apenas parcialmente com a forma da peça em processamento.

A forma da peça é criada pela realização de um movimento relativo livre entre a peça e a ferramenta semelhante ao utilizado no martelo no processo de forjamento (Fig. 2).

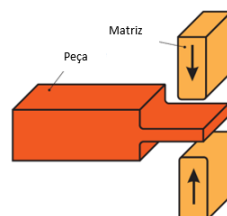


Figura 2 – Conformação com Matriz Aberta (Schuler GmbH)

2.2.1.2 Conformação com matriz fechada

É um processo de conformação por compressão, onde o elemento em processamento é moldado por ferramentas (punção e matriz) onde estes se movem em direções contrárias, pelo que a matriz contém a forma total da peça (ou a grande parte) para criar uma forma final (Fig. 3). Esta técnica é muito usada para calibração de zonas chamadas de “RPS”, local onde é realizado o posicionamento da peça quando medida ou controlada num gabarit de controlo de qualidade com o objetivo de ser uma zona bem planificada.

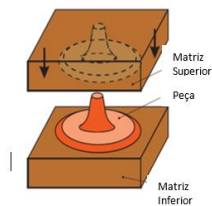


Figura 3 – Conformação com Matriz Aberta (Schuler GmbH)

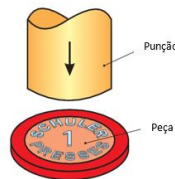


Figura 4 – Operação de Cunhagem (Schuler GmbH)

2.2.1.3 Cunhagem

É a conformação por compressão, usa um molde que penetra localmente a peça a processar. Uma das principais aplicações em que o este processo de estampagem é usado é no fabrico de moedas e medalhões, na indústria automóvel é usado praticamente em todas as peças na sua identificação e informação relativa ao lote ou data de produção (Fig.4).

2.2.1.4 Conformação utilizando pressão através de um orifício

É uma técnica que envolve a completa ou parcial prensagem de um material por meio de uma fieira ou matriz para obter uma secção transversal ou um diâmetro reduzido na peça ou da peça completa. Um diâmetro reduzido quando comparado com a restante dimensão da peça é também muito utilizado em peças estampadas para industria automóvel como por exemplo para terem a função de pontos de contato para processos seguintes como a soldadura.

Durante a *extrusão livre*, o punção é parcialmente reduzido, sem prejudicar ou abaular a área não conformada da peça a processar (Fig. 5). Extrusão livre de corpos ocos ou calibração por extrusão livre envolve a redução parcial do diâmetro de um corpo oco, como por exemplo, um copo, uma lata ou tubo, através do qual um recipiente da extrusão pode variar, dependendo da espessura da parede da peça.

Na *extrusão de produtos semiacabados* um tarugo aquecido é colocado numa caixa e empurrado através de uma abertura da matriz para produzir um elemento extrudido sólido ou oco com a secção transversal desejada.

Extrusão a frio de peças discretas envolve a conformação localizada da peça a trabalhar entre as seções de uma matriz, como por exemplo, uma chapa. Em contraste com a *extrusão livre*, são possíveis maiores deformações com uso do método de *extrusão a frio*.

A extrusão é usada para o fabrico de artigos semiacabados, tais como perfis longos com seções transversais constantes. *Extrusão a frio* é utilizada para produzir componentes individuais, como por exemplo engrenagens ou veios. Em ambos os métodos, a conformação ocorre com o uso de matrizes rígidas ou com elementos intermédios. De referir que a diferença desta deformação é o facto de ser realizada em função do sentido do fluxo de material relativo ao movimento do punção - ou seja, para frente, para trás ou lateralmente – é possível fabricar formas sólidas ou ocas. Baseado na combinação destas funcionalidades diferenciadoras, em conformidade com a norma *DIN8583/6* um total de 17 processos existem para a extrusão. Um exemplo de um método de fabricação

de latas ou copos feitos a partir de um lingote sólido utilizando o processo de extrusão invertida (Fig.6)

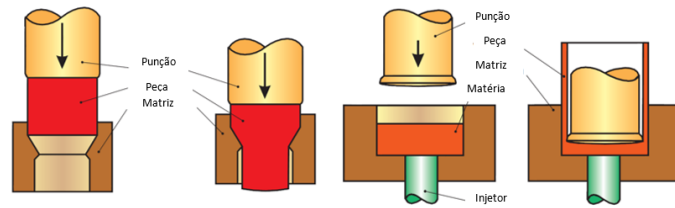


Figura 5 – Extrusão Livre de Veios (Schuler GmbH)

Figura 6 - Extrusão Invertida (Schuler GmbH)

2.2.2 Conformação sob combinação de condições de compressão e tração

Neste processo a forma é realizada sob condições de compressão e tração envolvendo uma longa peça através de uma abertura da matriz com dimensão reduzida. A subcategoria com mais significativo é a conformação de tiras. Isto envolve o “*drawing*” da peça através de uma ferramenta de “desenho fechado” que é fixa na direção da conformação. Isto permite o fabrico de formas maciças ou ocas. Este processo envolve a redução da espessura da chapa para copos ocas profundos estirados ou extrudidos, e tem ainda o efeito de minimizar a entrada de material, particularmente para recipientes de pressão, sem alterar as dimensões da lata inferior (Fig.7).

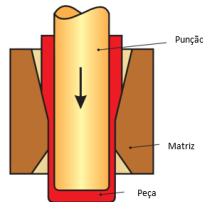


Figura 7- Conformação sob condições de tração e compressão (Schuler GmbH)

2.2.2.1 Estampagem Profunda

É um método de conformação sob compressão e tração, reunidas as condições em que uma utilizando uma chapa em bruto é transformada em uma cavidade, similar a um copo sem qualquer intenção de alterar a espessura da chapa. Com recurso á *técnica de estampagem profunda singular*, é possível produzir uma peça extraída de uma chapa com um único curso de trabalho na prensa (Fig. 8).

No caso de grandes deformações, o processo de conformação é realizada por *meios de reestampagem profunda*, utilizando geralmente mais do que uma operação. Isto pode ser realizado no mesmo sentido com recurso a um punção telescópico (Fig. 9) ou por *meio de estampagem inversa*, que envolve um segundo punção a atuar em sentido oposto ao movimento do punção da operação de estampagem profunda referido anteriormente (Fig.10)

A variante mais significativa da estampagem profunda é feita utilizando uma ferramenta rígida (Fig. 8). Este contempla o punção, a matriz e o pisador, este último destina-se a

evitar a formação de rugas e fissuras quando o metal é deformado para o interior da matriz. Em casos especiais, o punção ou matriz também pode ser feito de um material macio.

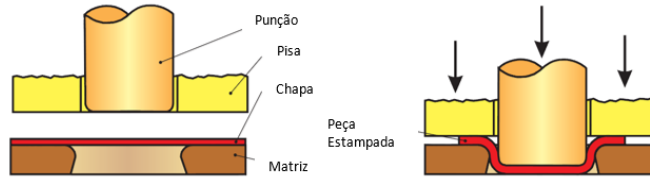


Figura 8 - Estampagem Profunda Singular (Schuler GmbH)

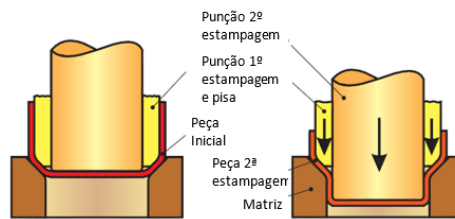


Figura 9 – Re - estampagem Profunda com Punção Telescópico (Schuler GmbH)

Existem métodos de estampagem profundos que utilizam meios de ação intermédios, estampagem de uma peça numa matriz rígida através da ação de um interface. Interface esses que são ativos e incluem substâncias sólidas sem forma, como areia ou bolas de aço, fluidos (óleo, água) e gases, em que o trabalho de conformação é realizado por uma prensa que utiliza um método semelhante ao utilizado em ferramentas rígidas. O maior campo de aplicação desta técnica é no processo de *estampagem hidromecânica*, como por exemplo, para o fabrico de componentes de aço inoxidável, assim como por exemplo material DP1000 ou MSW1200 (Fig. 11).

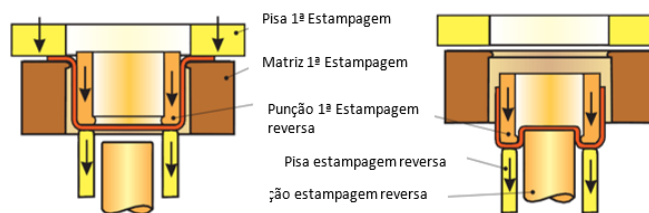


Figura 10 - Estampagem Inversa (Schuler GmbH)



Figura 11 - Estampagem Hidrodinâmica (Schuler GmbH)

2.2.2.2 Flanges

É um método de conformação que utiliza a combinação de tensões de compressão e tração com um punção e uma matriz para produzir flanges (Fig. 12). Os furos podem estar no plano de banda ou mesmo em superfícies curvas. Os flanges são muitas vezes fornecidos já com roscado produzido para a efeitos de montagem em processos seguintes. Existem sistemas mecânicos específicos e *standard* que podem ser montados na ferramenta de estampagem em um dos passos seguintes ao de execução da flange de tal forma que a peça é extraída da ferramenta já com a rosca feita e pronta e ser utilizada em processos de montagem seguintes.

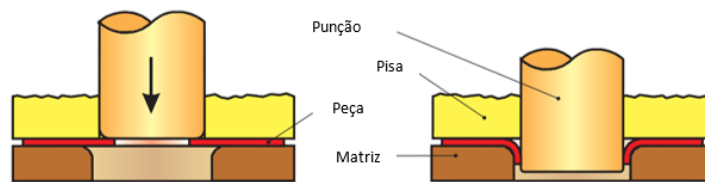


Figura 12 - Processo de para execução de Flanges (Schuler GmbH)

2.2.2.3 Fiação de metal

É um método de conformação combinado entre compressão e tração utilizado para transformar uma banda de metal dentro de um corpo oco ou para alterar a periferia de um corpo oco. Um dos componentes da ferramenta, mandril rotativo, contém a forma do interior da peça a processar e tem o movimento rotativo solidário com a peça e está posicionado no interior desta, enquanto a ferramenta de transformação da forma propriamente dita se envolve com a peça apenas localmente (Fig. 13). Em contraste com outro tipo de conformação, a intenção deste processo está em não alterar a espessura da matéria-prima durante o processo de transformação. Este tipo de processo é utilizado para produção de componentes metálicos muito específicos assim como por exemplo os suportes de amortecedores para a indústria automóvel que devido á sua complexa forma circular e “fechada” aliada ao facto de ser sempre um elemento de segurança, muitas das vezes é produzida com recurso a este tipo de processo.

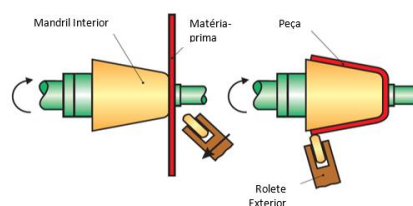


Figura 13- Fiação de Metal (Schuler GmbH)

2.2.2.4 Abaulamento da peça

É um método combinado de conformação que utiliza tensões compressivas para a expansão localizada ou de um modo geral a redução do comprimento da peça criando uma forma tubular na sua extremidade. As forças de pressão exercidas na direção longitudinal da peça resultam no abaulamento desta para o seu exterior, para dentro ou para a direção exterior (Fig. 14).

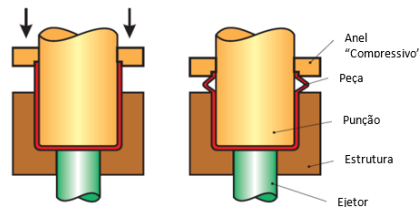


Figura 14 - Abaulamento da peça (Schuler GmbH)

2.2.3 Conformação em condições de tração

2.2.3.1 Extensão por alongamento

É um método de conformação realizado por meio de uma força de tração aplicada ao longo do eixo longitudinal da peça a conformar. Este tipo de conformação é utilizado para aumentar a dimensão da peça na direção da aplicação da força, como por exemplo, para calibrar o comprimento. O teste de tensão também é um processo de estiramento puro. Endireitar através do alongamento do material é um processo de extensão para endireitar barras e tubos, bem como a eliminação de mossas em peças de chapa metálica.

2.2.3.2 Expansão

É uma deformação por estiramento para ampliar a periferia de uma peça oca (Fig. 15).

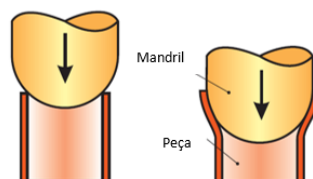


Figura 15 – Expansão da peça (Schuler GmbH)

2.2.3.3 Conformação por estiramento

É um método de deformação por tensão/tração utilizados para conferir “impressões” ou cavidades na peça em metal planificada ou convexa, em que a sua superfície alarga - em contraste com a estampagem profunda - é conseguida através da redução da espessura do material.

O elemento mais importante da *Conformação por Estiramento* é uma matriz rígida que vai provocar a conformação descrita. Este tipo de processo também inclui o *Estiramento Profundo* e o “*embossing*”.

Estiramento Profundo é a criação de uma impressão numa chapa de metal também com recurso a um punção rígido, a peça é fixa firmemente no seu rebordo externo (Fig. 16). A gravação em relevo é o processo para criação de uma “impressão” com recurso a um punção numa ferramenta (por exemplo) de montagem, esta gravação tem pequenas dimensões quando em comparação com a dimensão global da peça a processar (Fig. 17).

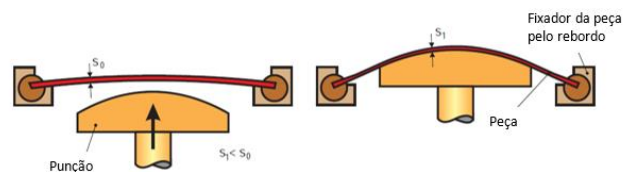


Figura 16 – Estiramento Profundo (Schuler GmbH)

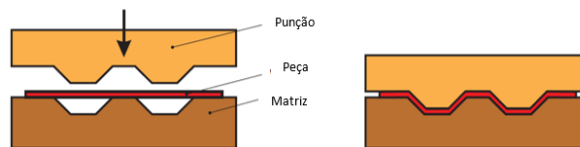


Figura 17 – Gravação da Peça (Pequenas dimensões quando comparado com a peça) (Schuler GmbH)

2.2.4 Conformação através do processo de dobra

2.2.4.1 Dobra com movimento linear da matriz

Neste caso a matriz que realiza o efeito da dobra tem um deslocamento apenas em linha reta. A parte do processo mais importante nesta subcategoria é a matriz, a forma da peça é realizada pela sua geometria e pela recuperação elástica após a conformação (Fig. 18). A matriz da dobra pode ter uma combinação com uma “cunhagem” num golpe apenas. A matriz de cunhagem restabelece a dobra de forma a aliviar tensões, por exemplo, a fim de diminuir a magnitude do impulso de recuo após a dobra (*Springback*).

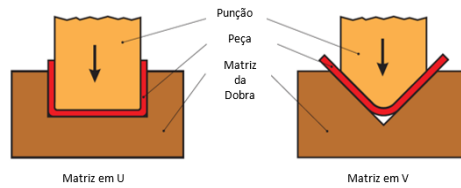


Figura 18 – Dobra com Matriz de Movimento Linear (Schuler GmbH)

2.2.4.2 Dobra com matriz de movimento rotativo

Esta tipologia de processo muito comum inclui um ou mais rolos para realizar a dobra e utiliza um suporte para a peça em processamento. Durante o enrolamento, o momento da dobra é aplicado por meio de laminagem. Este processo é possível utilizar para o fabrico de peças cilíndricas ou cónicas (Fig. 19). O processo de dobra através de rolo também inclui o seu endireitado para eliminar indesejáveis deformações no metal, fios, barras ou tubos que podem influenciar processos seguintes como é o exemplo da estampagem em geral que após a desenrolador de uma bonina em processamento existe sempre um planificador antes do alimentador e da prensa em si que usa esta tecnologia (Fig. 20) assim como em outros tipos de processos são usados para fazer ondulações na matéria-prima (Fig. 21).

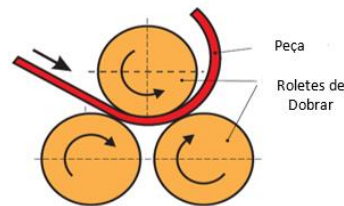


Figura 19 – Dobra com matriz de Movimento Rotativo (Schuler GmbH)

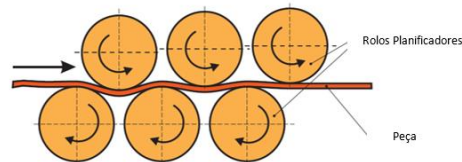


Figura 20 – Planificador por Rolos (Schuler GmbH)

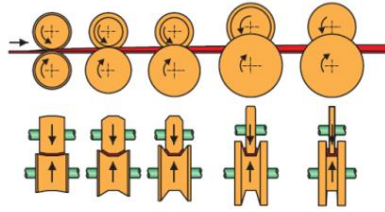


Figura 21 – Conformação por Rolos (Schuler GmbH)

2.2.4.3 Dobra rotativa com suporte

Este processo consiste em dobrar uma peça com recurso ao uso um suporte na ferramenta normalmente chamado de almofada posicionada no elemento superior e uma matriz no elemento inferior que constitui a parte circundante da aresta da superfície a dobrar normalmente com um ângulo reto bem definido para dar a respetiva forma da peça (Fig. 22, 23 e 24).

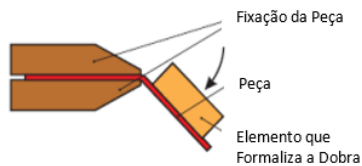


Figura 22 – Dobra Rotativa com Suporte (Schuler GmbH)
Design Services, July 2002)

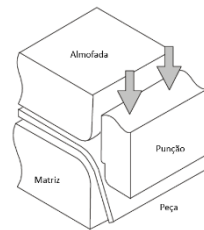


Figura 23 – Dobra Pura (OLAF Diegel, Complete Design Services, July 2002)

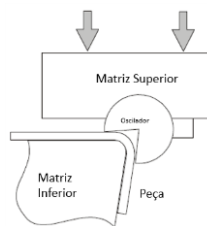


Figura 24 – Dobra Rotativa (OLAF Diegel, Complete Design Services, July 2002)

2.2.4.4 Dobra circular

É um processo contínuo de dobragem que avança na direção da haste utilizando uma tira, um perfil, um fio ou mesmo tubos (Fig. 25). Dobra Circular com um ângulo maior do que 360 °, é utilizado por exemplo na produção de molas e é chamado de enrolamento.

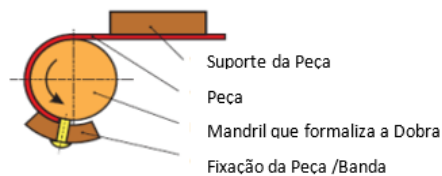


Figura 25 – Dobra Circular (Schuler GmbH)

Alguns exemplos de processo de dobragem com mais do que um passo para formar peças com várias dobras:

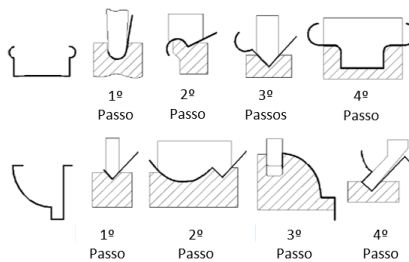


Figura 26 – Exemplos de processos de dobra com vários passos (OLAF Diegel, Complete Design Services, July 2002)

2.2.5 Conformação sob condições de cisalhamento

2.2.5.1 Conformação com deslocamento de material

É um método de conformação em que as secções adjacentes da peça são deslocados em paralelo uma da outra na zona de conformação através de um movimento linear da matriz normalmente no sentido ascendente (Fig. 27). O deslocamento ao longo da aresta de um molde com determinada forma é utilizada por exemplo para o fabrico de saliências para soldadura num processo seguinte assim como a centralização de recortes em componentes de chapa metálica.

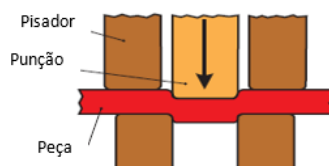


Figura 27 – Conformação em condições de Cisalhamento (Schuler GmbH)

2.2.5.2 Torção

É um método de conformação sob condições de cisalhamento em que as superfícies transversais adjacentes da peça são deslocadas relativamente umas às outras através de um movimento rotativo (Fig.28).

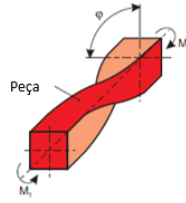


Figura 28 – Torção (Schuler GmbH)

2.3 Separação

2.3.1 Corte

O Corte é o primeiro subgrupo sob o título do processo de separação de elementos, mas geralmente é caracterizado como uma "técnica de conformação", uma vez que é geralmente usado em conjunto com outros processos de produção complementares em uma única ferramenta. De acordo com a definição do termo, a operação de separação tem como significado a mecânica para a separação de peças sem a criação de limalhas. De acordo com a norma *DIN8588*, esta categoria inclui as subcategorias de corte por tesoura, corte por ação de cunha, rasgamento e quebra. Destes, os cortes por cisalhamento são os mais importantes e com maior aplicação na indústria.

2.3.1.1 Corte por cisalhamento

É conhecido na prática como corte “curto” pela sua rapidez e eficácia, trata-se da separação da peça através de duas arestas de corte que se deslocam uma sobre a outra. Durante um único curso de corte, o material é separado ao longo do gume de corte em uma única vez, muitas das vezes da mesma forma como a utilização de uma ferramenta de corte composto.

Em contraste, existe outro tipo de corte chamado de progressivo com múltiplos processos e com vários cursos com o objetivo de diminuir a força necessária da máquina onde pequenas peças residuais são separadas da peça ao longo do gume de corte pretendido (Fig. 29).

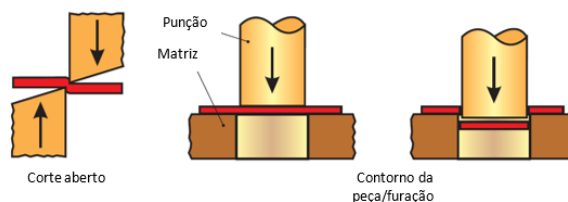


Figura 29 – Corte por tesoura e por punção/matriz (Schuler GmbH)

2.3.1.2 Corte fino

É um método de corte que utiliza um único movimento para realização do corte, utiliza um pisa de suporte da matéria-prima e uma almofada inferior em contrapressão. Assim,

a gerada superfície furada é livre de quaisquer rebarbas ou falhas devido ao rebentamento do material durante o corte em si, este método é frequentemente utilizado para processar furos que vão ter a sua superfície cortada como elemento funcional e em muitas vezes utilizado em peças de segurança automóvel visto que este método como é livre de falhas tem também um incremento de resistência localizada nesta zona comparativamente outra peça igual furada com o método convencional (Fig. 30).

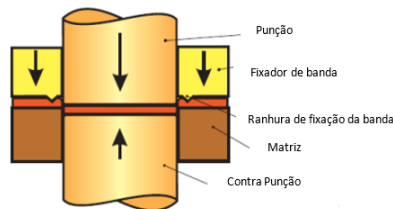


Figura 30 – Corte Fino (Schuler GmbH)

2.3.1.3 Corte por ação de cunha

É geralmente realizada com suporte a um elemento em forma de cunha onde está o gume de corte. A peça é dividida entre a lâmina e uma superfície de apoio. É um método utilizado para dividir uma peça com suporte a duas lâminas em forma de cunha que se deslocam em direção um do outro. (Fig. 31).

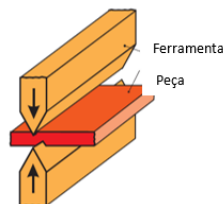


Figura 31 – Corte por ação de cunha (Schuler GmbH)

2.4 Combinação de processos de fabrico (juntar elementos em chapa)

Várias combinações de diferentes processos como conformação, corte e processo de união de elementos foram encontrados e desenvolvidos ao longo de muitos anos.

Estampagem profunda e Estiramento Profundo, por exemplo, assumem um importante papel na indústria de processamento de chapa.

Durante o estiramento profundo, a chapa é impedida de deslizar para dentro da matriz sob o elemento de estampagem por existir um “cordão” de bloqueio (normalmente chamado de travões) que aplica uma força suficientemente elevada sobre a chapa ainda plana (Fig. 30). Como resultado, a chapa é submetida a uma tensão de tração durante a penetração do punção, assim, a espessura da chapa é reduzida durante o processamento. Estampagem profunda, em contraste, é um processo de conformação sob condições combinadas de tração e compressão em que a chapa é conformada sob força

compressiva tangencial e tensão de tração radial sem qualquer intenção de alterar a espessura do metal.

Por exemplo, na produção de painéis complexos para a indústria automóvel (exemplo um ligeiro de passageiros), estiramento profundo e estampagem profunda podem ser realizados simultaneamente. A ferramenta conta com um punção, matriz e um pisa para estabilizar o percurso que chapa percorre durante o seu processamento (Fig. 32). O pisa para a chapa é usado durante o estiramento profundo e age como um travão, e durante a estampagem profunda tem o objetivo de evitar a formação de rugas na chapa.

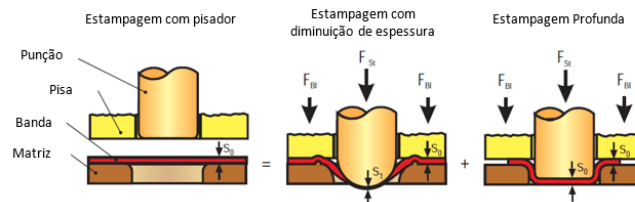


Figura 32 – Combinação de processos de fabrico (Schuler GmbH)

Técnicas modernas de estampagem permitem hoje em dia a modificação desejada para determinada tipologia de peça da força do pisa sobre a chapa durante o estiramento profundo. As forças do pisa podem ser alteradas independentemente e em vários locais da chapa durante o próprio golpe de estiramento profundo. A peça em bruto é inserida na matriz e estabilizada pelo pisa. O processo começa com a penetração do punção para executar o processo de estiramento no qual a espessura do material em conformação é reduzido. A área inferior da peça é consequentemente deformada.

O processo de estampagem profunda inicia-se uma vez que a força do pisa necessária sobre a chapa vai reduzindo á medida que o material em conformação é capaz de fluir sem criar rugas ou outras deformações junto dos raios da matriz. No final do processo de estiramento, a força do pisa é frequentemente aumentada novamente, a fim de obter uma geometria final reprodutível, respeitando a porção de estiramento no campo da estampagem profunda.

Além da estampagem profunda, painéis de *chassis* são adicionalmente processados na área de estampagem sob condições de dobragem, compressão e corte. Uma característica do processo de *dobragem* é que o *camber* forçado sobre a peça que envolve mudanças ao nível angular através de movimentos giratórios, mas sem qualquer alteração na espessura da chapa. O *Springback* do material que resulta das suas propriedades elásticas é compensada pelo *overbending*. Uma outra possibilidade para a obtenção de peças dimensionalmente precisas e estáveis é combinar os esforços de compressão com uma calibração integrada da peça no ponto morto inferior do movimento do carro da prensa.

A *Conformação* é quase sempre combinada com uma ou mais operações de *corte*. A tira de chapa é muitas das vezes previamente cortada da bobine antes da conformação. O processo de conformação é então prosseguido por operações de corte de contornos e perfuração.

Se nem o corte nem o processo de conformação dominam a transformação de uma peça de chapa metálica, esta combinação de métodos é conhecida como estampagem.

Nas fábricas onde são produzidos elevados números de peças, para a maioria das pequenas ou médias peças estampadas é usada uma ferramenta progressiva. No entanto, os processos que formam sólidos em chapa frequentemente também combinam um número de técnicas diferentes em um único conjunto de matrizes em uma única ferramenta.

O apelo a uma maior redução de custos durante a produção obrigou uma maior integração de técnicas de produção adicionais ao processo de estampagem. Empilhamento e montagem de peças furadas e elaboradas, por exemplo, uma combinação não só de estampagem clássica mas também a montagem e produção acabada de componentes e conjuntos como por exemplo um estator e rotor utilizados na indústria de motores elétricos. Peças produzidas em chapa metálica, também podem ser montadas com recurso ao processo de conformação, pelo normalmente chamado “embainhar” ou através da produção de “flanges” (Fig. 33).

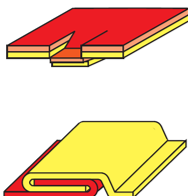


Figura 33 – Junção por corte e por conformação da dobra (Schuler GmbH)

O Corte, revestimento e modificação das propriedades tecnológicas do material vão expandir substancialmente o âmbito de aplicação utilizada pela tecnologia da conformação no futuro. Isto irá permitir o processamento e acabamento de várias etapas e processos hoje em dia feitos separadamente num baixo número de estações, sempre que possível numa única linha, o que irá reduzir os custos logísticos em toda a sequência de produção assim como a possibilidade de incrementar novos processos mais “lean”.

2.5 Termos básicos

2.5.1 Condição de fluxo e curva de fluxo

Os materiais metálicos podem ser conformados através da aplicação de forças externas a eles, sem reduzir a sua coesão estrutural. Esta propriedade é conhecida como a capacidade para a deformação do metal. A deformação ou fluxo ocorre quando as linhas de átomos dentro dos grãos cristalinos individuais, quando forçados para além de um determinado limite, são capazes de deslizar uns contra os outros.

Este processo ocorre com o deslizamento ao longo dos planos do material determinado pela sua estrutura cristalina, e apenas é possível através, por exemplo, de falhas no arranjo da rede atômica. Outros mecanismos do fluxo, tais como a formação de cristal duplo, em que uma deformação permanente é causada por uma rotação da estrutura de

uma posição para outra, esta por sua vez desempenha apenas um papel minoritário na tecnologia da formação de metal.

O fluxo começa no momento em que a diferença do princípio tensões ($\sigma_{max} - \sigma_{min}$) atinge valores do fluxo de tensão K_f , ou quando a tensão de corte causada por uma tensão de cisalhamento pura é igual a metade da tensão de escoamento, dado por:

$$K_f = (\sigma_{max} - \sigma_{min})$$

Equação 1- Fluxo de tensão (Lange, K 1984)

Ao negligenciar o principio de tensão σ_2 , esta expressão matemática representa uma solução aproximada da hipótese da tensão de cisalhamento com o maior principio de tensão σ_1 e o menor principio de tensão σ_3 :

$$K_f = \sigma_1 - \sigma_3$$

Equação 2 – Fluxo de tensão (Lange, K 1984)

O valor da tensão de escoamento depende do material, da temperatura, da deformação ou tensão e da velocidade à qual a deformação ou a taxa de tensões é levada a cabo, ϕ . Abaixo da temperatura de recristalização, o fluxo de tensões geralmente aumenta com o aumento da deformação, enquanto a temperatura e a velocidade de deformação, exercem apenas uma influência mínima. Exceções á regra são por exemplo as técnicas de conformação com recurso ao forjamento e através de rolos, onde as altas taxas de deformação são usadas. Acima da temperatura de recristalização, o fluxo de tensões estão geralmente sujeitos à temperatura e á taxa de deformação, enquanto que na teoria da deformação demonstrada anteriormente estas características só têm uma influência mínima. O fluxo de tensões geralmente diminui com o aumento da temperatura e com a diminuição da taxa de deformação.

De acordo com a norma *DIN8582* existe uma distinção entre os processos de conformação de metal que envolvem uma mudança perlongada das propriedades de resistência e por outro lado aqueles que não envolvem nenhuma mudança significativa das propriedades de resistência do material, designada assim como conformação a frio e a quente.

A norma *DIN8582* também decompõe o processo de acordo com a conformação sem aquecimento (conformação a frio) e conformação após a aplicação de calor (conformação a quente). Esses termos simplesmente especificam se os dispositivos de aquecimento são necessários para determinado processo. Ao contrário do seu antigo significado, estes termos não estão fisicamente relacionados com o material em questão. O fluxo de tensão dos materiais individuais é determinada através de testes em função da sua deformação (ou tensão) e a sua taxa de deformação para as várias gamas de temperatura, e depois os resultados são descritos em curvas de fluxo. Uma das mais usuais utilizações de curvas de fluxo é para auxiliar no cálculo da deformação que será possível, força, energia e do desempenho.

2.5.2 Deformação e fluxo de material

A atual deformação ϕ , também chamada de tensão logarítmica, é dada por:

$$\varphi_1 = \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = \ln \frac{h_1}{h_0}$$

Equação 3 – Deformação ou Tensão logarítmica (Lange, K 1984)

em que φ_1 é a deformação num eixo principal e φ_2 e φ_3 a deformação nos outros dois eixos. Esta equação dará, por exemplo, a quantidade de compressão no corpo com uma altura h (Fig. 32). φ é calculado a partir da compressão relativa à medição inicial de ε ou a partir da deformação relativa:

$$\varepsilon_1 = \frac{h_1 - h_0}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0},$$

Equação 4 – Deformação elástica (Lange, K 1984)

em que h_0 representa a altura do corpo antes de compressão e h_1 a altura final do corpo após a compressão:

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_1}{h_0} = \ln(1 + \varepsilon_1),$$

Equação 5 – Deformação em um dos eixos principais (Lange, K 1984)

De acordo com a lei de constância de volume, segundo a qual o volume não é alterado pelo processo de deformação, a soma de todos os valores de deformação é sempre igual a zero (figura 32):

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0$$

Equação 6 – Soma das deformações principais de um sólido (Lange, K 1984)

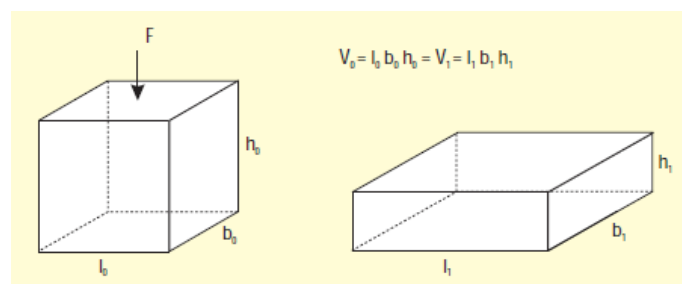


Figura 34 – Alterações dimensionais de um cubo sem atrito (Lange, K 1984)

A maior deformação, que é igual à soma das outras duas deformações, é designada pelo princípio da deformação φ_g :

$$\varphi_1 = -(\varphi_2 + \varphi_3) = \varphi_g$$

Equação 7 – Maior deformação principal de um sólido (Lange, K 1984)

O princípio da deformação deve ser uma quantidade conhecida, que constitui a base para todos os cálculos, por exemplo, da força de deformação. Ela é fácil de determinar, como transporta um sinal diferente para os outros dois. Por exemplo na compressão de um corpo cúbico, o aumento de largura ($b_1 > b_0$) e comprimento ($l_1 > l_0$) resultam num sinal positivo, enquanto a diminuição da altura ($h_1 < h_0$) produz um sinal negativo (fig. 32). Por conseguinte, a maior deformação absoluta é ao longo do eixo vertical φ_1 .

Semelhante à soma das deformações, a soma das taxas de deformação $\dot{\varphi}$ deve ser sempre igual a zero:

$$\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_3 = 0$$

Equação 8 – Taxa de deformação (Lange, K 1984)

A lei do fluxo aplica aproximadamente:

$$\varphi_1 : \varphi_2 : \varphi_3 = (\sigma_1 - \sigma_m) : (\sigma_2 - \sigma_m) : (\sigma_3 - \sigma_m),$$

Equação 9 – Taxa de deformação (Lange, K 1984)

com a tensão média σ_m dada pela seguinte equação:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

Equação 10 – Tensão média (Lange, K 1984)

O fluxo de material ao longo da direção da tensão que se situa entre a maior tensão σ_{max} e a menor tensão σ_{min} , que por conseguinte, será menor e vai ser igual a zero nos casos de fluxo de material em um plano de deformação, onde a deformação é apenas num plano.

2.5.3 Força e trabalho

No cálculo das forças necessárias para operações de conformação, deve ser feita uma distinção entre operações em que as forças são aplicadas diretamente e outras aplicadas de forma indireta. A aplicação direta de força significa que o material é levado a fluir sob a aplicação direta de uma força exterior. Isto requer 2 superfícies para se moverem diretamente uma contra a outra, sob pressão.

Em contraste, a aplicação indireta de força, envolve um esforço de uma força com alguma distância da zona de deformação real, como por exemplo, quando o material é estirado ou forçado a fluir por uma fieira ou uma obstrução de dimensão reduzida quando comparado com a dimensão da matéria-prima. As tensões adicionais são geradas durante este processo, que induzem o material a fluir. Exemplos deste método incluem no processos de trefilação de arame ou de estampagem profunda. Na aplicação direta da força, a força F é dada pela seguinte expressão:

$$F = A \cdot k_w$$

Equação 11 – Força necessária para operações de conformação (Lange, K 1984)

onde A é a área sob compressão e k_w é a resistência do material à deformação. A resistência à deformação é calculada a partir da tensão de escoamento K_f depois de se ter em conta as perdas, geralmente através de fricção. As perdas são combinadas com o fator de eficiência de deformação η_F :

$$\eta_F = \frac{k_f}{k_w}$$

Equação 12 – Eficiência da deformação (Lange, K 1984)

A força aplicada em operações de conformação indiretas é dada pela expressão:

$$F = A \cdot k_{wm} \cdot \varphi_g = A \cdot \frac{k_{fm}}{\eta_F} \cdot \varphi_g = A \cdot \frac{W_{id}}{\eta_F}$$

Equação 13 – Forças de conformação indiretas (Lange, K 1984)

em que A representa a área da secção transversal através da qual a força é transmitida à zona de deformação, k_{wm} é a resistência média de deformação e k_{fm} o factor de estabilidade, ambas as quais são dadas por meio do integral da tensão de escoamento na entrada e saída da zona de deformação. Geralmente a média aritmética pode ser usada no lugar do valor integral. O trabalho referenciado de deformação W_{id} é o trabalho necessário para deformar um elemento de volume de 1mm^3 por um certo volume de deslocamento:

$$W_{id} = \int_0^{\varphi_g} k_f \cdot d\varphi \cong k_{fm} \cdot \varphi_g$$

Equação 14 – Trabalho de deformação (Lange, K 1984)

O trabalho específico de deformação pode ser obtido por integração numérica ou gráfica utilizando curvas de escoamento disponíveis, é exatamente da mesma forma como a tensão de escoamento, determinado como uma função da deformação φ_g . A figura 33 ilustra as curvas de fluxo de trabalho e curvas relacionados para materiais diferentes.

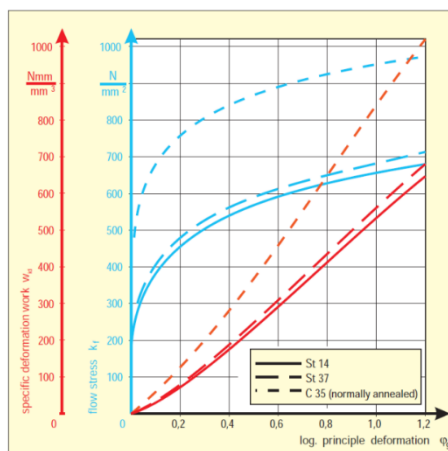


Figura 35 – Curvas que demonstram a deformação específica para diferentes materiais (Schuler GmbH)

Se não houver nenhuma curva de fluxo disponível para um determinado material, pode ser determinado através do método experimental. Um teste através de um entalhe em tração, compressão ou hidráulico seria um método concebível. Se o trabalho específico de deformação W_{id} e todo o volume V ou o volume deslocado V_d são quantidades conhecidas, o trabalho de deformação total W é calculado através da seguinte expressão:

$$W = V \cdot \frac{W_{id}}{\eta_F} \cong V \cdot \varphi_g \cdot \frac{k_{fm}}{\eta_F} = V_d \cdot \frac{k_{fm}}{\eta_F}$$

Equação 15 – Trabalho de deformação total (Lange, K 1984)

2.5.4 Moldabilidade

A identificação de conformabilidade só deve basear-se em casos de falha do material causando e tendo como resultado por exemplo as fissuras no material processado, onde mais nenhuma deformação é possível sem a ocorrência de uma falha. Se, portanto, existe uma falha de material antes de atingir a força máxima como um resultado existe uma fratura, esta característica pode ser tomada como ponto de referência para a determinação da formabilidade deste material, como por exemplo, durante um ensaio de tração. No entanto, os casos de falha no qual o critério de estabilidade entre as forças externas e internas é indicativo da deformação alcançável, não pode ser usado como uma base para se determinar a moldabilidade do material. Tais casos incluem, por exemplo, a tensão uniforme de um material com diminuição da espessura acentuada. A moldabilidade de materiais diferentes difere entre si embora outras condições sejam iguais.

Assim, alguns materiais são descritos como maleáveis e outros como frágeis. Estas descrições são geralmente baseadas nas características reveladas nos testes de tração para fraturas devido à contração ou alongamento do material. A formabilidade de um material não é uma quantidade fixa, no entanto, isso depende da pressão hidrostática p_m exercida durante a operação de conformação:

$$p_m = \frac{p_1 + p_2 + p_3}{3}$$

Equação 16 – Pressão hidrostática exercida durante a operação de conformação (Lange, K 1984)

Desta forma, por exemplo, um material pode ter uma baixa moldabilidade para um tipo de operação de conformação, onde a pressão hidrostática é significativamente baixa. No entanto, se um processo de conformação diferente é empregado em que a pressão hidrostática é significativamente mais elevada, o mesmo material pode ser conformado sem problemas e falhas como as fissuras. Mesmo o mármore pode ser deformado plasticamente se a pressão média hidrostática exercida é suficientemente grande.

2.5.5 Processo de Corte

Nas operações de corte, existem principalmente dois tipos de processo em que a diferença é feita entre o facto de ser contorno do corte aberto ou fechado (Fig. 29). A

técnica do contorno aberto é muito usado para o corte plano de tiras de chapas metálicas, é também muito semelhante ao corte por tesoura ou por guilhotina. Este processo pode utilizar elementos de corte longitudinais ou circulares. Nos processos de corte com acabamento fechado (contorno do fio de corte fechado) são utilizados por exemplo para fazer furações com as mais diversas formas possíveis. Neste processo são aplicadas matrizes e punções de corte: O movimento relativo entre o punção (macho) de corte e a matriz (fêmea) fazem a separação do material (Fig. 36). O punção faz o contato com a chapa de metal, causando inicialmente uma deformação elástica. A deformação plástica vem de seguida, provocando inicialmente e nesta fase um empeno na peça. De seguida a periferia superior da chapa dobra-se até ficar plana entre o punção e a matriz e de seguida é realizada a ação de corte propriamente dita. Se a força de corte for excedida, vão existir fendas na peça.

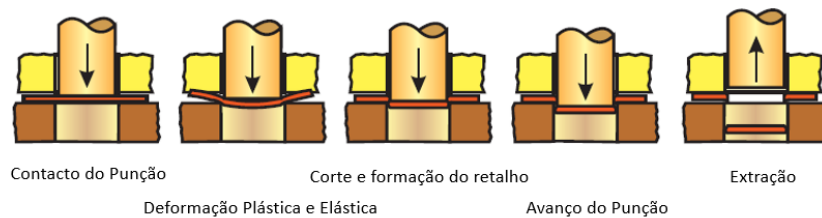


Figura 36 – Fases do Processo de Corte (Schuler GmbH)

Este processo funciona geralmente a partir das arestas da matriz de corte, percorre e avança por completo a espessura do material a cortar à medida que o punção avança no seu movimento. O diagrama típico de força vs tempo de um processo de corte por rebentamento de material pode ser visto no diagrama apresentado na figura 37. A zona de fratura, área áspera da superfície onde a peça foi separada imediatamente abaixo da zona de corte e normalmente chamada também como a área de rebentamento do material (Fig. 38): O material em processo após a furação tem em si introduzidas tensões internas que resultam no chamado efeito de *Springback*, fazendo com que a peça fique agarrada à superfície lateral do punção. A chapa tem de ser separada do punção e para isso é utilizado um extrator durante todo o percurso de retorno (subida do punção após furação).

Devido à grande variedade de aplicações deste tipo de processo na área de estampagem, unicamente vamos descrever aqui os processos utilizados na produção de peças individuais com recurso a matrizes com fio de corte fechado.

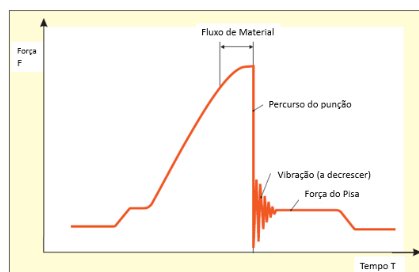


Figura 37 – Curva Força – Tempo para a operação de Corte na Estampagem (Schuler GmbH)

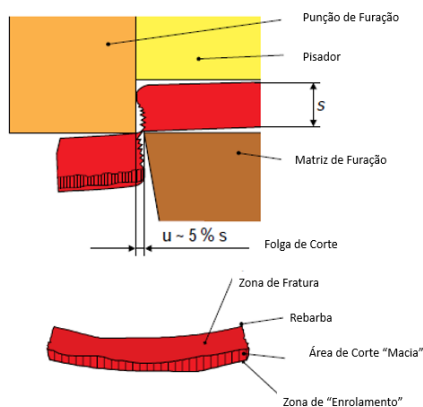


Figura 38 – Resultado Trabalho da Furação na Estampagem (Schuler GmbH)

Posicionamento das peças na banda vs Economizar Material

Orientações para otimização do *Layout* da banda, furações e estampagens das peças:

A estreita cooperação entre os projetistas de produto e das ferramentas de estampagem pode ajudar em grande escala a reduzir substancialmente o desperdício de material logo durante o projeto da peça e posteriormente transmitido para a ferramenta.

As peças devem de ser projetadas com a menor área de superfície possível; a sua forma deve ser tal que se possa alinhar ou encaixar umas nas outras ao longo da banda, de forma a assegurar o mínimo de desperdício possível. O arranjo das peças ilustradas na Fig. 39 b, por exemplo, é mais favorável do que no a. A melhor otimização do consumo de material é possível quando as formas das peças são completamente interligadas, por exemplo, quando podem ser cortadas da banda sem deixar qualquer tipo de sucata. (Fig. 39).

A desvantagem deste tipo de corte livre de qualquer tipo de sucatas é o fato de a rebarba ocorrer em ambos os lados da peça e desta forma poder ser necessário a implementação de mecanismos adicionais na ferramenta para a eliminação da rebarba o que torna o processo mais complexo.



Figura 39 – Exemplo de *Layout* de bandas favoráveis á poupança de matéria-prima (Schuler GmbH)

Nos casos em que é impossível desenvolver o *design* da peça para que a melhor otimização do *layout* seja possível na banda, pode ser ainda possível utilizar a “sucata” restante para produzir outras peças utilizando a mesma ferramenta (Fig. 40). No caso de a sucata ou a banda após a produção da peça ficar com zonas deformadas, esta deve passar novamente num planificador antes do reaproveitamento.



Figura 40 – Utilização da “sucata” de uma peça para produção de outra (Schuler GmbH)

Para formas de peças em T, G e L é possível desenvolver um *layout* ideal visto que as peças ficam posicionadas alternativamente na forma invertida (zona superior de uma peça com a cauda da outra) (Fig. 41).



Figura 41 – Layout da banda com as peças “Top-to-Tail” (Schuler GmbH)

É importante referir que este tipo de *layout* pode introduzir tensões unilaterais o que resulta no “esticamento” durante o processo de corte ou então quando as tensões são libertadas, este tema aplica-se sobretudo quando se trata de matéria-prima tendencialmente macia e com espessura fina. Nestes casos, pode ser vantajoso e mais simples para resolver o problema fazer todo o corte num único curso de prensa.

Ocasionalmente, é possível otimizar a taxa de utilização do material fazendo também uma estampagem de outro componente “b” a ser usado na montagem do componente principal como pode ser visto um exemplo em baixo, (Fig. 42) onde “c” são ambas as peças montadas num passo de montagem já realizado fora da ferramenta de corte. Esta estratégia é muito usada na indústria automóvel para diminuir os custos de produção e em ferramentas, é importante juntar peças com a mesma necessidade ao nível de quantidade anual a produzir visto que são produzidas na mesma ferramenta e existe uma grande poupança também ao nível de ferramentas visto que em apenas uma podemos fazer dois componentes para o mesmo conjunto final.



Figura 42 – Utilização da peça “b” produzida com a sucata da peça principal “a” na montagem “c” (Schuler GmbH)

A organização de peças múltiplas na mesma banda é frequente e económica (Fig. 40). Aplicando os interesses ideais para a economia de material, as ligações entre peças na banda devem ser mantidas o mais pequenas possíveis mas nunca esquecer a sua resistência e estabilidade durante o processo de corte (Tabela 1). As respetivas designações acerca das várias características da banda podem ser vistas (Fig. 44). É importante lembrar que a banda de largura b [mm] depende do tipo de material e do comprimento da banda l [mm]. Em qualquer caso, esta análise é essencial para avaliar se as economias realizadas em termos de material, não sejam inviabilizadas pelo excessivo aumento do custo da ferramenta versus volumes de produção.

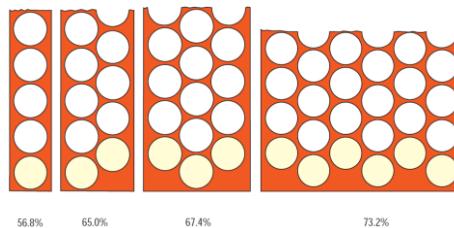


Figura 43 – Utilização de apenas uma peça ou múltiplas peças organizadas na banda (fator rendimento η_A em %) (Schuler GmbH)

strip width b_s	web length l_e resp. rim length l_a in mm	web width b rim width a	Sheet metal thickness s in mm						
			0.1	0.5	1	1.5	2	2.5	3
to 100 mm	up to 10 and round parts	b a	0.8 1	0.8 0.9	1	1.3	1.6	1.9	2.1
	11... 50	b a	1.6 1.9	0.9 1.0	1.1	1.4	1.7	2	2.3
	51... 100	b a	1.8 2.2	1.0 1.2	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5
	over 100	b a	2.0 2.4	1.2 1.5	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
	side cutter scrap i		1.5			2.2	3	3.5	4.5
over 100 mm to 200 mm	up to 10 and round parts	b a	0.9 1.2	1.0 1.1	1.1	1.4	1.7	2	2.3
	11... 50	b a	1.8 2.2	1.0 1.2	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5
	51... 100	b a	2.0 2.4	1.2 1.5	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
	über 100	b a	2.2 2.7	1.4 1.7	1.7	2	2.3	2.6	2.9
	side cutter scrap i		1.5			2.5	3.5	4	5

Tabela 1- Larguras de Banda e das ligações de acordo com a norma VDI 3367 (7.70)

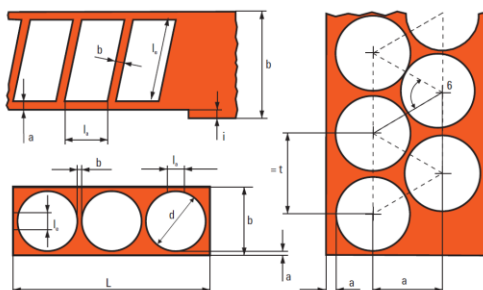


Figura 44 – Definições da banda: $d >$ Diâmetro furo; $a >$ Largura da ligação; $b >$ Distancia mínima entre peças; $i >$ Sucata lateral da banda; $l_e >$ Largura da peça; $l_a >$ Comprimento da peça; $b_s >$ Largura da banda; $L >$ Comprimento da banda; $t >$ Passo (alimentação); (Lange, K 1984)

A utilização de material na banda é a seguinte:

$$\eta_A = \frac{z \cdot A}{L \cdot b_s} = [-]$$

Equação 17 – Eficiência da utilização de material da banda (Lange, K 1984)

Admitindo o comprimento da banda L [mm] e Largura b_s [mm], o número de peças produzidas a partir da banda z [-] é a área da superfície da banda utilizada para uma peça A [mm^2] (sem eliminação da área dentro de contornos de corte). Admitindo as dimensões correspondentes às da (Fig. 44), a utilização de material para peças circulares dispostas em n linhas na banda é calculada com recurso á seguinte expressão:

$$\eta_A = \frac{z \cdot A}{L \cdot b_s} = \frac{z \cdot \frac{\pi}{4} d^2}{(d + b) \cdot b_s} = [-]$$

Equação 18 – Eficiência da utilização de material da banda (Lange, K 1984)

Pelo que:

$$b_s = 2 \cdot a + 2 \cdot \frac{d}{2} + (n - 1) \cdot a_R = 2 \cdot a + d + (n - 1) \cdot 0,866 \cdot v = [\text{mm}]$$

Equação 19 – Largura de banda (Lange, K 1984)

Cálculo do passo:

$$v = d + b = [\text{mm}]$$

Equação 20 – Passo (Lange, K 1984)

É calculado a partir do diâmetro do furo d [mm] e da largura da tira para ligação b [mm]. Em termos percentuais, as maiores poupanças são feitas pela transição de apenas uma peça para produção de múltiplas peças. A elevada percentagem de poupança obtida com esta otimização muitas vezes justifica a aquisição de matrizes duplas ou então quando este tipo de poupança não justifica o investimento pelo fato do tamanho dos lotes serem baixos tornando o investimento inviável.

Trabalho e Força para Operação de Furação

A força de corte necessária F_s [N] para furos em peças planas e com o contorno de corte fechado é calculado com a seguinte equação:

$$F_s = A_s \cdot K_s = 1_s \cdot S \cdot K_s [\text{N}],$$

Equação 21 – Força de corte com contorno de corte fechado (Lange, K 1984)

Onde A_s [mm^2] é a superfície cortada e K_s a resistência ao cisalhamento [N/mm^2] do material a processar. Se a relação entre o diâmetro do punção d e a espessura do material é maior que 2, a seguinte equação é suficiente para o cálculo aproximado da força de corte K_s :

$$K_s = 0,8 \cdot R_m \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right],$$

Equação 22 – Resistência de cisalhamento (Lange, K 1984)

Onde $R_m \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$, é a resistência à tração do material.

A força de corte não deve exceder a força nominal da prensa que pode ser analisada na curva Força vs Curso dada pelas especificações da máquina, caso contrário a máquina irá entrar em modo de sobrecarga.

A força de extração da peça durante o retorno do punção realizada pelo pisa é cerca de 3 a 5% da força de corte, enquanto o rácio do diâmetro do punção e da espessura da chapa a processar é cerca de 10 ($d / S = 10$).

No caso de proporções d / S menores ao valor indicado anteriormente, as forças para o retorno se realizar devidamente vão aumentar substancialmente, com valores $d / S = 2$ a força de extração vai ser cerca de 10 a 20% da força de corte, enquanto este valor aumenta com o decrescer da relação d / S . É maior a força de retorno necessária para

materiais com elevada resistência do que para materiais mais duros. A força de retorno necessária deve ser tida em conta na concepção do punção e matriz de corte e em casos extremos também no *design* da prensa onde vai trabalhar a ferramenta.

Forças laterais também podem ocorrer durante a operação de furação, ter especial atenção em particular quando o *layout* da banda tem uma configuração estreita entre peças e nos casos em que o processo de corte não é feito em simultâneo por exemplo devido á diferença de alturas entre punções utilizado para diminuir a força total necessária para o corte assim como as vibrações (Fig. 45 g).

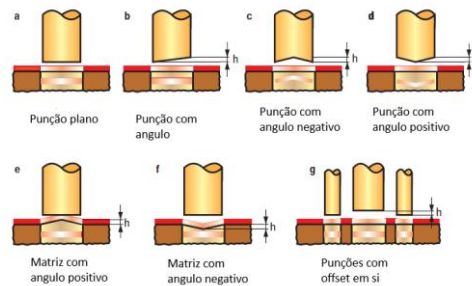


Figura 45 – Diferentes formas de Punções e Matrizes de Corte (h = diferença em altura) (Schuler GmbH)

Neste caso, a banda fica sujeita a tensões, como resultado vão existir forças horizontais. A força horizontal exercida encontra-se aproximadamente entre 2 e 10% da força de corte, segundo o qual o menor valor encontra-se para chapa fina e frágil e valores mais elevados para o material com maior espessura e mais resistentes.

É possível reduzir a força de corte, no caso de existir essa necessidade, em vez do uso de um punção com o seu topo plano, este pode ser chanfrado com angulo de corte (Fig. 45 a, b). A diferença de altura h [mm] para este caso deve ser cerca de 0,6 (para uso de material frágil) e 0,9 para material duro. O ângulo de inclinação não deve ser superior a 5°, para evitar danos na periferia de corte. O deslocamento unilateral do punção e do material pode ser evitado com recurso a um punção com uma cavidade ou pontiagudo no seu topo (Fig. 45 c, d). No entanto, este principio tem como resultado também a deformação do elemento que vai ser separado. Se este componente for necessário ser plano na sua superfície para algum motivo funcional, o punção deve ser plano e a matriz deve ter uma cavidade ou ser pontiaguda na sua superfície (Fig. 45 e, f).

Ao usar um punção biselado (ou a matriz), a força de corte é reduzida em pelo menos 30% quando comparado com punções (ou matrizes) com a superfície plana, uma vez que apenas uma parte do punção ou matriz está envolvida durante qualquer momento na operação de corte (Fig. 46). No entanto, em geral, o trabalho de corte permanece o mesmo, visto que a força reduz apenas porque vai ser induzida durante um curso mais longo, de forma progressiva.

Se existem vários punções montados na mesma ferramenta, é também possível reduzir a força de corte total, fazendo com que os punções atuem de forma faseada (em sequencia). (Fig. 45 g).

No entanto, a fim de assegurar um funcionamento suave e reduzir a pressão sobre as matrizes, quando se utiliza este método, a diferença de altura entre cada punção não deve ser maior do que a profundidade de penetração até á fratura da chapa (cerca de 0,3 a 0,4 · s). Punções ou matrizes biselados no caso de existirem vários na mesma ferramenta também ajuda na diminuição da vibração que geralmente também tem um

nível de importância bastante elevado quando falamos na boa manutenção da prensa a longo prazo.

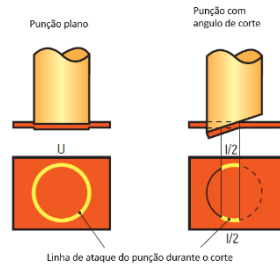


Figura 46 – Redução da força de corte com a inclinação da forma do punção (Schuler GmbH)

O trabalho da força de corte é calculada através da seguinte equação:

$$W_s = x \cdot F_s \cdot s \text{ [Nm resp. kNm]}$$

Equação 23 – Trabalho da força de corte (Lange, K 1984)

Como F_s como a força de corte e s a espessura do material. O fator x [-] leva em consideração a progressão real da força de corte e depende também do tipo de material. Encontra-se dentro do intervalo 0,4 a 0,7, em que o valor inferior aplica-se para materiais frágeis, e o valor superior é usado principalmente para materiais mais resistentes.

Para um cálculo aproximado, aplica-se a seguinte equação:

$$W_s = \frac{2}{3} \cdot F_s \cdot s \text{ [Nm resp. kNm]}$$

Equação 24 – Trabalho da força de corte (Lange, K 1984)

Ao calcular a energia de corte e das forças, em particular onde o material fino está envolvido no processo, pode acontecer que uma máquina seja projetada para ter energia suficiente para determinado corte mas não ter a força adequada. Nestes casos, é possível reduzir a força de corte pela utilizando de punções ou matrizes biselados / ondulados.

Folga de Corte entre Punção e Matriz

As forças de corte calculadas com base das equações fornecidas anteriormente tem em conta que a folga de corte entre punção e matriz foram corretamente selecionadas. O dimensionamento correto da folga de corte u [mm], depende da espessura do material em processamento e da sua resistência ao corte e á tração, bem como na velocidade de corte, a tipologia da placa inferior de corte (com ou sem um ângulo para saída de sucata [°]) e a qualidade necessária da superfície de corte para a funcionalidade do produto (Fig. 47).

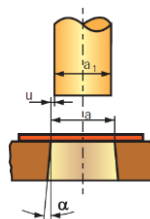


Figura 47 – Dimensões (para a furação e corte) do punção e matriz (Schuler GmbH)

A elevada folga de corte geralmente reduz a força necessária e exigência do trabalho, e, assim também o desgaste da ferramenta; com a implementação de uma folga de corte mais pequena, em contraste com a anterior, uma qualitativa melhoria da superfície do corte e a maior precisão da peça são frequentemente necessárias e atingidas desta forma. No corte convencional com velocidades entre 0.1 e 0.2 m/s, a folga de corte ótima situa-se entre 2 a 10% da espessura do material, em que o valor mais baixo aplica-se a materiais mais finos ou mais suaves.

Para a furação de chapas em metal, a dimensão do furo é determinado pelo punção de corte; a folga de corte, diâmetro da matriz, deve ser selecionada de tal forma a que seja maior duas vezes (ou seja, por banda) relativamente ao diâmetro do punção.

No que diz respeito ao corte de contornos externos, em contraste, a matriz determina o tamanho do material cortado. O punção deve, portanto, ser configurado relativamente ao seu diâmetro duas vezes menor á folga de corte por lado relativamente á matriz. (Fig. 48)

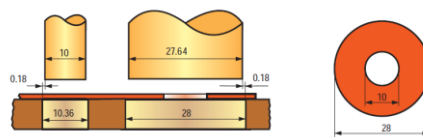


Figura 48 – Dimensões de uma Peça em forma de disco e do respetivo punção e matriz (Schuler GmbH)

2.5.6 Processo de Dobra

Classificação dos processos de dobra

A dobra feita através do processo de conformação em série pode ser subdividida e de acordo com a norma *DIN8586* em dois grupos:

Dobra produzida com recurso dos elementos da ferramenta a movimento Linear ou movimento Rotativo. (Fig. 18 e 22,23,24 respetivamente)

Raio e Angulo da Dobra

As matrizes para execução da dobra devem ser desenhadas de forma a evitar que a periferia da dobra seja afiada. O raio interior r_i [mm] depende da espessura do material s [mm] e deve ser selecionado para ser tão grande quanto possível, porque se as periferias da dobra forem afiadas podem levar á fissuração ou insuficiência durante o processo. Em geral, estes raios assumem valores recomendados na *DIN6935*, ou seja, devem de ser selecionados através das seguintes series (preferencialmente usar os valores a “negrito”):

1 1,2 1,6 2 2,5 3 4 5 6 8 10 12 16 20 25 28 32 36 40 45 50 63 80 100 etc.

Quando este tipo de processo é utilizado, deve ser tida particular atenção á direção da laminagem da matéria-prima na ferramenta, se a dobra for feita na direção da laminagem, este vai ter uma estabilidade de processo muito superior. Se a dobra for realizada paralelamente ao sentido da laminagem, o $r_{i\min}$ deve ser selecionado de forma a ser sempre superior ao $r_{i\min}$ usado se fosse para dobrar em angulo reto na direção da laminagem.

A tabela seguinte indica o menor raio admissível para dobras com um angulo α máximo de 120°. Para dobras com ângulos superiores a 120° é aplicado o “próximo” valor mais

elevado: Para dobrar um material $Q_{st}42 - 2$ com uma espessura de $s = 6\text{mm}$ em ângulos retos com a direção da laminagem do material, o menor raio de dobragem admissível é $r = 10\text{mm}$ para $\alpha \leq 120^\circ$ e $r = 12\text{mm}$ para $\alpha > 120^\circ$.

		Smallest admissible bending radius $r_{i,min}$ for sheet metal thickness s [mm]							
Steel sorts with a minimum tensile strength [N/mm ²]	Bending direction compared to roller direction of sheet	1	> 1 to 1,5	> 1,5 to 2,5	> 2,5 to 3	> 3 to 4	> 4 to 5	> 5 to 6	> 6 to 7
		to 390	transverse	1	1.6	2.5	3	5	6
	longitudinal	1	1.6	2.5	3	6	8	10	12
over 390 to 490	transverse	1.2	2	3	4	5	8	10	12
	longitudinal	1.2	2	3	4	6	10	12	16
over 400 to 640	transverse	1.6	2.5	4	5	6	8	10	12
	longitudinal	1.6	2.5	4	5	8	10	12	16
		Smallest admissible bending radius $r_{i,min}$ for sheet metal thickness s [mm]							
Steel sorts with a minimum tensile strength [N/mm ²]	Bending direction compared to roller direction of sheet	> 7 to 8	> 8 to 10	> 10 to 12	> 12 to 14	> 14 to 16	> 16 to 18	> 18 to 20	
		to 390	transverse	12	16	20	25	28	36
	longitudinal	16	20	25	28	32	40	45	
over 390 to 490	transverse	16	20	25	28	32	40	45	
	longitudinal	20	25	32	36	40	45	50	
over 400 to 640	transverse	16	20	25	32	36	45	50	
	longitudinal	20	25	32	36	40	50	63	

Tabela 2- Raio mínimo de dobra $r_{i,min}$ para determinados ângulos até 120° desejados para a peça (de acordo com a norma VDI3367 (7.70))

Springback

Quando se projeta uma matriz para dobrar um material, é necessário considerar que vai ocorrer o efeito de *springback* após ser libertada a carga sobre o material. O *springback* tem diferentes características para diferentes materiais. Este efeito ocorre em todos os tipos de conformação por dobragem, quando realizadas em prensas de estampagem, *bending*, *roll forming* e *roll bending*.

Como resultado do efeito de *springback*, o ângulo da matriz não corresponde precisamente ao ângulo desejado na peça α_2 . A relação do ângulo é chamado de fator de *springback* K_R , que depende das características do material e da relação entre o raio da curvatura e espessura da chapa $\left(\frac{r}{s}\right)$.

$$K_R = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{R_{i1} + 0.5 \cdot s}{R_{i2} + 0.5 \cdot s} [-]$$

Com α_1 : Ângulo da matriz (ângulo requerido para a dobra) [°];

α_2 : Ângulo desejado para a peça (após *springback*) [°];

S: Espessura da matéria-prima [mm];

R_{i1} : Raio interior da matriz [mm];

R_{i2} : Raio interior da peça [mm].

Equação 25 – Fator de *Springback* (Lange, K 1984)

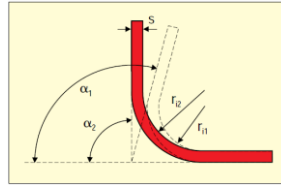


Figura 49 – Recuperação elástica após a dobra: s > Espessura do material; α_1 > Ângulo necessário de flexão; α_2 > Ângulo desejado na dobra da peça; R_{i1} > Diâmetro do raio interior da matriz; R_{i2} > Diâmetro do raio interior da peça; (Schuler GmbH)

O fator de *springback* K_R para vários materiais pode ser dado através da tabela seguinte.

Material	Springback factor k_R	
	$r_{i2}/s = 1$	$r_{i2}/s = 10$
St 0-24, St 1-24	0.99	0.97
St 2-24, St 12	0.99	0.97
St 3-24, St 13	0.985	0.97
St 4-24, St 14	0.985	0.96
stainless austenitic steels	0.96	0.92
high temperature ferritic steels	0.99	0.97
high temperature austenitic steels	0.982	0.955
nickel w	0.99	0.96
Al 99 5 F 7	0.99	0.98
Al Mg 1 F 13	0.98	0.90
Al Mg Mn F 18	0.985	0.935
Al Cu Mg 2 F 43	0.91	0.65
Al Zn Mg Cu 1.5 F 49	0.935	0.85

Tabela 3- Fatores de springback K_R (de acordo com a norma VDI 3367 (7.70))

Assim, o ângulo necessário na matriz é o seguinte:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{K_R} [^\circ]$$

Equação 26 – Ângulo necessário para a matriz da dobra (Lange, K 1984)

O Ângulo interior da matriz pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$R_{i1} = \frac{R_{i2}}{1 + \frac{R_{i2} \cdot R_m}{s \cdot E}} [\text{mm}]$$

Equação 27 – Ângulo interior da matriz (Lange, K 1984)

Com a resistência á tração R_m [N/mm^2] e modulo de elasticidade E [N/mm^2].

A operação de dobragem provoca tensões residuais na peça. Quanto menor for o raio de curvatura em relação á espessura da chapa, maiores vão ser estas tensões. Quando se trabalha com materiais que são sensíveis á corrosão sob tensão, a falha da peça produzida é muito possível dentro de um período relativamente curto de tempo após a sua conformação. A execução de cunhagens na peça após os processos de dobra ajudam a reduzir as tensões residuais. Quando um tratamento térmico seguinte ao processo da dobra é utilizado para reduzir as tensões residuais da peça, é importante lembrar que o tratamento térmico altera o raio da peça e os seus ângulos.

Deformação indesejável durante as operações de dobra

Se determinada tira de chapa tem uma secção transversal retangular, os lados do retângulo são determinados pela largura do rolo e pela espessura do material. No caso

de o material ter pequenos raios internos causando curvas acentuadas, este retângulo assume uma forma trapezoidal.

Se numa peça forem feitas várias operações, ou seja, vários processos de dobra realizados simultaneamente devem de ser tomadas medidas para substituir o material deslocado durante o processo. Caso contrário, em algumas circunstâncias, pode ocorrer uma elevada diminuição de espessura e fraturas na zona do raio da peça. Adicionalmente, a força necessária para atingir a forma final aumenta.

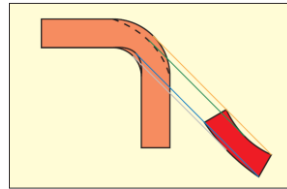


Figura 50 – Deformação da secção transversão durante a dobra (Schuler GmbH)

Determinar o comprimento da banda para peças dobradas

O comprimento da banda a ser dobrada não é igual ao comprimento da fibra situada no centro da secção transversal após a dobra. Este prolongamento dos componentes dobrados L [mm] é calculado utilizando a seguinte expressão:

$$L = a + b + v \text{ [mm] para ângulos entre } 0^\circ \text{ e } 165^\circ \text{ e}$$

$$L = a + b \text{ [mm] para ângulos } > 165^\circ \text{ até } 180^\circ$$

Equação 28 – Comprimento da banda para dobra (Lange, K 1984)

Onde a [mm] e b [mm] representam os comprimentos das duas pernas dobradas, e v [mm] é o fator de compensação que pode ser positivo ou negativo. (Fig. 51)

De referir que α é a dobra e β o angulo da abertura da peça.

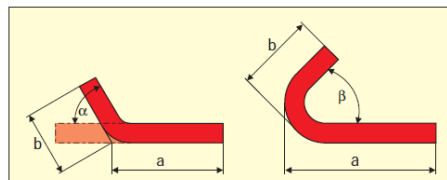


Figura 51 – Geometria da dobra (Schuler GmbH)

Os valores de v estão contidos na norma DIM6935 ou pode ser calculado para todos os ângulos necessários através das seguintes equações:

- Para $\beta = 0^\circ$ a 90°

$$v = \pi \cdot \left(\frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left(r + \frac{s}{2} \cdot K_r \right) - 2 \cdot (r + s) \text{ [mm]}$$

- Para $\beta > 90^\circ$ a 165°

$$v = \pi \cdot \left(\frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left(r + \frac{s}{2} \cdot K_r \right) - 2 \cdot (r + s) \cdot \tan \frac{180^\circ - \beta}{2} \text{ [mm]}$$

Com o fator de correção k [-]

- $k = 1$ para $\frac{r}{s} > 5$ e
- $k = 0,65 + \frac{1}{2} \cdot \text{Log} \frac{r}{s}$ para valores de $\frac{r}{s}$ até 5

Equação 29 – Cálculo do fator de compensação v para o processo de dobra (Lange, K 1984)

Os valores de comprimento da banda antes da dobra calculados por estas expressões devem de ser arredondadas para a seguinte casa de mm.

Força de dobra e trabalho de dobragem (com o processo de matriz em V)

A curvatura da matriz em V é uma técnica de produção amplamente utilizada.

Aqui, a dobra ocorre entre um punção e uma matriz com o material no meio e onde é feito monobloco entre os elementos para aliviar as tensões residuais. (Fig.52)

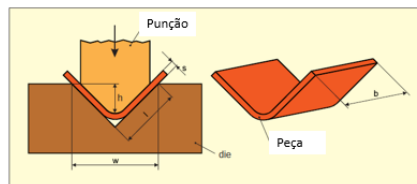


Figura 52 – Processo de dobra em V (Schuler GmbH)

Ao dobrar peças utilizando este processo em V, a força necessária F_b [N] requerida para esta conformação depende da largura da matriz w [mm], que determina o momento da dobra. Em contraste, a magnitude do raio da dobra desempenha um papel de menor importância, desde que a dimensão w seja corretamente selecionada.

Geralmente, a dimensão L [mm] da ferramenta é selecionado de acordo com a espessura do material s [mm].

$$L = 6 \cdot s \text{ [mm]}$$

Equação 30 – Comprimento L do processo de dobra em V (Lange, K 1984)

Quando se utiliza uma ferramenta convencional em que a matéria-prima é posicionada a uma distância w dos dois lados enquanto o punção pressiona centralmente a chapa, com uma largura da banda b_s [mm], a força de dobra é calculada da seguinte forma:

$$F_S = \frac{b_s \cdot s^2 \cdot R_m}{w} \text{ [N]} \text{ para } w/s \geq 10 \text{ e}$$

$$F_S = \left(1 + \frac{4 \cdot s}{w}\right) \cdot \frac{b_s \cdot s^2 \cdot R_m}{w} \text{ [N]} \text{ para } w/s < 10$$

Equação 31 – Força de dobragem no processo em V (Lange, K 1984)

Estas são fórmulas simplificadas que no entanto são suficientes na prática de cálculos aproximados. O trabalho W_b [Nm] equivale a:

$$W_b = x \cdot F_b \cdot h \text{ [Nm]},$$

Equação 32 – Trabalho para a dobra em V (Lange, K 1984)

O percurso do punção de dobra perante a chapa até percorrer todo o processo de dobragem é identificado com h [mm]. O valor constante x tem em conta a progressão da força que não é constante ao longo de todo o percurso e situa-se entre $x = 0.3$ e 0.6 , dependendo sempre dos requisitos da dobra e da máquina.

2.6 Ferramentas para o processo de estampagem

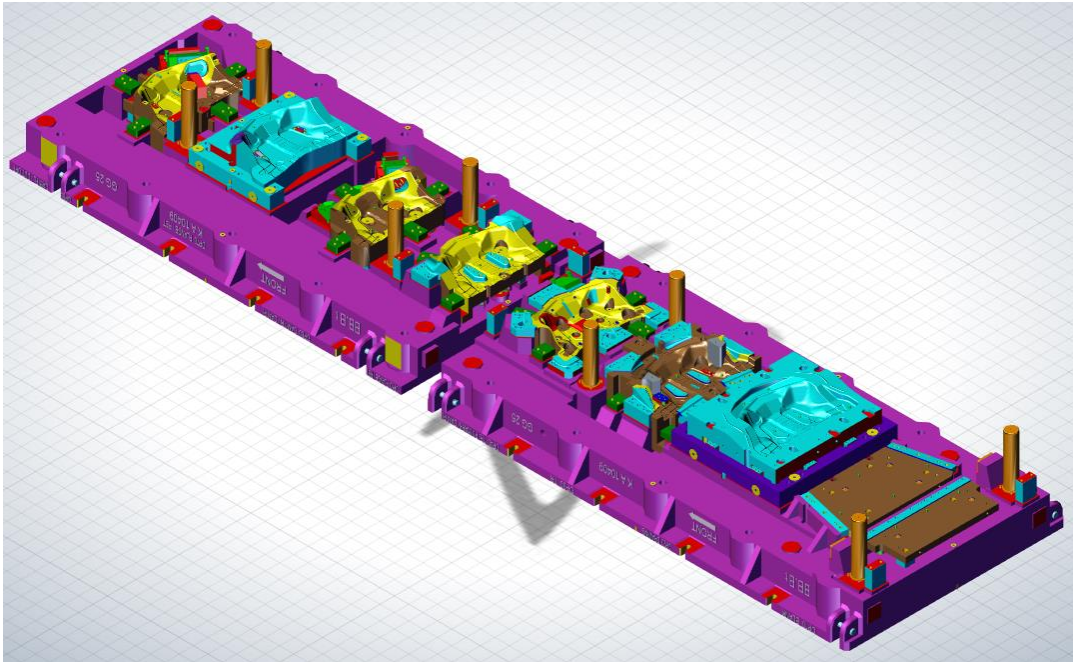


Figura 53 – Exemplo ferramenta transfere para estampagem de metal (Kirchhoff Automotive Portugal)

2.6.1 Classificação das ferramentas

Na conformação de metal, a geometria da peça é completamente estabelecida ou parcialmente estabelecida pela geometria da matriz. Em contraste com processos de maquinação, são necessárias forças significativamente maiores na estampagem. Devido à complexidade das peças, a conformação não é finalizada em apenas uma etapa.

Dependendo da geometria da peça, a produção é realizada em várias etapas operacionais através de um ou vários processos produtivos, tais como por exemplo formação ou corte. Uma operação pode também incluir vários processos em simultâneo.

Durante a fase de conceção da ferramenta, os métodos de fabrico necessárias assim como a sequência e o número de passos necessários são estabelecidas num plano de processo. Neste plano, a capacidade de máquina, os volumes de produção planeados da peça e outras condições limite são tomados em consideração.

O objetivo é minimizar o número de passos a usar e ao mesmo tempo manter um elevado nível de fiabilidade do processo. As peças são muito simplificadas desde a sua fase de desenvolvimento devido a uma estreita colaboração entre os departamentos de desenvolvimento técnico (design produto) e a produção, com o objetivo de permitir a junção de vários processos em uma única estação.

Obviamente, quanto mais operações forem integradas num único posto, mais complexa a estrutura da ferramenta se vai tornar. As consequências serão custos mais elevados, uma diminuição nas cadências de produção e menos fiabilidade.



Figura 54 – Etapas de conformação para um cárter de motor (Kirchhoff Automotive Portugal)

Tipos de ferramentas

O tipo de peça e do transporte “íntimo” desta entre os diversos passos da ferramenta é determinado de acordo com o processo de conformação, as dimensões da peça em causa e o volume de peças a serem produzidas assim como também os tipos de máquinas disponíveis.

A produção de peças com grandes dimensões são efetuadas quase exclusivamente recorrendo a conjuntos de módulos ferramentas individuais. As peças típicas podem ser encontradas por exemplo na construção de elementos do automóvel, aplicações domésticas e industriais.

Sistemas de transfeire com desenvolvimento específicos para determinados processos, como por exemplo sistemas de garras e transporte recorrendo a vácuo, permitem a implementação de dupla ação nas ferramentas. Desta forma, podemos por exemplo, estampar determinada peça esquerda e direita de um automóvel em simultâneo num curso de trabalho (Fig. 55).



Figura 55 – Ferramenta Transfere para estampagem duas peças em simultâneo (Kirchhoff Automotive Portugal)

Ferramentas individuais de grandes dimensões podem ser instaladas em prensas de grandes dimensões em que o transporte das peças em conformação entre estações é realizada mecanicamente. Neste tipo de linha de prensas individuais instaladas umas atrás das outras, podem ser utilizados alimentadores ou robôs para movimentar as peças entre prensas (entre respetivas ferramentas instaladas nestas prensas).

Enquanto que em ferramentas *Transfer* montadas também em prensas preparadas com sistema de transferência (controlo e movimento de barras transfere solidárias com a máquina), aqui são utilizados sistemas equipados com garras mecânicas ou sistemas de vácuo para agarrar as peças e as mover entre as várias estações do processo (ferramenta). (Fig. 55)

2.6.1.1 Ferramentas *Transfer*

Ferramentas *Transfer* são utilizadas para produção de grandes ou pequenos volumes de peças de tamanho médio.

Este tipo de montagem consiste na utilização de várias matrizes individuais, que são montados numa placa base comum a todas estas matrizes. A chapa proveniente diretamente de rolo ou em muitos casos formatos já cortados (utilizando outro processo de corte) são alimentados e transportados individualmente através do mecanismo *Transfer* separadamente e passo a passo. Se este componente do transporte é automatizado, trata-se de uma prensa *Transfer*. (Fig. 55 e 56).

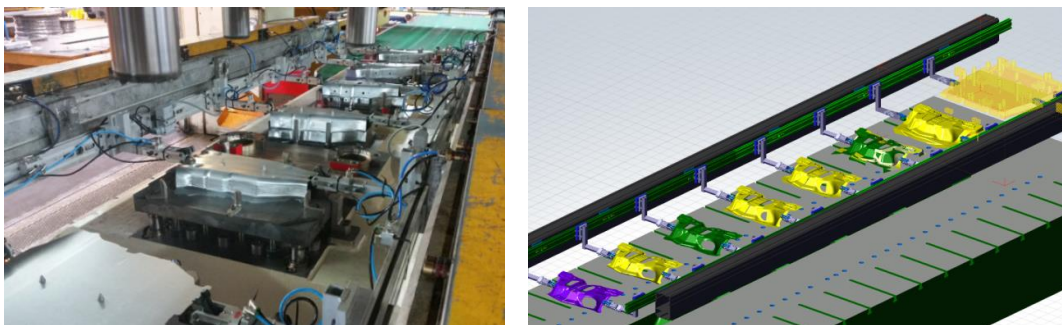


Figura 56 – a > Ferramenta *Transfer*; b > *Layout* Banda + Sistema *Transfer* (Kirchhoff Automotive Portugal)

2.6.1.2 Ferramentas Progressivas

Nas ferramentas progressivas (Fig. 57), a chapa é trabalhada em várias fases/passos em que as respetivas peças estão sempre interligadas á banda. A chapa é alimentada a partir de uma bobina utilizando um desenrolador e um planificador ou em forma de tiras. Recorrendo a um *layout* adequado dentro da largura de banda disponível para a conformação das peças, a quantidade de material necessário e assegurado será o ótimo. (Fig. 58).

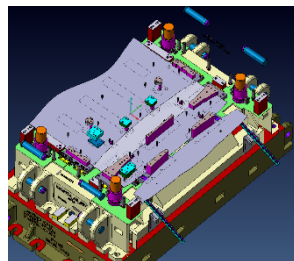


Figura 57 – Ferramenta progressiva de Corte (Kirchhoff Automotive Portugal)

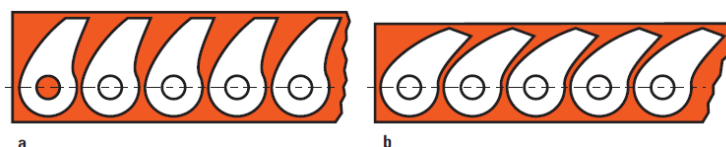


Figura 58 – a) *Layout* de banda de uma ferramenta progressiva; b) *Layout* otimizado da mesma banda de uma ferramenta progressiva (Schuler GmbH)

A peça (ou peças) permanecem sempre fixas à tira “esqueleto” até a última operação designada sempre por separação de peça. As peças são transferidas passo a passo quando a tira é deslocada na direção do fluxo de trabalho após a execução de cada operação. O comprimento de cada deslocamento é igual à distância da linha central entre as matrizes de passos seguidos, chamada regularmente por comprimento do passo. Guiamentos laterais, dispositivos de alimentação muito precisos e a pilotagem de banda garantem a precisão da peça relacionada com a alimentação. Na última operação, a peça está acabada e regra geral a última sequência, é a separação da peça (ou peças) do esqueleto da banda. As peças seguem o percurso produtivo através de um tapete transportador e outra parte que diz respeito ao esqueleto segue para sucata. Um campo de aplicação desta tipologia de ferramentas progressivo é, por exemplo, a produção de rotores ou estator para utilização em motores elétricos ou o corte de platinas para utilização em ferramentas transfere entre muitas outras aplicações na indústria em geral. Nas ferramentas progressivas compostas, são produzidas peças em que além de vários passos para realizar os cortes necessários são também estampadas, ou seja, neste tipo de ferramentas são produzidas peças com formas simples ou complexas.

Contudo, também neste tipo de ferramenta as peças permanecem agarradas ao esqueleto da banda até à última estação onde é realizada a separação de peça.

Devido à geometria das peças nomeadamente a sua altura, estas ferramentas geralmente tem implementado placas elevatórias para permitir a extração e movimentação da banda após a operação. (Fig.59).



Figura 59 – ESQ: Reforço (esquerdo e direito) estrutural de um veículo produzido por uma ferramenta progressiva composta. (Kirchhoff Automotive Portugal)

No que diz respeito a peças estampadas que não podem ser produzidas através do processo referido anteriormente, ou seja, ligadas entre si à banda para a sua movimentação pelo motivo de terem dimensões e geometrias complexas são alternativamente produzidas em ferramentas de *Transfer* referidas anteriormente onde não é utilizada a fixação da peça a uma banda para sua fixação e movimentação mas sim um sistema mecânico denominado de *Transfer* pertencente à prensa para fazer esta movimentação.

Nas ferramentas progressivas são conjugadas várias operações consecutivas, (Fig.60), ou seja, a cada *stroke* dado pela prensa a peça evolui para a estação seguinte até estar

finalizada, permitindo desta forma poder obter mais que uma peça por batimento independentemente do numero de operações a que está sujeita.

Este tipo de ferramenta é o mais usual devido às suas elevadas cadências de trabalho, são compactas e permitem a execução de peças com um grau de complexidade elevada. As operações que uma ferramenta progressiva pode conter em geral são as seguintes:

Corte; Furação; Dobragem; Pré estampagem; Calibração; Re-corte; Separação; Cravação de elementos na peça.

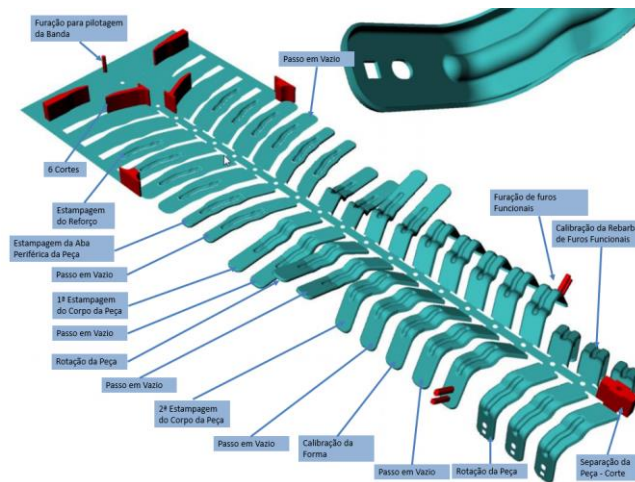


Figura 60 – Layout de banda de uma ferramenta Progressiva Composta (Kirchhoff Automotive Portugal)

2.6.2 Desenvolvimento de Ferramentas Estampagem

Tradicionalmente, as empresas de engenharia relacionadas com o desenvolvimento de ferramentas tem sido muito influenciadas pela indústria automóvel. As seguintes observações acerca do desenvolvimento de ferramentas de estampagem estão sobretudo relacionadas com a construção de ferramentas para a estrutura automóvel. Os contextos são, no entanto, feitos de uma forma fundamental ao seu funcionamento, de forma a poderem ser aplicáveis a todas as áreas envolvidas com a produção de ferramentas de conformação e corte de chapa.

2.6.2.1 Ciclo de tempo para produção em massa de um elemento estrutural automóvel

Até o final da década de 1980 alguns modelos de veículos automóveis ainda estavam a ser produzidos durante entre seis e oito anos (mais ou menos) com o seu *design* inalterado ou então com a sua forma ligeiramente modificada.

Aos dias de hoje, os ciclos de produção de um determinado modelo são definidos por apenas cinco anos ou muitas vezes menos. (Fig.60).

Na sequência da atual política de permanente atualização de modelos e criação permanente de novas vertentes, as exigências sobre fabricantes de ferramentas para estampagem de elementos metálicos para esta industria tiveram de sofrer também uma

fundamental atualização das suas políticas. Execução de contratos globais com muito maior alcance, tais como por exemplo Engenharia Simultânea (SE) são cada vez mais usuais. Como resultado desta alteração de políticas, o construtor de ferramentas é frequentemente envolvido na fase inicial de desenvolvimento da peça a estampar, bem como na fase de planeamento para todo o processo de produção. Por conseguinte, um amplo e maior envolvimento é estabelecido bem antes do desenvolvimento real e final da ferramenta de produção em massa.

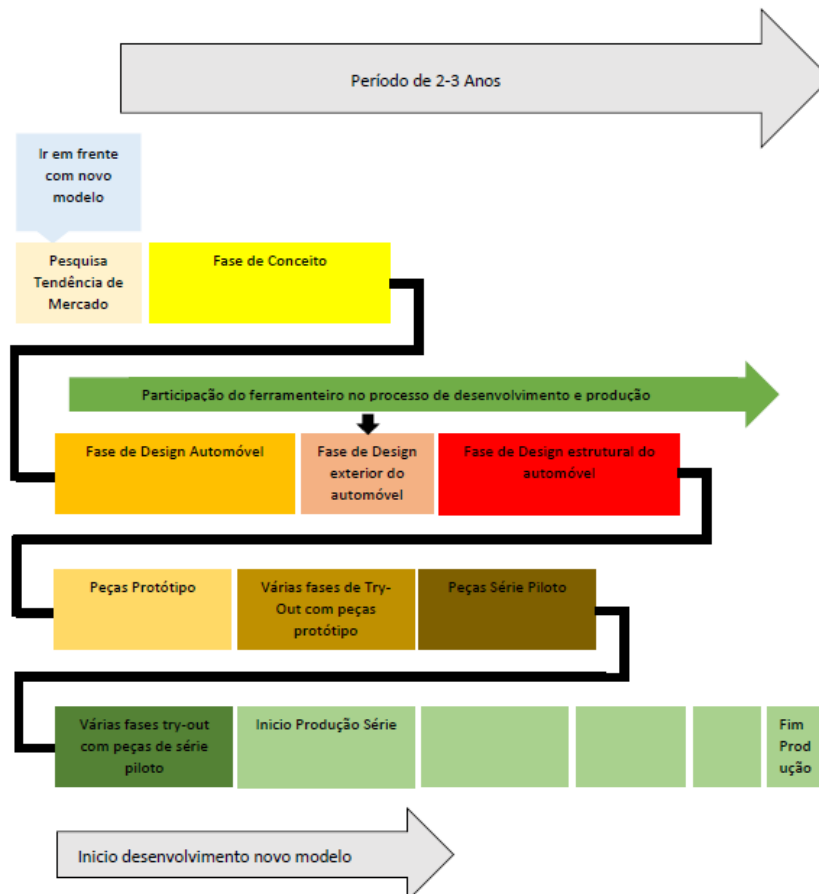


Figura 61 – Planeamento Geral para implementação de produção em massa de um elemento estrutural automóvel. (Wilson Nogueira, 2014)

2.6.2.2 Calendário de um projeto com Engenharia Simultânea

No contexto do processo de produção de componentes de carroçaria para veículos automóveis, apenas uma quantidade mínima de tempo é atribuída para o fabrico de ferramentas de estampagem. Em grande escala de ferramentas, há um período de cerca de 10 meses de *run-up* onde o *design* da ferramenta e respetivos *try-out* estão incluídos. Em projetos complexos com recurso também a engenharia simultânea, têm de ser concluídos entre 1,5 e 2 anos, muitas tarefas são realizadas em paralelo. Além disso, tem de ser fornecidos recursos adicionais antes e após a entrega das ferramentas. Estes períodos curtos exigem precisão no planeamento, *know-how* muito específico dos envolventes, capacidade disponível e o uso dos mais modernos sistemas tecnológicos e comunicações.

2.6.2.3 Dados e Desenho da Peça

O registo de dados e o desenho da peça servem de base para todas as subseqüentes etapas do processo. Estes descrevem todos os detalhes das peças a serem produzidas no futuro. A informação dada no desenho da peça inclui: identificação, numeração, espessura da chapa, especificação qualidade da chapa, tolerâncias da peça acabada, zonas utilizadas para *mating* com o conjunto final, entre outras informações específicas. Para evitar a produção de modelos físicos, os dados CAD devem descrever a geometria da peça completamente através de linhas, superfícies ou modelos de volume. Regra geral, os dados com a superfície da peça em alta qualidade de definição, geometria da superfície completa deve estar fechada e disponibilizada a todos os participantes do projeto o mais cedo possível (Fig.62).

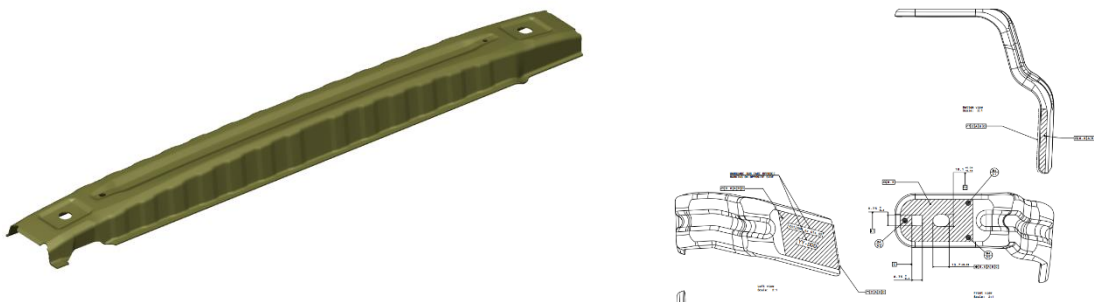


Figura 62 – Exemplo 3D e 2D de duas peças e serem produzidas para a indústria automóvel (Kirchhoff Automotive Portugal)

2.6.2.4 Métodos e Processo de Simulação

As técnicas de simulação assistidas por computador, como por exemplo a análise do processo de deformação sem uso de quaisquer elementos de ferramenta físicos, são utilizadas cada vez mais para substituir o uso de protótipos. O uso desta tecnologia é bastante mais prático e rápido tirando partido do atual crescimento e desenvolvimento de *softwares* específicos que permitem o processamento de elevadas quantidades de dados neste caso com base em elementos finitos. Para além desta vantagem, os *softwares* usados no processo de simulação são de elevada confiança e mais simples de usar.

Para a avaliação dos dados geométricos dos elementos da ferramenta e da peça durante o processo de conformação, é utilizado o *layout* de banda já definido, a forma dos elementos de conformação, bem como alguns parâmetros de produção como por exemplo rugosidade da matéria-prima e da superfície dos elementos significativos da ferramenta como a pressão e tipologia de “travões” para não permitir o escoamento excessivo da chapa durante a estampagem. Os resultados para a respetiva avaliação são de simples visualização e interpretação através de equações matemáticas e conceitos plasto-mecânicos experimentalmente comprovados em laboratório. Simulações analíticas e numéricas fazem parte destas soluções.

Os métodos numéricos, em particular o Método de Elementos Finitos (MEF), entregam hoje resultados com elevada precisão. Elementos de estampagem de uma ferramenta podem ser quase completamente e interactivamente analisados relativamente aos critérios de falha mais significativos para determinado processo. Os resultados são a

distribuição de tensões (lágrimas) assim como a tendência para a enrugamento e a variação da espessura da peça após terminada conformação. (Fig.63)

As medidas necessárias e os pré-requisitos para a execução de simulações são as seguintes:

Preparação dos dados CAD do punção de forma e matriz; Determinação das dimensões de banda; Dados referentes aos parâmetros do processo, direções da laminação da matéria-prima, força de estampagem e condições de atrito; Definição do tipo de malha para a simulação; Início do processo de cálculo.

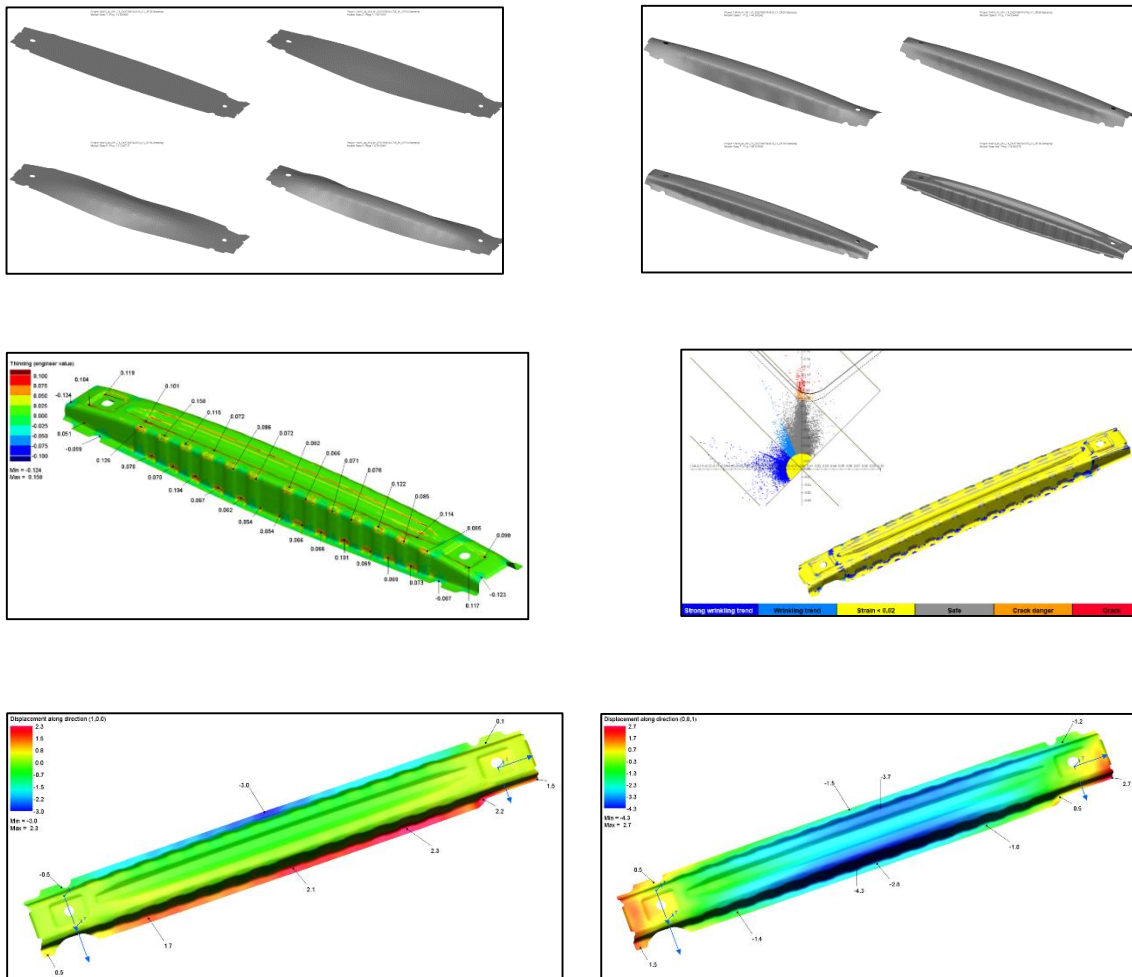


Figura 63 – Simulação para a conformação da peça (a e b > Simulação enrugamento durante conformação; c > Simulação da espessura mínima do material após estampagem; d > Tendências ao nível de qualidade da peça; e e f > Simulação do *Springback* para o eixo X e Y) (Kirchhoff Automotive Portugal)

Através da alteração do processo e parâmetros da ferramenta, a simulação pode ser repetida tantas vezes quanto as necessárias, até ao ponto de ser obtido o máximo de eliminações de falhas visíveis na simulação. A maior otimização possível deve ser garantida.

A vantagem deste processo de simulação reside no facto de qualquer objetivo e alterações nos componentes necessários podem ser introduzidos a qualquer momento antes do fabrico físico dos elementos seja iniciado. Medidas específicas para o controlo do fluxo do material, por exemplo através da forma da peça em bruto podem ser

simulados. Da mesma forma e com elevada importância na qualidade e capacidade de processo, são calculados e compensados os efeitos de *springback*.

Através do processo de simulação, os *designers* do processo e projetistas de ferramentas recebem os resultados das simulações com elevado nível de confiança na fase inicial no respetivo desenvolvimento e que contribuem em grande escala para a produção de uma ferramenta de elevada qualidade quer a nível de resultados de qualidade de peça ou no seu próprio funcionamento.

2.6.2.5 Layout do Processo e Desenvolvimento dos elementos de estampagem

A definição do *layout* do processo, que significa a sequência das operações a serem seguidas na produção de um componente com recurso a métodos de estampagem, é desenvolvido a partir dos dados CAD e 2D da peça finalizada (Fig.62).

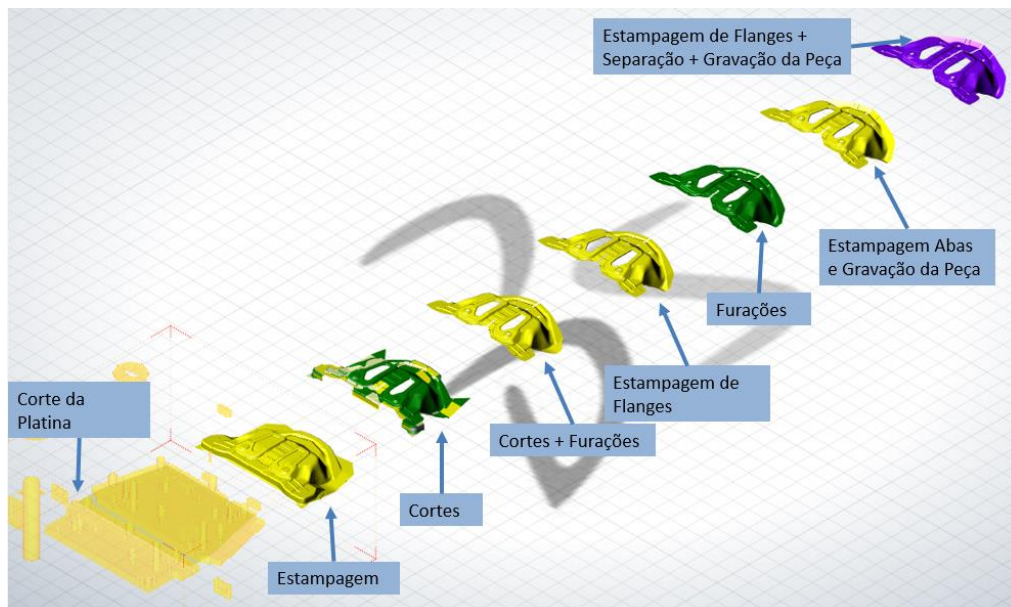


Figura 64 – Layout de Banda de uma ferramenta transfer. (Kirchhoff Automotive Portugal)

Para este ponto tem de se ter em conta várias condições de limite como por exemplo: o tipo de matéria-prima e características a utilizar, a prensa para o qual a ferramenta foi orçamentada, o tipo de transferência das peças a utilizar para este caso específico, o transporte da sucata para o exterior da ferramenta, os “*cut-outs*” ou pontos de interceção no corte da peça *Trim* para que sejam bem localizados não tendo impacto na qualidade de peça e o seu *mating* com outras peças do conjunto (Fig.65), assim como a localização de pontos para posicionamento da peça durante o processo.

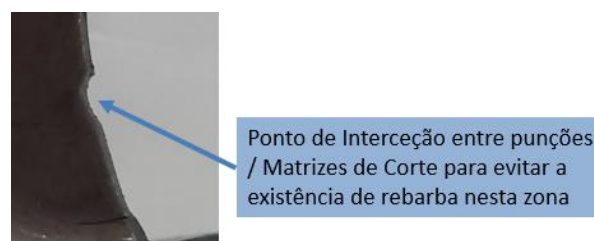


Figura 65 – Ponto de interceção entre Cortes de uma peça. (Kirchhoff Automotive Portugal)

O desenvolvimento do posto de conformação da peça, através do CAD da peça, e da definição de *layout* já realizada anteriormente assim como a área de suporte da chapa são desenvolvidos o passo de estampagem e se necessário também um segundo passo, todo este processo exige uma considerável experiência. Com o objetivo de reconhecer eventuais problemas são realizadas várias simulações inteligentes interativas através de *softwares* específicos utilizando várias características pré definidas relativas ao processo com o objetivo de atingir a melhor forma física dos elementos de estampagem da ferramenta e evitar desta forma por exemplo fissuras, enrugamentos, estiramentos, espessuras mínimas abaixo do especificado entre outros defeitos que através deste método é possível de simular e prever na sua grande maioria não deixando assim a necessidade de modificação após ensaio, existindo sempre algum risco associado a este métodos de simulação, nomeadamente em peças com índice de complexidade muito elevada. (Fig. 63)

Regra geral existe uma aprovação pela equipa após terminada a definição do *layout* de processo e a sua análise a todos os detalhes assim como todas as simulações necessárias para os postos de estampagem (visto que as simulações podem interferir no *layout* e obrigar a modificações deste de forma a obter resultados positivos). Processo normalmente chamado de “*Layout Approval*”

Esta aprovação em geral contempla os seguintes pontos presentes num *Check List*:

Informação Geral

Identificação do projeto; Tipologia da ferramenta; Equipa do projeto; Tipo de matéria-prima para a peça a produzir; Dimensões da matéria-prima e passo da ferramenta; Identificação da prensa onde está previsto a montagem da ferramenta; Volumes anuais de produção; Quantidade de peças por *stroke*; Velocidade mínima da ferramenta; Fábrica onde vai ser produzida a peça; Identificação se existe modificação das dimensões da matéria-prima e passo relativamente ao original (calculado original); Quantidade de matéria-prima necessária para os ensaios da ferramenta no construtor;

Prensa:

Altura de trabalho e de descanso prevista para a ferramenta; Altura de alimentação; Passo, elevação e abertura prevista para o transfere; Tipologia para as saídas de sucata; Método geral do *layout* da banda de acordo com o método calculado;

Notas:

Entre outras notas que podem ser descritas como correções imediatas a fazer ou características a ter em conta na fase de projeto da ferramenta.

2.6.2.6 Desenvolvimento da Ferramenta

Após o lançamento do *layout* de banda, desenvolvimento da conformação e desenho da prensa, o desenvolvimento da ferramenta é iniciado. Regra geral, nesta fase, as normas e especificações para fabrico de ferramentas requeridos pelo cliente tem de ser consideradas, ou seja, deve ser seguido o respetivo caderno de encargos disponibilizado pelo cliente.

Apenas desta forma, é possível obter um *design* de ferramentas standard considerando os requisitos específicos do cliente como por exemplo no que diz respeito ao armazenamento e transporte da ferramenta, o uso de elementos de desgaste standard,

métodos de montagem na prensa como o uso de sistemas *Serrapid*, uso de sistemas *poka-yoke* para evitar elementos erradamente montados durante futuras manutenções, uso de determinados tratamentos em determinados componentes da ferramenta e revestimentos de superfície, métodos de saída de peça entre outros itens. Muitas ferramentas são também desenvolvidas de forma a poderem ser instaladas em mais do que uma prensa de forma a ser garantido um *backup* rápido em caso de avaria da máquina. Para este item ser garantido, a ferramenta tem de garantir em muitos dos casos diferentes formas de fixação, alturas de alimentação de banda, diferentes cursos de funcionamento evitando ao máximo a necessidade de uso de placas adicionais, canais para saída de sucata e saídas de peça (por exemplo prensas diferentes podem ter diferentes dimensões dos canais interiores e exteriores para saída de sucata assim como diferentes transportadores de peças) entre outros itens dependendo também do tipo de prensa. Além dos pontos referidos anteriormente, deve ser levado também em conta a existência (ou não) da possibilidade/necessidade futura da ferramenta que é desenvolvida para trabalhar numa prensa de ação simples poder ser instalada numa prensa de dupla ação (Fig.66).

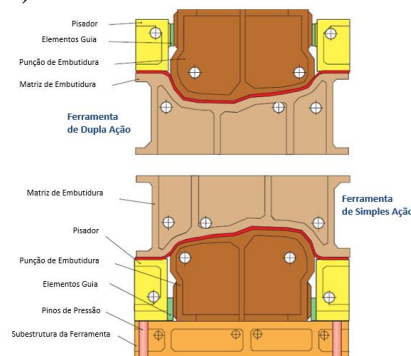


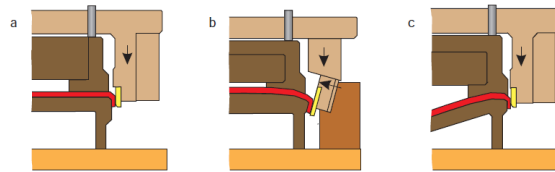
Figura 66 – *Design* básico entre ferramentas com efeito simples e duplo (Schuler GmbH)

No desenvolvimento e dimensionamento de uma ferramenta, é particularmente importante ter em conta o diagrama do movimento disponível na horizontal, vertical e fecho/abertura das barras *Transfer* associadas á prensa, para tal devem de ser considerados os simuladores normalmente disponíveis de forma a simplificar e aumentar a rapidez do desenvolvimento. Estes diagramas descrevem os movimentos relativos entre os elementos do mecanismo do *Transfer* e a ferramenta durante um curso completo de trabalho. O movimento de elevação do carro da prensa, os movimentos de abertura e de fecho das barras *Transfer* e o movimento longitudinal de todo o *Transfer* são sobrepostos. As ferramentas são assim projetados de forma a não existirem colisões, necessitando assim de alívios para os elementos em movimento do *Transfer*, deve ser assegurado uma distância mínima de cerca de 20 mm entre os componentes da ferramenta e do sistema de transferência que trabalham entre si.

O guiamento superior e inferior das ferramentas assim como as reações asseguram as forças de cisalhamento e assim são dimensionados de acordo com as forças previstas durante os cortes, furações e estampagens. Contrarreações implementadas em zonas estratégicas das ferramentas demonstram “quase” zero movimento lateral e uma pressão consistente e imutável do conjunto punção/matriz durante o funcionamento. Além disso, estes elementos reduzem a inclinação da matriz e do carro da prensa durante funcionamento. Desta forma é conseguida, uma consistente e alta qualidade global de peças estampadas.

Com o objetivo de evitar erros e potenciais problemas em algumas áreas mais tarde durante a produção série, o chamado FMEA “*Failure Mode and Effects Analysis*” é

usado com elevado sucesso comprovado durante a fase de concepção com a estreita colaboração de todos os envolvidos com o projeto. O *design* das peças estampadas e o seu posicionamento nos elementos da ferramenta têm uma grande influência na capacidade da produção série. Componentes produzidos através de processo de estampagem bem desenhados utilizando a maior simplicidade possível tem como resultado o baixo custo de produção, fácil produção, ferramentas mais simples e sua manutenção de baixo custo. Por outro lado, componentes estampados de elevada complexidade, envolvem grandes custos ao nível de ferramentas pelo facto de terem um maior nível de complexidade e que são mais dificilmente integrados no processo de produção série. Utilizando “inclinações” no posicionamento de peças complexas nas matrizes/punções pode compensar os aspetos negativos de uma geometria da peça desfavorável. Por exemplo, para fazer flanges, a peça pode ser rodada de tal forma a que a direção de trabalho possa ser o mesmo sentido do movimento para fazer a flange (Fig.67). No entanto, muitas vezes para isto ser possível é então necessário aumentar o número de matrizes/punções ou mesmo do número de paços, o que resulta em aumento de custos de produção.



- a > Construção da ferramenta simples para peças de estampagem utilizando uma geometria simples;
- b > Construção da ferramenta de elevado custo com recurso ao uso de uma came para fazer a dobra com angulo negativo (peça com geometria complexa);
- c > Construção da ferramenta simples e geometria da peça complexa, ferramenta desenvolvida com recurso á rotação adequada da peça para melhorar a posição de trabalho e que desta forma simplificou a construção da ferramenta.

Figura 67 – Melhoria para o posicionamento da peça por meio de movimento giratório na operação de dobra (Schuler GmbH)

A utilização de sistemas CAD para projetar ferramentas nos dias de hoje é comum e inevitável, mesmo que o método de projeto convencional seja algumas vezes mais económica. No entanto, considerando os custos totais de produção, a alta qualidade utilizando os sistemas CAD para fazer projetos de ferramentas e elementos de fundição são fornecidos como um subproduto.

Outra vantagem da utilização do desenho de CAD para projetar ferramentas, na medida em que se baseia em modelos volume, é a possibilidade de fazer sistematicamente durante o desenvolvimento os testes de colisão quando se dá os respetivos movimentos para o funcionamento mecânico, o que contribui claramente para a redução de erros e consequentemente de custos. *Layout* de banda, desenhos individuais de todos os elementos da ferramenta são disponibilizados através deste sistema. O uso geral da tecnologia CAD/CAM no fabrico de ferramentas tem muitas vantagens inerentes como a rapidez de programação para produção, exatidão na fabricação e redução de tempo e custos.

Tal como a aprovação existente para o *Layout* da banda, regra geral existe também uma aprovação pela equipa após terminado o projeto da ferramenta e sua análise a todos os detalhes normalmente chamado de “*Design Approval*”

Esta aprovação em geral contempla os seguintes pontos presentes num *Check List*:

Informação Geral:

Identificação do projeto; Tipologia da ferramenta; Equipa do projeto; Tipo de matéria-prima para a peça a produzir; Dimensões da matéria-prima e passo da ferramenta; Identificação da prensa onde está previsto a montagem da ferramenta; Volumes anuais de produção; Quantidade de peças por *stroke*; Velocidade mínima da ferramenta; Fábrica onde vai ser produzida a peça; Identificação se existe modificação das dimensões da matéria-prima e passo relativamente ao original (calculado original);

Prensa:

Altura de trabalho e de montagem da ferramenta na máquina; Altura de alimentação; Passo, Elevação, Abertura do transferidor se aplicável; Altura da placa de fixação da ferramenta; Centramento da ferramenta; Elementos de transporte da ferramenta; Peso total da ferramenta;

Identificações:

Posição e gravação das peças com toda a identificação necessária; Elementos de gravação com *poka-yoke* instalado; Gravador da data de produção;

Posição de Peça:

Pré-posicionadores; Posicionadores; Elevação;

Materiais aplicados na construção da ferramenta:

Elementos de conformação inferiores; Elementos de conformação superiores; Almofadas; Punções de corte; Matrizes de corte; Pisador;

Ferramenta:

Guiamento da banda; Identificação 1º Corte; Controlo de passo; Força final no posto de estampagem; Verificação distâncias entre vários elementos; Tipologia de molas a gás utilizadas; Fixação de segurança para os pisadores; Fixação de segurança para todas as cavilhas superiores; Pinos de extração nos punções de corte, matrizes de corte e na ferramenta superior para extração da banda; Reações para punções de corte e de estampagem;

Fluxo do Processo

Banda é alimentada sem qualquer colisão; O espaço existente para a alimentação da banda é suficiente; A banda é alimentada de forma segura; A banda não tem excessiva vibração durante alimentação;

Sucata;

As saídas existem (para com a prensa); As sucatas quando rodadas na diagonal (3D) não boqueiam; Existem todas as saídas de sucata;

Garras Transfer:

Tipologia das garras transferidor com rotação ou sem rotação; Todas as garras tem sensor de presença de peça;

Notas:

Entre outras notas que podem ser descritas como correções imediatas a fazer ou características a ter em conta para correção no projeto da ferramenta.

2.6.2.7 Montagem e *Try-Out* no Fabricante da Ferramenta



Figura 68 - Ferramenta montada na prensa durante ensaio dinâmico (Kirchhoff Automotive Portugal)

O fabrico com elevada precisão e a qualidade de acabamento final dos elementos são algumas das vantagens de um projeto suportado por sistemas CAD, estas duas vantagens simplificam consideravelmente as tarefas da montagem final. O tratamento geral dos dados dá acesso a informações teóricas de contorno, livre de erros e sem necessidade de se recorrer ao uso de outros aparelhos dispendiosos. De qualquer forma, a mão-de-obra qualificada e o conhecimento técnico para os técnicos que fazem a montagem final da ferramenta continua a ser necessária e essencial. Em particular, nos primeiros ensaios ou nas fases de *try-out* quando o fabricante da ferramenta tenta produzir as primeiras peças com boa qualidade após a primeira montagem da ferramenta na prensa, este conhecimento técnico e qualificação torna-se claramente evidente e necessário se o *design* teórico não for 100% correto para obter peças 100% OK após a montagem da ferramenta. A utilização de ferramentas protótipo ou métodos de simulação, são claramente, uma grande ajuda. Existem no entanto, outros fatores adicionais que podem implicar na qualidade final das peças estampagens obtidas com ferramentas finais de produção. A qualidade do fabrico das superfícies de estampagem e das suas reações, a retificação final das superfícies, o correto guiamento da ferramenta nas suas colunas, o “batimento” uniforme de todos os elementos de trabalho na ferramenta, o bom estado de manutenção da prensa a utilizar referindo por exemplo a elevada importância do paralelismo entre a mesa e o carro da máquina para que não sejam originados desvios no batimento da ferramenta.

Tal como a aprovação existente para o *Layout* da banda e projeto da ferramenta, regra geral existe também uma aprovação pela equipa após terminada a montagem da ferramenta e feitos os ensaios pelo fornecedor (Fig. 68). Normalmente chamado de “*Tool Acceptance report*” preenchido durante o “*Buy-Off*” onde é feito o ensaio dinâmico e estático da ferramenta pelo cliente da ferramenta antes de esta ser enviada para a fábrica onde vai produzir.

Esta aprovação em geral contempla os seguintes pontos presentes num *Check List* para preenchimento e verificação:

Informação Geral:

Identificação do projeto; Tipologia da ferramenta; Equipa do projeto; Tipo de matéria-prima para a peça a produzir; Dimensões da ferramenta; Altura de alimentação da ferramenta; Peso da ferramenta; Dimensões da matéria-prima; Elementos da ferramenta com necessidade de revestimento superficial;

Identificação:

Pintura da ferramenta e identificação;

Pontos Gerais para a Ferramenta:

Centramento, fixação (manual e automática) e curso necessário da ferramenta em “linha” com a prensa; Elementos de elevação da ferramenta de acordo com a especificação; Todas as estações tem cavilhas com as bases; Blocos de descanso servem para a sua funcionalidade; Blocos de descanso identificados; Todos os elementos moveis tem lubrificação; Todos os elementos da ferramenta com peso superior a 12kG tem furos para colocar elementos de elevação; Elementos de gravação da peça corretos e com *poka-yoke* implementado; Possível atualizar a data de produção com a ferramenta na prensa; Todos os elementos ativos tem *poka-yoke* contra montagem errada; Todos os elementos da ferramenta estão identificados; Todas as molas a gás estão implementadas de acordo com as especificações;

Ferramenta Superior:

Ferramenta superior com *poka-yoke* contra montagem ao contrário; Todos os punções tem folga mínima de 0.3 - 0.5 com o pisador; Pinos extratores implementados nos punções e na extração da banda; Todos os porta matrizes ou punções tem 2 cavilhas de posição; Os limitadores dos pisadores tem comprimento *standard*; Todos os punções tem pinos de extração; Espessura mínima do pisa 35mm exceto elementos *standard*; Todos os punções vs pisadores tem funcionamento entre si livre e sem contacto; Todos os punções de corte não circulares tem *poka-yoke* contra montagem errada; Todos os punções e matrizes estão em boas condições; Todos os porta punções ou matrizes tem espessura mínima 10mm exceto elementos *standard*; Todos os elementos superiores tem “*pin locks*” instalados;

Ferramenta Inferior:

Todas as guias tem furação para saída de ar; Todos os elementos de suporte dos punções tem reação; Os elevadores com elevação superior a 40mm estão guiados em colunas; Os elevadores podem ser desmontados para cima; Placa de choque para todas as matrizes tem altura mínima de 32mm exceto elementos *standard*; Todas as matrizes de furação com determinada forma não circular tem *poka-yoke* contra montagem errada; Todas as matrizes de corte estão em boas condições; Todos os punções de corte entram dentro da matriz mínimo 5mm; Todos as saídas de sucata estão abertas; Todas as rampas de saída de sucata estão instaladas; A identificação da linha do primeiro corte está correta; As peças durante a saída não podem ser misturadas;

Estampagem:

Batimento da peça uniforme e de acordo com a exigência dimensional da peça; A elevação e o pisador está protegido na sua redundância; A retenção da matéria-prima é suficiente e alinhada; A furação para saída de ar durante estampagem é suficiente; Em todos os elementos de estampagem existem pino de extração; Todos os elementos de estampagem tem a dureza superficial e polimento suficiente; As almofadas para estampagem estão corretamente ajustadas e sem folgas durante o movimento; A pressão necessária e correta para as almofadas estão assinaladas na ferramenta de forma bem visível junto dos elementos; As molas a gás estão ligadas e protegidas; A espessura mínima do material após estampagem está de acordo com as especificações do produto;

Classificação da estampagem:

Gravação do cliente correta; Traceabilidade do lote e logotipo do cliente corretos; peças em marcas e rebarbas; Peças sem espessura abaixo da especificação mínima, fissuras ou sobreposição do material; Furação de acordo com a especificação; Pontos de interceção dos cortes corretos; Relatórios dimensionais das peças OK; Peças controladas no Gabarit estão OK; O material usado está de cordo com a especificação;

Questões adicionais:

Se necessária nova aceitação; Se a ferramenta está pronta para disponibilizar para ensaio interno “Homeline”; Data de chegada da ferramenta á fábrica onde vai produzir em série; CAD está atualizado e finalizado;

Plano de ações Especifico:

Durante o *Buy-Off* da ferramenta no construtor é realizado em paralelo com o *Check-list* um plano de ações especifico com os pontos em aberto, a serem fechados antes da ferramenta ser enviada para a fábrica onde vai produzir em série. (Fig. 69)

Action Plan		Task Identification 1				
no.	open item	action	resp.	due date	status %	link
02	Missing identification on engineering block	print 6 rings plate and 50 mm around in full, D06	Supplier		0%	
03	Missing gas springs to initiation of the 1st bending stage	Addressing gas springs	Supplier		0%	
04	Opening ICK in last two bending stages	Improve opening in all radius of the last 2 bending stages	Supplier		0%	
6	Quality of the part	IKC in some surfaces and some TRB lines according Check reports of 15.05.16 for all used format version 40	Supplier		0%	
7	Several punch and die set with correct position (Diameter and side)	Make Corrections in position between punch and die and punch of measure. Control gas marks 100% of material diameter	Supplier		0%	
8	Die punch central well in all square holes	Open pocket in order strip can fall correctly in diagonal. Pocket must be bigger than diagonal dimension of the strip.	Supplier		0%	
9	Assembly elements in top of the tool in bending in side use of the area CC107		Supplier		0%	
10	Position of the TRB punches not well defined	No adjust reactions	Supplier		0%	
11	In initial bending stages, the 4 lateral sheet in square punch stage are not seen as good example of this	Open the pocket and see sheets inside this in order to assure robustness of the sheet during work	Supplier		0%	
12	In second bending stage, the hole of the punch is not well closed surface to work with reaction	Send surface in correct direction in order to work well with reaction. Make the adjust in this square hole in this stage	Supplier		0%	
13	Gas springs in last bending stage with 3 holes in them	Check the correct hole in order gas spring into an assembly in right position	Supplier		0%	
16	Several square punch dimensions with the same body diameter, not protected against inter assembly	Change body diameter between square punch with different dimension	Supplier		0%	

Figura 69 – Plano de ações aberto durante os testes da ferramenta no construtor (Kirchhoff Automotive Portugal)

Durante o “*Buy-Off*”, além das peças serem controladas no gabarit de controlo é também exigido ao fornecedor que apresente os respetivos relatórios dimensionais de peças produzidas neste ensaio.

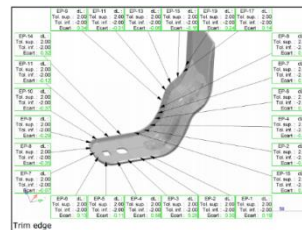
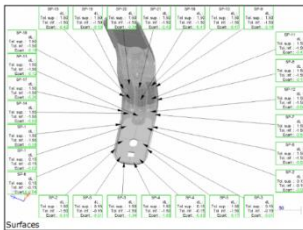


Figura 70 – Exemplo de relatórios dimensionais apresentados por um fornecedor durante o “Buy-Off” de determinada ferramenta (Kirchhoff Automotive Portugal)

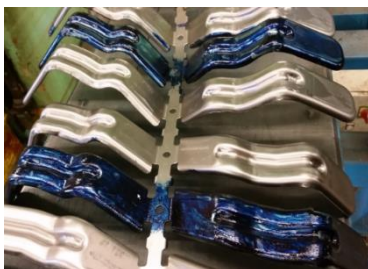


Figura 71 – a> Banda pintada após teste da qualidade da pressão exercida pelos punções e matrizes na estampagem e calibração da peça; b> Elementos de estampagem pintados após verificação da qualidade da pressão exercida com resultado negativo (Kirchhoff Automotive Portugal)

Nesta fase e como já referido anteriormente é de elevada importância para a qualidade de peça e sua estabilidade a verificação do “batimento” uniforme e correto principalmente em todas as zonas funcionais da peça assim como superfícies de *mating*. Para isto a banda é pintada com tinta específica em todas estas zonas dos dois lados da peça e todas as zonas que contem furações ou cortes são retiradas da banda porque esta vai ser “batida” novamente (sem ser alimentada) e os cortes ou furações iriam ficar danificados. A banda é “batida” novamente sem avançar para que seja perfeitamente visível a qualidade da pressão realizada pelas matrizes e punções, se fosse avançada a tinta iria sair na sua maioria ao sofrer a estampagem. (Fig 71)

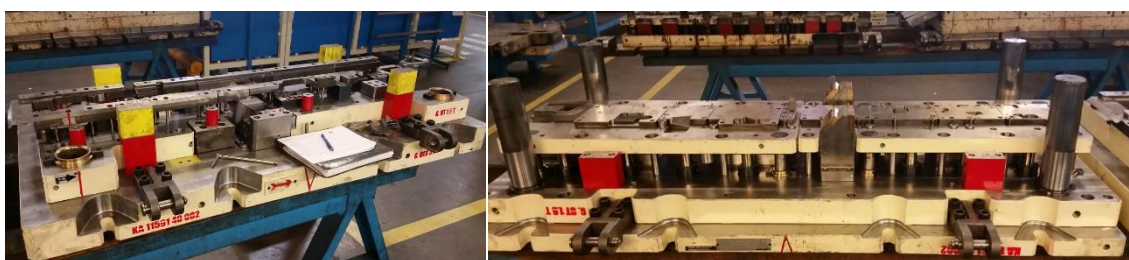


Figura 72 – Ferramenta “aberta” parte superior e inferior durante ensaio estático no construtor da ferramenta (Kirchhoff Automotive Portugal)

2.6.2.8 Try-Out Linha Final de Produção e Aprovação da Ferramenta

Durante o 1º *Try-out* de determinada ferramenta na fábrica onde vai ser feita a produção série, este deve ser sempre acompanhado pelo construtor da ferramenta pelo fato de muitas das vezes existirem no que diz respeito á qualidade de peça diferenças de resultados entre máquinas e também pelo fato de que o try-out na fábrica é sempre feito com produção em contínuo enquanto no construtor da ferramenta é feito com alimentação de banda em manual e por esse motivo também de forma lenta. Assim, muitas das vezes o construtor da ferramenta faz pequenos ajustes ao nível de qualidade peça já na fábrica de produção série.

Nesta fase também é realizado o try-out dinâmico e estático. No primeiro como já referido, a ferramenta deverá trabalhar á velocidade orçamentada para esse projeto e a qualidade peça deverá estar OK ou caso contrário o construtor fará aqui as correções (em caso limite a ferramenta voltará para o construtor para ser corrigida). São verificados também outros pontos como por exemplo a estabilidade da banda durante o avanço e estampagem assim como a estabilidade da saída de peça, saídas de sucata, estabilidade da qualidade de peça entre outros detalhes que podem variar dependendo do tipo de ferramenta.

Após o try-out dinâmico é feito o estático, aqui são verificados todos os pontos que foram abertos durante o “*Buy-Off*” no construtor e identificados no documento “*Tool Acceptance Report*” e no plano de ações aberto para o efeito. Estas ações nesta fase deveram estar todas fechadas.

Diz também respeito em geral fazer durante o 1º try-out da ferramenta na fábrica de produção série a restante verificação de alguns pontos *standard* para esta etapa.

Esta aprovação em geral contempla os seguintes pontos presentes num *Check-List* para preenchimento:

Pontos Gerais a Confirmar Durante Try-Out na Fábrica em Produção Série:

Confirmar se a prensa é a identificada no cálculo do projeto; Velocidade máxima atingida garantindo todas as exigências para o processo e qualidade; Tonelagem da prensa utilizada; Altura de trabalho; Número de trabalhadores necessários; Todos as garras transfere tem sensores peça; Para todas as garras do transfere tem na ferramenta os alívios necessários para todo o percurso; A peça/banda é alimentada de forma correta e suave; Existem sensores de presença de peça na ferramenta; Linha de identificação do 1º corte está OK; Distancias entre estações corretamente ajustadas; O material flui corretamente durante a alimentação; O controlo de paço funciona corretamente; A remoção das peças é suficiente; As peças esquerdas e direita são separadas;

Após todo este processo finalizado a ferramenta estará em condições de ser aprovada e disponibilizada á produção autónoma de série na fábrica.

3 Conclusões

Atualmente com o elevado desenvolvimento dos materiais utilizados para a construção do automóvel é de veras importante também o desenvolvimento da indústria da estampagem de componentes metálicos. O automóvel entre o século XX e XXI sofreu profundas alterações de conceito na sua realização, que nos permite entender as tendências que começaram a emergir e dispor de visão do que o futuro nos poderá trazer. Atualmente em virtude das exigências quanto a Segurança, proteção ambiental e conforto, são incorporados componentes adicionais nos veículos, como é o caso das unidades de ar condicionado, etc., que contribuem para o aumento de peso do veículo. Por outro lado, a implementação de medidas de redução de peso no projeto dos veículos implica que se procurem novos conceitos. É com essa finalidade que se utilizam diferentes chapas de aço de alto limite de elasticidade (HSS), ligas leves e plásticos.

Estes novos materiais e a tendência para a utilização de componentes complexos colocam as mais elevadas exigências aos processos de conformação plástica. A exigência em novos materiais, métodos de produção e processos é criada á produção pelo mercado, pela competição e pela legislação. Por exemplo, a proteção ambiental, a economia de combustível e as especificações de segurança abrigam a conceitos de menor peso e a estruturas preparadas para o choque, exigências estas que estão longe de ser estáticas e são cada vez mais restritivas, devido á competição. Dai a importância de continuar o elevado desenvolvimento da área de estampagem.

4 Trabalho futuro

Considerando a área de estampagem de elevado potencia e interesse ao nível industrial, é de grande importância para trabalhos futuros e onde certamente me aprofundarei no futuro próximo os temas teóricos e práticos relacionados com o processo específico ainda com maior detalhe acerca da Dobra, Corte, Estampagens Profundas utilizando material com elevado limite elástico e Simulações de estampagem.

5 Referencias Bibliográficas

BLAZNSKI T.Z., Design of Tools for Deformation Processes, Elsevier Applied Science Publishers, London, 1986.

BRITO, Osmar de. *Estampos de Corte*. São Paulo : Hermos

Flegel 2001: Heinrich A.Flegel, “The challenger of car manufacturing in the 21st Century” – 2001

INE 2005: Instituto Nacional de Estatística, quadros de informação geral – PIB e a sua evolução, contas nacionais anuais preliminares – 1995/2002

Kirchhoff Automotive Portugal: Bibliografia / Documentação

LANGE, K: Umformtechnik, Band 1: Grundlagen, Springer-Verlag, Heidelberg (1984).

Maderner 2001: Maderner, S. “Automobil Industrie 46. Jahrgang, Heft 3, Vogel Verlag, Wurzburg, S.24, 2001.

OLAF Diegel: Complete Design Services, July 2002

Schuler Group: Bibliografia / Documentação

WZL/Fraunhofer IPT: Simulation Techniques in Manufacturing Technology, Lecture 3

YOSHIDA, Américo. *Ferramenteiro (Corte-Dobra-Repuxo)*. São Paulo : Oren.