

SELEÇÃO DE AÇOS E TRATAMENTOS TÉRMICOS PARA FERRAMENTAS DE CONFORMAÇÃO A FRIO – ESTAMPARIA

Eng. Shun Yoshida

**Engenheiro de Aplicação da Brasimet Comércio e Indústria
S.A.**

CONTEÚDO

1. Introdução
 2. Mecanismos de falha de ferramentas de conformação a frio
 - A. Desgaste
 1. Desgaste Abrasivo
 2. Desgaste Adesivo
 3. Mecanismo “real”
 - B. Lascamento
 - C. Deformação Plástica
 - D. Trinca Catastrófica
 - E. Caldeamento
 - F. Mapa Resumo das causas das falhas
 3. Relação entre os principais mecanismos de falha e as propriedades mecânicas desejadas na ferramenta
 4. Fatores que influenciam a vida útil de uma ferramenta de conformação a frio
 - a. Aço Ferramenta
 - b. Tratamento térmico
 - c. Tratamento de superfície
 - d. Fabricação da ferramenta
 - e. “Luz” de corte
 5. Conclusão
 6. Bibliografia
-

1. INTRODUÇÃO

O processo de ESTAMPAGEM pode ser definido como um processo de CONFORMAÇÃO MECÂNICA À FRIO, na qual obtém-se peças mecânicas por mecanismos de CORTE, DOBRA e REPUXAMENTO de chapas de aço.

Para efeito didático, podemos dividir o processo de Estampagem em dois grandes grupos: o processo Convencional, e o processo Corte Fino (Precisão).

A diferença fundamental entre os dois processos, é a qualidade da aresta cortada: no processo convencional, o corte ocorre somente a aproximadamente 1/3 da espessura da chapa, ocorrendo nos 2/3 restantes, um “rompimento” (“estouro”); no processo Corte Fino, ocorre corte em toda a espessura da chapa.

A fig.1 ilustra esquematicamente os dois processos.

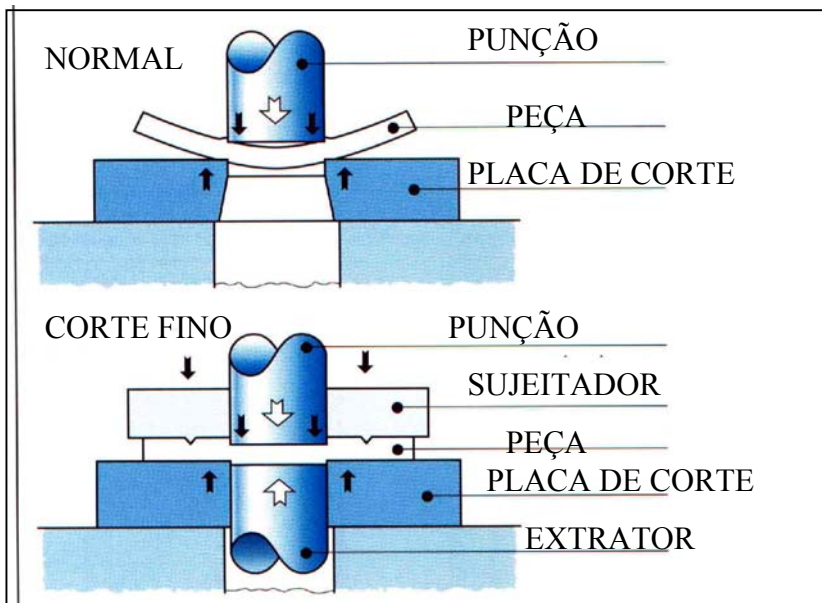


Fig.1: Esquema dos processos convencional e Corte Fino (2)

2. MECANISMOS DE FALHA DE FERRAMENTAS DE CONFORMAÇÃO A FRIO

A literatura disponível traz cinco tipos básicos de mecanismos de falha de ferramentas para conformação a frio:

- *Desgaste*
- *Lascamento*
- *Deformação Plástica*
- *Trinca Catastrófica*
- *Caldeamento*

A fig.2 ilustra estes mecanismos esquematicamente.

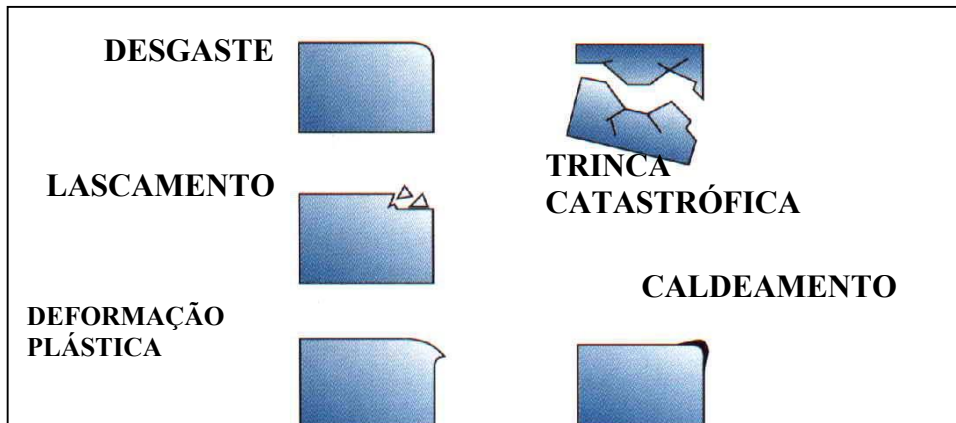


Fig.2: Ilustração esquemática dos mecanismos de falha em ferramentas de estampagem (1)

A .*Desgaste*

Nada dura para sempre e assim, toda e qualquer ferramenta será perdida um dia. Se todas as variáveis estiverem sob controle, e forem utilizados todos os procedimentos da forma mais otimizada possível, este deverá ser o mecanismo através do qual a ferramenta será perdida.

Podemos dividir este mecanismo em dois outros distintos:

1. Desgaste Abrasivo

A fig. 3 abaixo, ilustra esquematicamente este mecanismo.

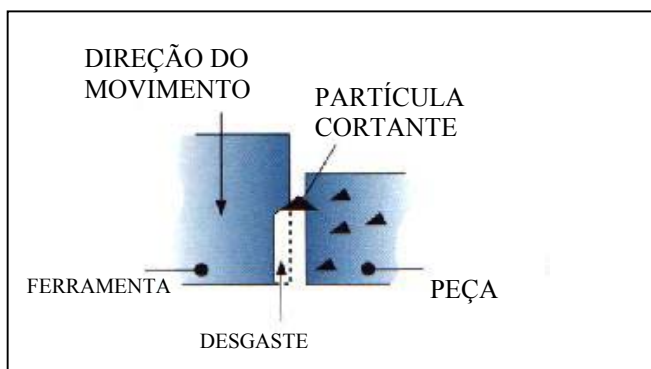


Fig.3: Esquema do mecanismo de desgaste abrasivo (1)

Este mecanismo torna-se dominante quando a chapa a ser estampada é dura e/ou contém partículas como óxidos ou carbonetos.

Estas partículas duras “riscam” a superfície da ferramenta como ilustrado na fig.3

2. Desgaste Adesivo

A fig. 4 ilustra esquematicamente este mecanismo.

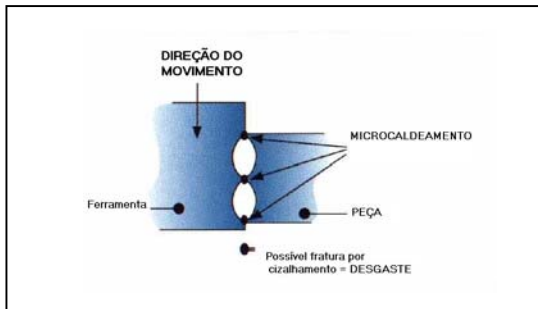


Fig.4: Esquema do mecanismo de desgaste adesivo

Este mecanismo tem origem na “micro-soldagem” que ocorre entre a superfície da ferramenta e a chapa. O movimento relativo entre as partes causará “arrancamento” de partículas da ferramenta. O progresso deste processo causa o desgaste.

Observe-se que estas mesmas partículas, que foram “arrancadas” podem tornar-se grãos abrasivos, e voltamos ao mecanismo de “desgaste Abrasivo”, neste caso, precedido pelo “desgaste adesivo”.

O mecanismo de desgaste adesivo é predominante no caso de estampagem de chapas galvanizadas.

3. Mecanismo “Real”.

Em termos práticos, num processo industrial, nunca ocorre desgaste adesivo ou abrasivo isoladamente.

Apenas que, em função principalmente do tipo de material que está sendo conformado, um ou outro mecanismo predomina.

As microfotografias das figs. 5 e 6 são exemplos clássicos da predominância de um outro mecanismo em função do tipo de material de trabalho.

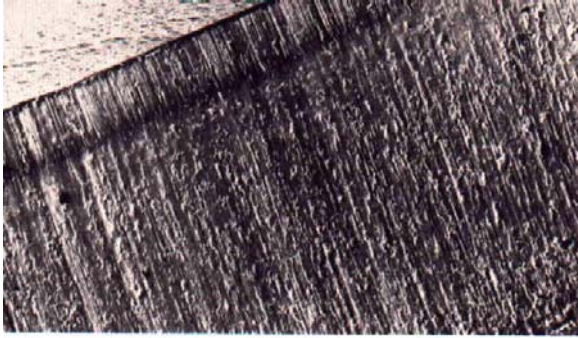


Fig.5: MEV da superfície desgastada por desgaste abrasivo de uma ferramenta confeccionada em aço AISI D2 temperado para 46 HRC



Fig.6: MEV da superfície desgastada por desgaste adesivo de uma ferramenta confeccionada em aço AISI D2 temperado para 46 HRC. Material estampado: inoxidável austenítico

B. *Lascamento*

Este defeito é causado por baixa resistência a fadiga de baixo ciclo.

Em geral, surge com pouco uso da ferramenta: micro trincas iniciam-se na superfície de trabalho da ferramenta e, ao crescerem sob carregamento, “lascam” em pequenas partículas.

C. *Deformação plástica*

Este defeito ocorre quando o Limite de Escoamento do aço ferramenta é “localmente” atingido e excedido.

Uma vez que ocorre deformação plástica na área de trabalho da ferramenta, há perda do seu dimensional, com consequências catastróficas no produto.

D. *Trinca catastrófica*

Em geral este defeito é irreparável, ocasionando a perda total da ferramenta, ou, no mínimo, uma manutenção extremamente extensa e custosa.

Este defeito é gerado pela propagação de trincas instáveis, pré existentes na superfície da ferramenta.

Concentradores de tensões, como marcas de usinagem, retífica, processo de eletro erosão inadequado, e características desfavoráveis de projeto, como cantos vivos, p.ex., favorecem a formação de trincas.

E. *Caldeamento*

Este defeito é causado pela “adesão” de partículas do material de trabalho (em geral de baixa dureza e extremamente adesivas), na superfície da ferramenta. O trabalho sucessivo “aumenta” o volume aderido até que este se desprende, arrancando neste processo, partículas da ferramenta.

F. Mapa resumo das causas das falhas de ferramentas de estampagem

O mapa abaixo (FIG.7) é uma ilustração “qualitativa” mostrando a relação entre a espessura da chapa a ser cortada, a sua dureza e o mecanismos de falha predominantes.

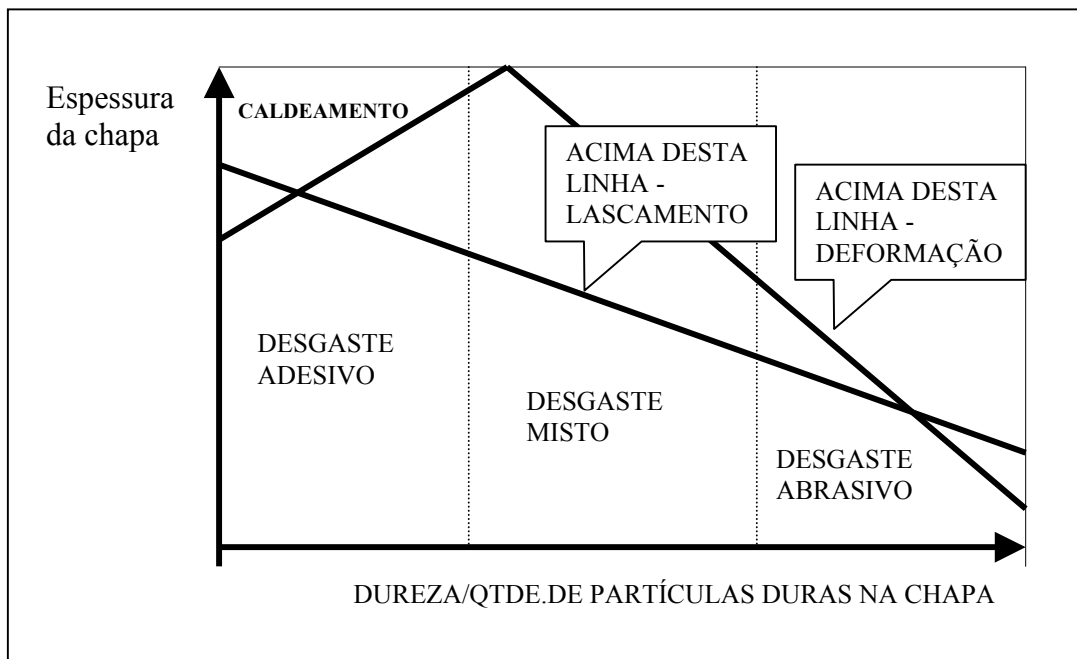


Fig.7: Mapa esquemático dos mecanismos de falha em função do tipo e da espessura da chapa (1)

3. RELAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS MECANISMOS DE FALHA E AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DESEJADAS NA FERRAMENTA

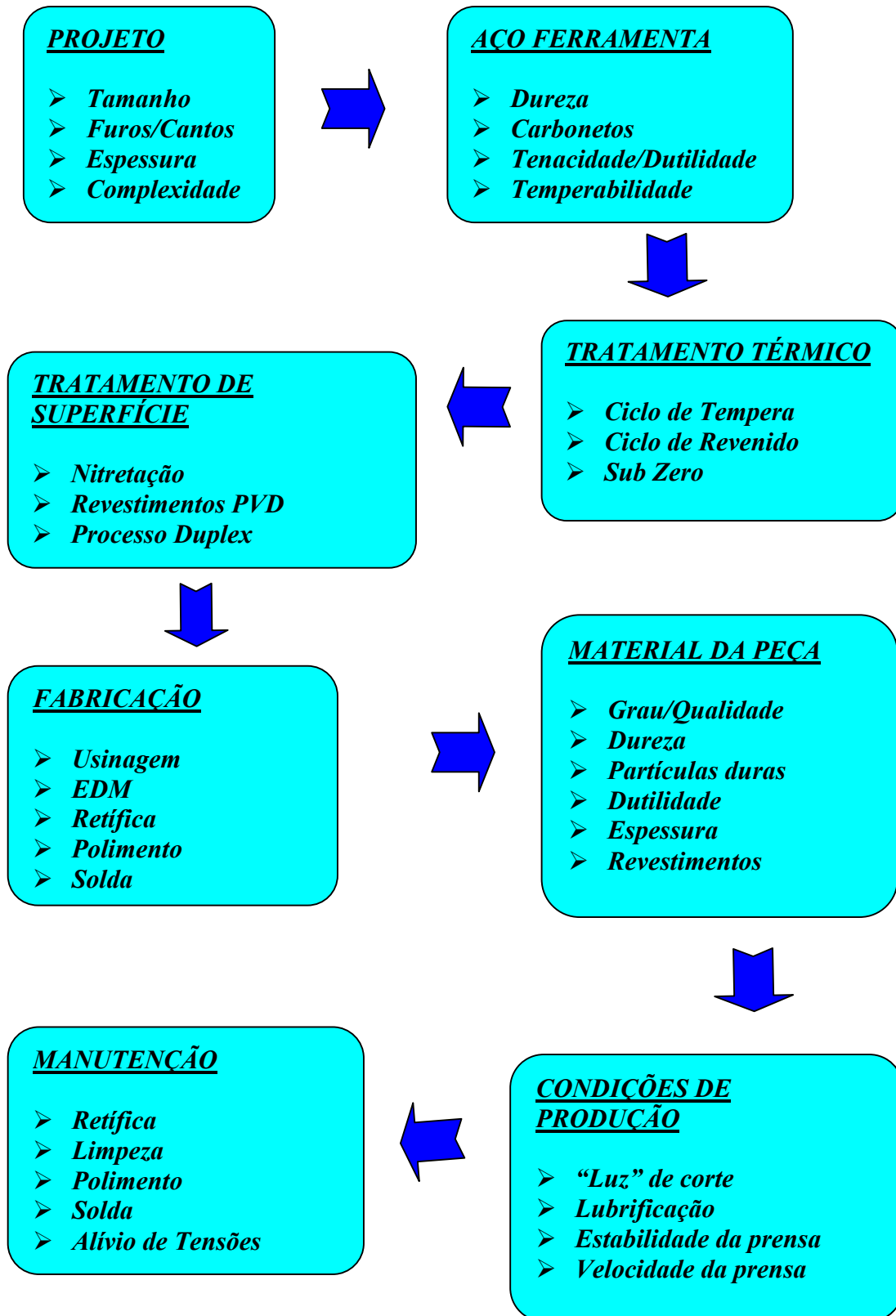
CAUSA DA FALHA	PROPRIEDADES IMPORTANTES NA FERRAMENTA
<i>Desgaste Abrasivo</i>	<ul style="list-style-type: none">➤ <i>Alta dureza</i>➤ <i>Elevado volume de carbonetos</i>➤ <i>Alta dureza dos carbonetos</i>➤ <i>Carbonetos massivos</i>
<i>Desgaste Adesivo</i>	<ul style="list-style-type: none">➤ <i>Alta dureza</i>➤ <i>Baixo coeficiente de atrito entre ferramenta e peça</i>➤ <i>Alta ductilidade</i>
<i>“Lascamento”</i>	<ul style="list-style-type: none">➤ <i>Alta ductilidade</i>
<i>Deformação Plástica</i>	<ul style="list-style-type: none">➤ <i>Alta dureza</i>
<i>Trinca Catastrófica</i>	<ul style="list-style-type: none">➤ <i>Baixa Dureza</i>➤ <i>Alta tenacidade microestrutural</i>
<i>Caldeamento</i>	<ul style="list-style-type: none">➤ <i>Baixo coeficiente de atrito</i>

Quadro 1: Propriedade importante na ferramenta em função do mecanismo de falha.

É importante observar que o quadro acima é construído pensando no mecanismo isoladamente. Veja-se por exemplo, que a “Baixa Dureza” exigida para evitar a “Trinca Catastrófica”, favorece o mecanismo de “Deformação Plástica”.

Outro ponto importante é que as propriedades importantes para reduzir ou retardar o surgimento de desgaste, seja adesivo, seja abrasivo, SEMPRE reduzem a tenacidade do aço, podendo-se chegar ao ponto de perder-se a ferramenta por trinca catastrófica, muito antes de haver desgaste apreciável. De um modo geral, deve-se procurar favorecer, através da adequada seleção do aço e do tratamento térmico, a tenacidade e a ductilidade da ferramenta, deixando a questão do desgaste e do caldeamento para tratamentos de superfície.

4. Fatores que influenciam a vida útil de uma ferramenta de conformação a frio



O quadro acima resume as variáveis que interferem no bom rendimento da Ferramenta.

Dos fatores listados, estão fora do controle da ferramentaria e dos setores de produção, o “Projeto”, e as condições do “Material da Peça”.

Todos os demais itens podem e devem ser sempre considerados por estes departamentos de uma Estamparia, pois, podendo ser modificados, influenciam enormemente na vida útil do ferramental.

A seguir, cada um destes fatores será discutido com maior ou menor detalhe.

a. Aço Ferramenta

De um modo geral, no mercado brasileiro, ocorre grande predominância do uso do aço AISI D6, e em geral, não há grandes considerações quanto à conveniência do uso deste aço em função da “severidade da estampagem” e da quantidade de peças a serem produzidas.

Por “severidade de estampagem” entenda-se o conjunto de fatores que definem quão difícil é produzir determinada peça por estampagem, sendo estes fatores:

- *Projeto da ferramenta*
- *Projeto da peça a ser produzida*
- *Espessura da chapa a ser utilizada*
- *Processo de estampagem a ser utilizado*
- *Propriedades mecânicas da chapa a ser utilizada.*

Uma vez que os fatores acima estejam bem definidos e conhecidos, podemos propor um método de seleção do aço ferramenta baseado na quantidade de peças que se deseja produzir.

Podemos definir a critério de quantidade de peças, como segue:

- *Produção pequena: até 100.000 peças;*
- *Produção média: de 100.000 a 1.000.000 de peças;*
- *Alta Produção: acima de 1.000.000 de peças.*

O mapa a seguir correlaciona o tipo de aço mais adequado em função da “Severidade de Estampagem” e o nível de produção desejado.

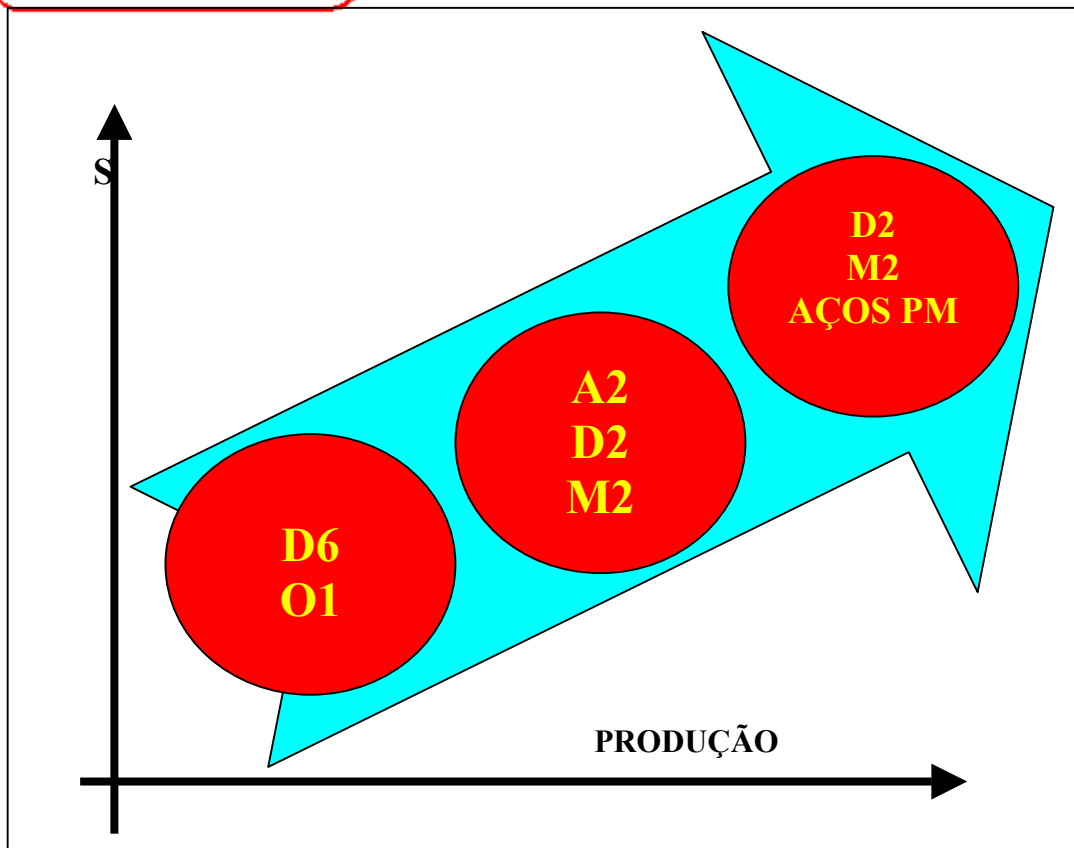


Fig.8: Mapa esquemático de seleção do aço ferramenta em função da produção e da severidade de estampagem (S). (1)

A tabela a seguir ilustra algumas das propriedades dos aços indicados no mapa. Observe-se que, no caso dos aços PM (“Powder Metallurgy”, ou aços fabricados pelo processo de metalurgia do pó), de um modo geral superam os demais em todas as propriedades, sendo usados, sempre, nos casos mais críticos, em especial para “fine blank”. Existem diversos tipos e fabricantes sendo interessante consulta-los sempre que se depara com os casos mais críticos.

AÇO	DESGASTE ABRASIVO	DESGASTE ADESIVO	LASCAMENTO	DEFORMAÇÃO PLÁSTICA
AISI O1	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
AISI A2	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
AISI D2(*)	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
AISI D6	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
PM (**)	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■

Tabl.: Comparação de propriedades entre os diversos aços utilizados em estampagem.

(*) Em função do tipo de TT aplicado.

(**) Vários tipos e composições.

b. Tratamento térmico

Este fator deve ser sempre considerado em conjunto com o aço ferramenta.

Cada tipo de aço tem ciclos específicos de tratamento térmico, em função da dureza desejada e, mesmo, da aplicação a que se destina.

De um modo geral, quando se fala de tratamento térmico em aços ferramenta, deve-se Ter em mente os seguintes fatores:

- *A aplicação a que se destina a ferramenta*
- *A dureza projetada para a ferramenta após tratamento térmico*
- *O equipamento que vai ser utilizado para realizar o tratamento*
- *O ciclo térmico de austenitização*
- *O tempo de austenitização*
- *O meio de resfriamento utilizado*
- *O ciclo térmico de revenido*
- *A quantidade de revenidos*
- *O tempo de revenimento*

A escolha da melhor combinação disponível das variáveis acima, de acordo com os dados fornecidos pelo fabricante do aço, ou mesmo através de desenvolvimento próprio, é fator determinante da boa performance da ferramenta, além de reduzir, em muito, os problemas decorrentes do tratamento térmico, especialmente no que se refere à deformação.

Recomenda-se o uso de fornos a vácuo, por sua homogeneidade de aquecimento e resfriamento, além de substancial redução nas deformações pós tempera.

Múltiplos revenidos são mandatórios na maior parte dos aços selecionados para este fim, contribuindo para forte incremento da tenacidade da ferramenta, especialmente no caso dos aços rápidos e PM.

No caso específico do aço AISI D2, recomenda-se utilizar ciclos de tratamento térmico que confirmam elevada tenacidade ao aço, e, neste caso, há necessidade de alterar o ciclo normalmente recomendado pelos fabricantes deste aço, com acréscimo de tratamentos criogênicos (sub-zero) e revenidos múltiplos a alta temperatura.

De um modo geral, pode-se dizer que, via tratamento térmico é possível conferir alta tenacidade ao aço, ou alta dureza. Por serem propriedades antagônicas, ou seja, aumentando-se a dureza, fatalmente cai a tenacidade e vice-versa, não é possível termos as duas propriedades no máximo. Recomenda-se, neste caso, que ou busquem-se aços que tem combinações mais elevadas destas

propriedades (p.ex., os aços PM), ou que favoreça-se, no tratamento térmico, a propriedade de Tenacidade, uma vez que, via engenharia de superfície, é possível conferir elevada resistência a desgaste sem alterar o núcleo do aço.

Quanto à dureza recomendada, ela varia em função do processo de estampagem escolhido e até mesmo do aço selecionado, recomendando-se, sempre, evitar exageros. O gráfico abaixo é aplicável para os casos mais comuns, onde se selecionam aços convencionais, não tendo validade para os processos “fine blank” e uso de aços PM.

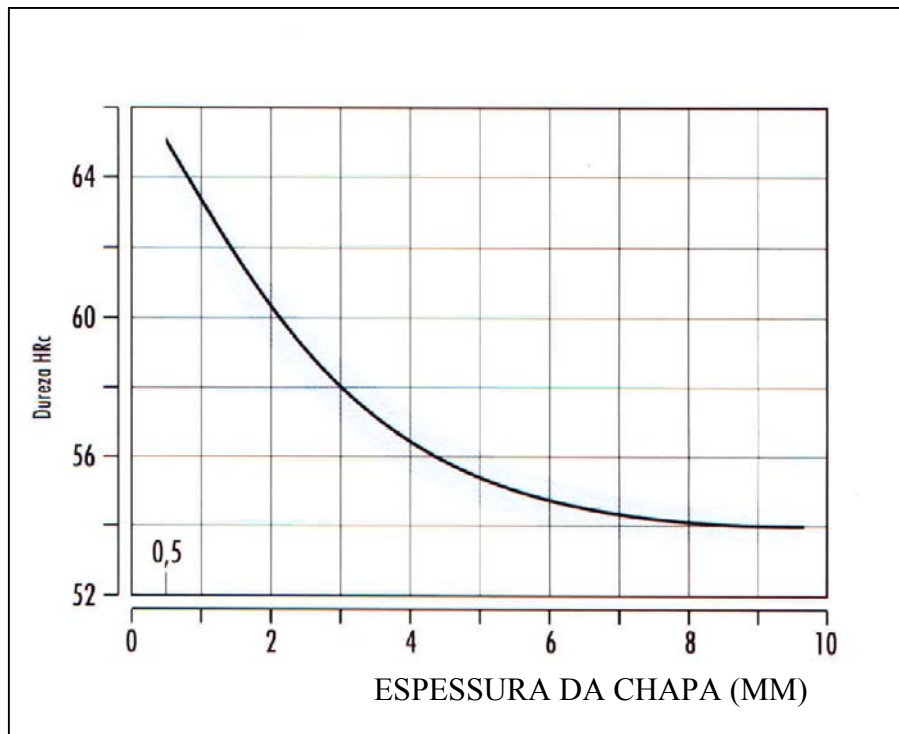


Fig. 9: Dureza mais adequada para ferramentas de estampagem fabricadas com aços ferramenta 12% Cr (D6, D2), em função da espessura da chapa (2)

A seguir, ilustramos com um exemplo prático a situação de substituição de aço e tratamento térmico.

Ex.: Produção de saladeiras em aço inoxidável via estampagem profunda
Produção média– acima de 200.000 peças



Fig. 9: Exemplo de produção por estampagem profunda em aço inoxidável .
Produto com elevado grau de requisitos estéticos. Punção em AISI D2

Situação Inicial

- *Aço: AISI D6*
- *Dureza: 62/64 HRC*
- *Processo de Tempera: forno câmara, com resfriamento em óleo*

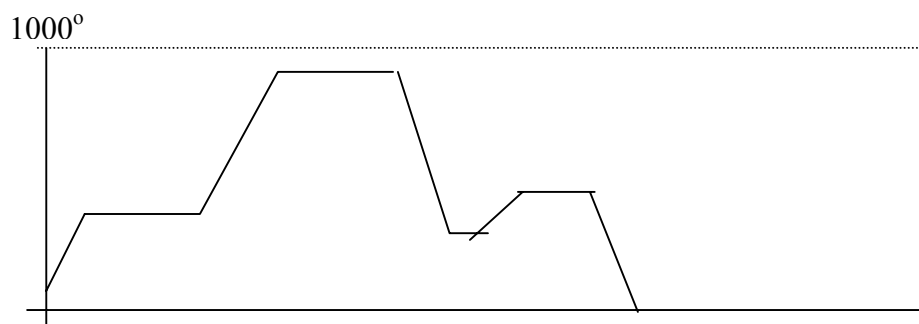


Fig.10: Ciclo de tratamento térmico do AISI D6 (Brasimet)

- *Tratamento de superfície: nenhum*
- *Problema: com pouca produção (abaixo de 10.000 peças), inicia-se processo de “Caldeamento”, causando elevada perda de produção e necessidade de frequentes paradas para polimento. A evolução deste primeiro defeito leva à “lascamento”, obrigando à substituição da ferramenta.*

Situação Final

- *Substituição do D6 pelo aço AISI D2*
- *Dureza: 58/60 HRC*
- *Processo de tempera: forno a vácuo com resfriamento sob pressão de nitrogênio*

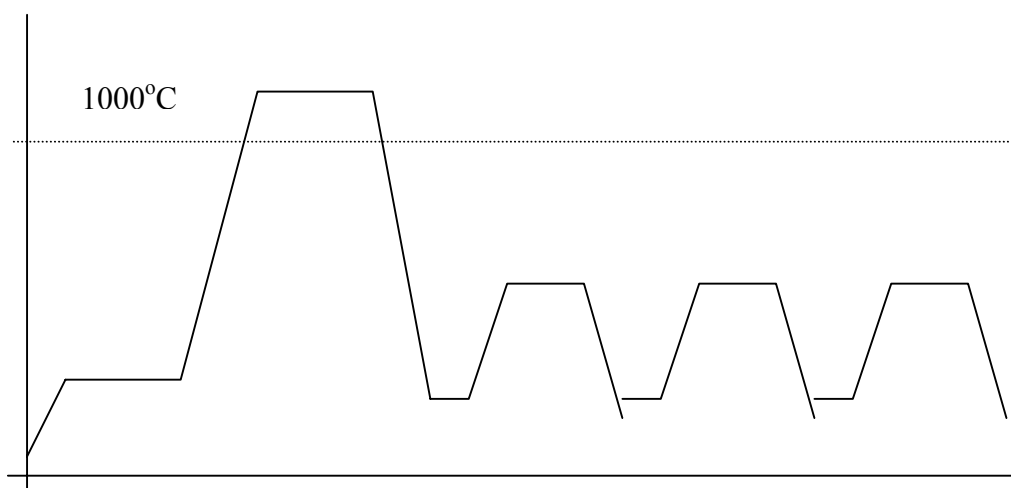


Fig.11: Ciclo de tratamento térmico de um AISI D2 (alta tenacidade).(Brasimet)

- *Tratamento de superfície: Revestimento com TiN*
- *Resultados: redução drástica do “caldeamento” devido ao revestimento TiN e substancial aumento da vida útil da ferramenta, com o surgimento de desgaste apreciável somente após 500.000 peças.*

c.Tratamento de Superfície

Como já foi dito, existe uma tendência dos fabricantes de ferramentas de, via tratamento térmico e seleção do melhor aço, obter-se alta tenacidade/dutilidade da ferramenta, e deixar as questões de desgaste para o Tratamento de Superfície.

Por tratamento de superfície entenda-se tratamentos que afetam apenas superficialmente a ferramenta, deixando o seu núcleo e, conseqüentemente suas propriedades intactas.

Disponível no mercado, temos os revestimentos galvânicos (Cr duro, Ni químico), os revestimentos PVD (Durotin, DurotinCr) e os processos de nitrocarbonetação.

No caso de revestimentos galvânicos, apesar de boa resposta em termos de resistência a desgaste, devido aos processos disponíveis no mercado, há grandes possibilidades de introduzirem-se na ferramenta mais problemas que soluções, caso, p.ex., da evolução de hidrogênio causando fragilidade, deslocamentos devido à irregularidade da espessura da camada, baixa resistência à fadiga, coeficiente de atrito ainda relativamente alto, devido à

natureza metálica da camada, além de problemas de manutenção, uma vez que é muito difícil e custoso a remoção destes tipos de camada.

No caso da nitrocarbonetação, apesar da redução do coeficiente de atrito boa (a camada tem natureza cerâmica), a resistência a desgaste é substancialmente mais baixa do que nos revestimentos PVD. Além disso, podem afetar a ferramenta dimensionalmente por apresentarem camada mais espessas do que no processo PVD, o que pode trazer algum contratempo na preparação da ferramenta.

A melhor recomendação são os revestimento PVD, pelas facilidades operacionais, elevadíssima resistência a desgaste, drástica redução no coeficiente de atrito (camada é cerâmica), além da total ausência de variação dimensional na ferramenta.

Independentemente de qual seja a escolha do tratamento de superfície, é necessário Ter-se em mente que um bom condicionamento inicial é indispensável.

A tempera deve ser adequada ao processo, sob o risco de dano irreversível após revestimento, além do que, sempre é necessário cuidado especial quanto à qualidade da superfície que será enviada para revestimento.

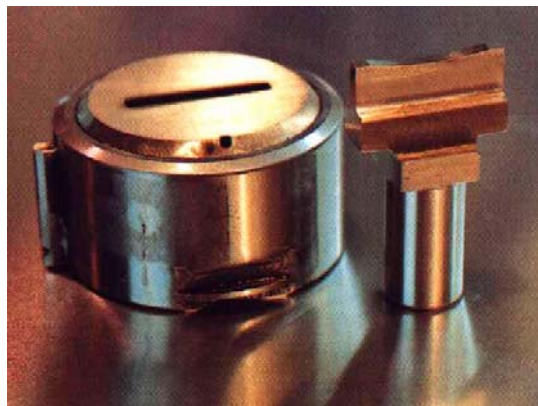


Fig. 12: Punção e matriz revestidos com nitreto de titânio (2)

d.Fabricação da Ferramenta

Quando se inicia a fabricação da ferramenta, o aço, o tratamento térmico e o tratamento de superfície já deverão estar definidos. Estas escolhas deverão condicionar, p.ex., o processo e a sequência de usinagem .

Usinagem

A melhor prática recomenda, sempre que possível, uma usinagem o mais simétrica possível, de modo a evitar desnecessárias concentrações de tensões.

É sempre recomendável que as superfícies de trabalho seja retificadas ou lapidadas, mas é importante observar que os riscos de usinagem, na medida do possível, estejam na direção preferencial de movimento da ferramenta, como ilustrado na fig. 13 seguir.

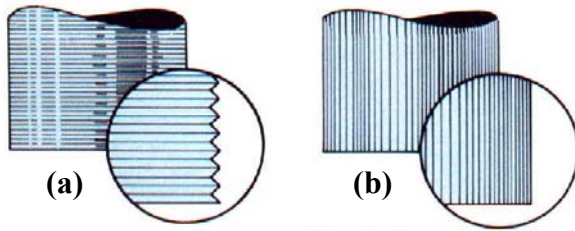


Fig.13: Punção retificado em retífica cilíndrica (a) – elevado risco de trincas e lascamento. (b) Retífica longitudinal – melhor em termos de trincas. (1)

O processo de retífica é essencialmente um processo abrasivo. Assim, há sempre geração de elevadas temperaturas na ferramenta, que poderão causar danos irreparáveis, e/ou originar trincas durante o trabalho. Trincas de retífica são um defeito muito bem conhecido, bastante estudado, e podem ser evitadas simplesmente com uma boa prática de retífica.

No caso do uso de Eletro erosão de penetração, deve-se Ter em mente que este é um processo em tudo similar à soldagem, somente que em escala microscópica. Assim, na eletro erosão de penetração também introduz-se uma “zona afetada pelo calor”, com uma camada superficial (camada branca) altamente prejudicial para a performance da ferramenta. Recomenda-se que, para as etapas de acabamento, utilizem-se taxas de remoção baixas, ou seja, baixa amperagem e alta frequência. Evidentemente, o tempo gasto para a operação torna-se substancialmente maior, mas desta forma, a camada branca induzida torna-se menor, conseqüentemente menos deletéria e de mais fácil remoção.

De qualquer forma, uma operação de retirada mecânica da camada branca de eletro erosão, e a seguir uma etapa de alívio de tensões em forno é altamente recomendável, de modo a prevenir a geração de trincas devido a este processo.

A fig.14 Ilustra uma camada branca formada após eletro erosão de penetração.

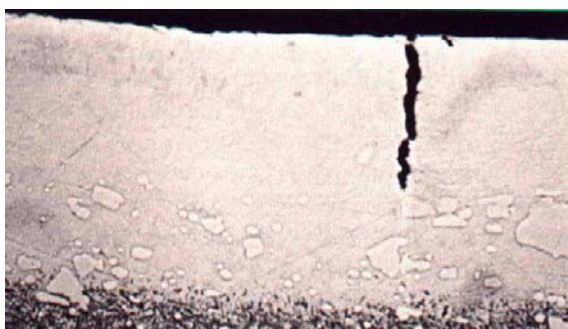


Fig.14: Microfoto da superfície de uma ferramenta em AISI D6, após eletro erosão grosseira. Note a trinca pré existente.(1)

Distorções Dimensionais da tempera

“Todo e qualquer tratamento térmico induz deformações na peça...”

Esta é, mais do que uma regra, uma necessidade física do tratamento térmico, e deve sempre ser levada em consideração durante a usinagem da ferramenta.

Nesse sentido, é indispensável que seja previsto um sobre metal para tempera, que deverá ser removido posteriormente, seja por retífica ou outro processo qualquer de usinagem.

A quantidade de sobremetal a ser deixado depende de uma infinidade de variáveis, a maior parte delas fora do controle do tratamento térmico. Assim, a melhor recomendação é:

“.....deixar o máximo de sobremetal possível, desde que não inviabilize o processo de usinagem, e dentro das limitações de máquinas ferramenta...”

O processo de tratamento térmico utilizado também tem influência na distorção líquida ao final do tratamento. Nesse sentido, o uso de fornos a vácuo com resfriamento sob pressão de nitrogênio contribui, em geral substancialmente, para redução das distorções de tratamento térmico.



Fig.15: Forno a vácuo (BRASIMET)

e.“LUZ” de corte

Esta variável define, grosso modo, a qualidade da aresta cortada das peças produzidas.

Quanto menor a luz de corte, melhor a qualidade, mas em contrapartida, devido ao maciço aumento dos esforços sobre a ferramenta, haverá uma drástica redução na sua vida útil.

Os processos de corte normal são muito limitados nesse sentido e, quando é necessária elevada qualidade da aresta, com quase total ausência de “estouro”, o processo escolhido deve ser o “fine blank”.

A figura a seguir correlaciona a “luz” de corte recomendada em função da espessura da chapa para o processo convencional e o “fine blank”.

**LUZ DE
CORTE (MM)**

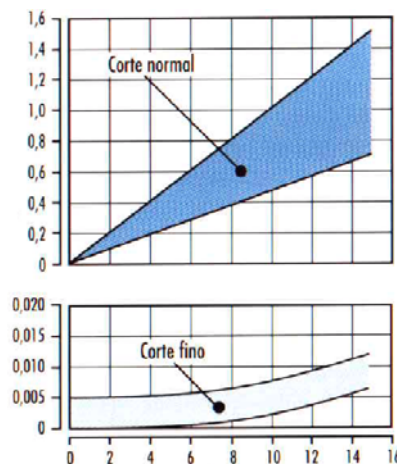


Fig.16: “Luz de Corte” em função da espessura da chapa para os processos Convencional e Corte Fino

5. CONCLUSÃO

As soluções, sugestões e comentários contidos neste texto não representam, de forma alguma, diretrizes definitivas sobre a confecção de ferramentas de estampagem.

Elas devem ser vistas, antes de tudo, como um guia orientativo, devendo ser adaptadas ou alteradas dependendo das condições locais de processamento e custos.

Mais importante talvez, seja o contínuo aperfeiçoamento do fabrico de ferramentas, para o qual, é indispensável o contato prévio seja com os fabricantes de aços, seja com os profissionais dos tratamentos térmicos e de superfície, de modo que seja encontrada, sempre, a solução que melhor conjugue a performance desejada com o custo que se está disposto a pagar, sempre lembrando que, grosso modo, quando se fala em ferramentas de estampagem, os custos envolvidos com parada de máquinas para manutenção de ferramentas são várias vezes maiores do que os custos envolvidos na confecção destas, e, sendo assim, em geral não valem a pena pequenas economias na confecção da ferramenta.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Steels for cold work tooling, publicação técnica UDDEHOLM
2. Aceros Finos Boehler para la técnica de estampacion, publicação técnica Boehler
3. EDM of tool steel, publicação técnica UDDEHOLM
4. Funkenerosive Bearbeitung von Werkzeugstählen, publicação técnica Boehler
5. HOFFMANN, Hartmut, “Componentes prensados em chapas metálicas espessas”, Máquinas e Metais, Ago/98, pg.20
6. BARBOSA, Celso A., “Aços produzidos pelo processo HIP para ferramentas de corte e trabalho a frio”, Máquinas e Metais, Fev/96, pg. 60
7. Metals Handbook, vol.4, 10ª ed.