

ESTAMPAGEM A QUENTE: UMA VISÃO GERAL SOBRE O PROCESSO

O processo de estampagem a quente une duas características desejáveis ao processo de conformação de chapas: maiores deformações do material e elevada resistência mecânica a peça final. Isto se torna possível, pois o processo ocorre a elevadas temperaturas, onde se tem um aumento da deformabilidade do material. Como consequência do rápido resfriamento da peça estampada em contato com matrizes refrigeradas, tem-se uma transformação metalúrgica que lhe confere elevado grau de resistência mecânica.

Por Juliano de Sousa Bueno, Uilian Boff e Lírio Schaeffer | Foto Divulgação

Para a indústria automobilística há uma tendência cada vez maior pela redução do consumo de combustível e emissões de poluentes lançados na atmosfera. A fim de atender a essas solicitações a indústria tem respondido com a redução do peso de seus veículos, utilizando chapas de aço com maior resistência mecânica e menor espessura.

Novos materiais, os chamados *Advanced High Strength Steel* - AHSS, conhecidos como aços avançados de alta resistência, estão em contínua evolução. Esses aços apresentam melhores propriedades mecânicas, como por exemplo, maior tensão de escoamento, sendo desenvolvidos para atender solicitações cada vez mais exigentes em relação à redução de peso e da matéria prima utilizada.

Um dos inconvenientes da utilização dos aços avançados de alta resistência é o retorno elástico, ou efeito mola. Devido ao retorno elástico o material, após ser conformado na matriz, apresenta uma alteração na sua forma devido à recuperação da sua deformação elástica [1] (Naderi 2011).

Quanto mais elevado for o limite de escoamento, maior será o retorno elástico do material. Isso pode ser explicado ao se examinar o gráfico da tensão versus deformação. Como para os aços a inclinação da parte elástica da curva, caracterizado como módulo de elasticidade¹, é aproximadamente constante, uma tensão de escoamento mais elevada representa uma maior deformação elástica.

Uma das formas para se evitar o problema do retorno elástico é fazer com que o aço seja estampado a quente, onde o aumento da temperatura gera uma maior deformabilidade e uma redução dos esforços necessários para a conformação (Nikraves 2012).

Chapas de aço com maior tensão de escoamento possuem, em geral, uma menor deformabilidade. Como alternativa para aumentar a deformação desses aços tem-se a estampa-

gem a quente, que ocorre em temperaturas que permitam sua recristalização dinâmica (Gorni 2010).

Durante a estampagem a quente o material, além de ser conformado para a forma final da peça, também é tratado termicamente dentro da matriz. Esse tratamento térmico consiste na têmpera² da chapa, obtendo-se uma peça final com microestrutura predominantemente martensítica³. Essa microestrutura martensítica confere a peça elevados valores para a tensão de escoamento (Naderi 2011).

Para o processo de estampagem a quente tem-se usado aços com uma pequena quantidade de boro. Essas chapas são conformadas e, após, temperadas no interior das matrizes refrigeradas, obtendo-se elevados valores para o limite de escoamento, sem retorno elástico (Gorni 2010).

Uma das principais aplicações da estampagem a quente é a indústria automobilística onde, com o aumento da resistência mecânica, conseguem-se reduções de espessura da chapa e com isso a consequente redução de peso. Atualmente a estampagem a quente é usada para a fabricação de componentes estruturais de formas complexas e grande tamanho, onde a estampagem a frio de aços avançados de alta resistência AHSS encontra limitações em função da sua deformabilidade reduzida e também ao retorno elástico.

Devido à elevada temperatura, o material da chapa apresenta maior deformabilidade e redução da sua tensão de escoamento, permitindo que o processo seja realizado com menores esforços da prensa. Na figura 1 são apresentadas as curvas de escoamento para a liga 22MnB5⁴ para diferentes temperaturas, onde pode ser observado uma redução dos valores da tensão verdadeira com o aumento da temperatura (Merklein 2006).

No processo de estampagem a quente inicia-se com o aquecimento da chapa até a sua temperatura de austenitização⁵.

Em seguida a chapa é transferida para o interior das matrizes, onde é estampada. Na sequência a chapa é mantida no interior das matrizes para seu resfriamento e têmpera até uma temperatura de aproximadamente 150°C, conforme pode ser observado na figura 2 (Neugebauer 2011).

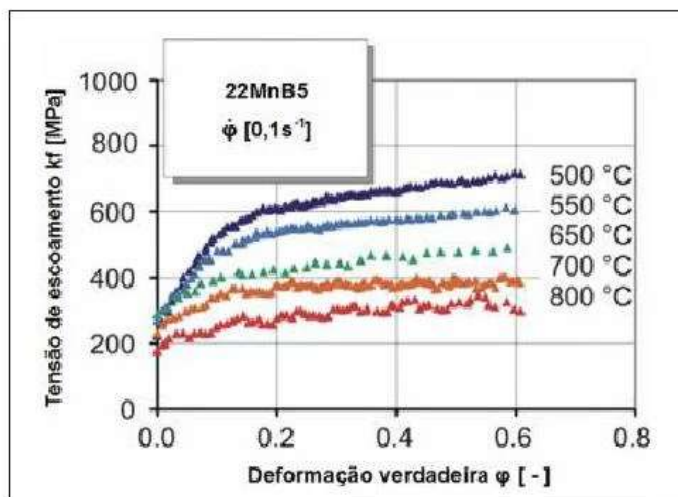


Figura 1 - Curvas de escoamento para a liga 22MnB5 para diferentes temperaturas. Fonte: Merklein 2006



Figura 2 - Ciclo térmico no processo de estampagem a quente. Fonte: Neugebauer 2011

Outro aspecto que deve ser considerado sobre o processo de estampagem a quente é o tratamento térmico que é realizado no interior das matrizes refrigeradas. O tempo de permanência, a velocidade de resfriamento e a disposição dos canais de refrigeração devem ser estudados para cada caso específico. A disposição dos canais de refrigeração na matriz pode levar a gradientes de temperatura e taxas de resfriamento mais elevadas em determinadas regiões da matriz, o que afeta a têmpera da chapa e sua resistência mecânica (Naderi 2011).

A figura 3 mostra a variação das propriedades mecânicas da liga 22MnB5 durante as etapas do processo de estampagem a quente. A geratriz recortada de uma bobina é aquecida até a temperatura que provoca sua completa austenitização,

sendo posteriormente transferida para o interior da matriz onde é conformada e também rapidamente resfriada.

Pode-se observar que com o aumento da temperatura o material apresenta uma menor tensão de escoamento e uma maior deformação, o que aumenta a sua ductilidade⁶ permitindo deformações mais severas e também reduz o esforço para sua conformação. Após o resfriamento no interior da matriz completa-se o processo de têmpera e a peça apresenta suas propriedades finais, requeridas para a aplicação estrutural (Merklein 2006).

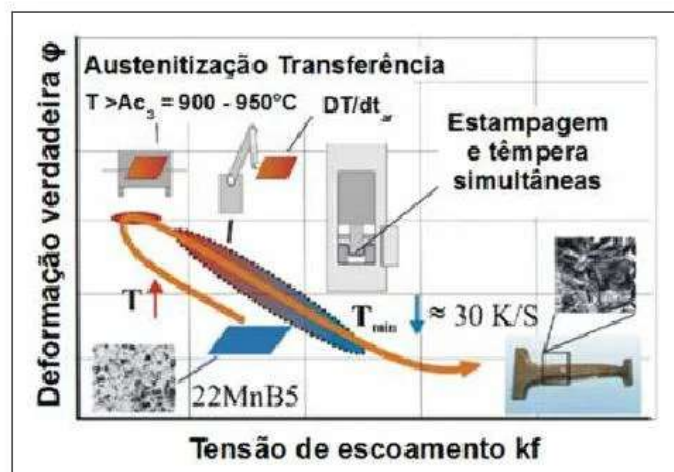


Figura 3 - Propriedades mecânicas da liga 22MnB5 durante o processo de estampagem a quente. Fonte: Merklein 2006

DEFINIÇÃO DO PROCESSO

Existem duas variantes para o processo de estampagem a quente: direto e indireto (Karbasián 2010).

No processo de estampagem a quente direto, a geratriz é aquecida até a sua temperatura de austenitização e após estampada na matriz refrigerada. O processo direto aplica-se a peças de geometria mais simples.

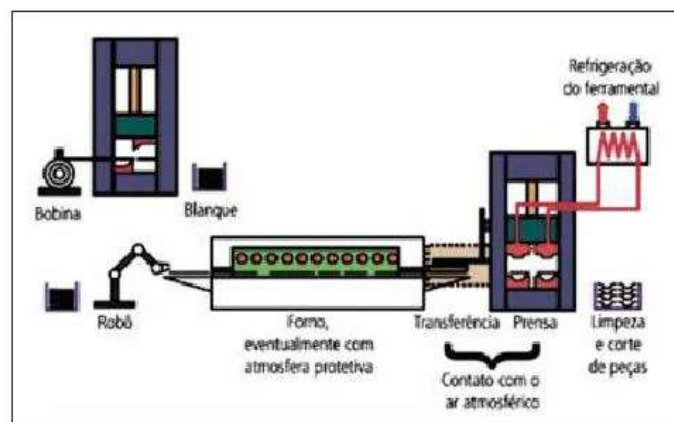


Figura 4 - Processo de estampagem a quente direto. Fonte: Gorni 2010

Para o processo de estampagem a quente indireto a geratriz é estampada a frio até aproximadamente 90% da sua deformação, após a peça é aquecida até sua temperatura de aus-

tenitização e estampada na matriz refrigerada, onde é temperada.

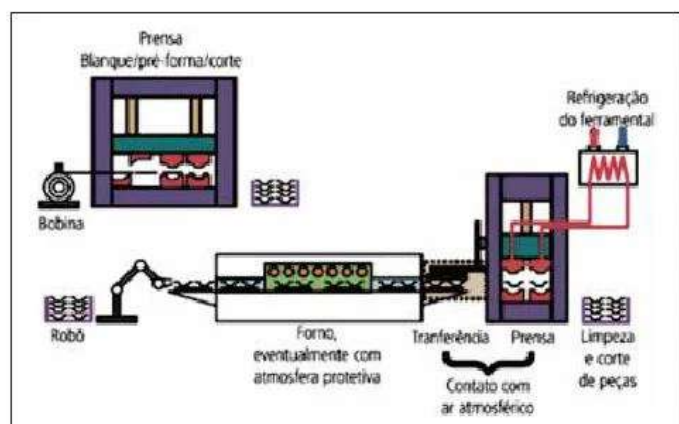


Figura 5 - Processo de estampagem a quente indireto. Fonte: Gorni 2010

Como o processo é realizado em elevadas temperaturas, o acréscimo conseguido na sua deformabilidade permite que peças mais complexas sejam produzidas. Outra característica muito favorável é a uniformidade das propriedades mecânicas obtidas através da têmpera em relação a peças estampadas a frio. Quando a chapa é aquecida antes da estampagem consegue-se um aumento na sua ductilidade e uma redução na sua tensão de escoamento o que possibilita a fabricação de peças com geometrias mais complexas e com maiores deformações. Além da possibilidade de estampar peças com maiores dimensões para uma mesma prensa se comparada com peças estampadas à temperatura ambiente. Isso é consequência da redução da tensão de escoamento com o aumento da temperatura (Karbasian 2010).

Devido à necessidade de aquecimento das chapas até sua temperatura de austenitização, entre 850°C e 950°C, existe um grande consumo de energia, se comparado a peças obtidas pela estampagem a frio (Gorni 2010).

Além disso, na estampagem a quente é possível alterar a resistência mecânica do material modificando sua estrutura através da têmpera que ocorre quando as matrizes são mantidas fechadas e em contato com a chapa. Com esse contato o material da chapa experimenta uma queda de temperatura que, dependendo da velocidade, aumenta suas propriedades mecânicas. O aumento das propriedades mecânicas, como por exemplo, tensão limite de escoamento, ocorre devido à alteração da microestrutura do material da chapa após a estampagem a quente, conforme pode ser observado na figura 6 (Karbasian 2010).

Para o processo de estampagem a quente, a maior influência para as propriedades mecânicas finais da peça é o processo de têmpera que ocorre no interior da matriz. A têmpera do material por sua vez tem grande dependência da sua compo-

sição química assim como da sua velocidade de resfriamento. As melhores propriedades mecânicas no processo de estampagem a quente são obtidas com ligas contendo teores de carbono de 0,20% e teores de manganês a partir de 1,20%, que retarda a transformação da austenita melhorando a temperabilidade do material. Também é adicionado boro à liga, que tem a função de retardar a formação ferrítica, pois em solução sólida segrega para os contornos de grão austenítico e impede a nucleação da ferrita (Gorni 2010).

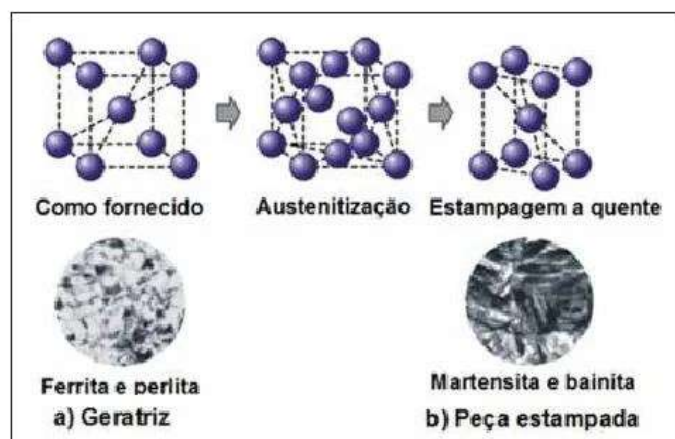


Figura 6 - Alteração da microestrutura do material da chapa. Fonte: Karbasian 2010

Quanto maior o teor de liga presente no aço, menor será a velocidade de resfriamento mínima do material necessária para a completa transformação da microestrutura austenítica em estrutura martensítica. O que é muito interessante, pois simplifica o projeto da ferramenta em relação aos canais de resfriamento necessários para obter a velocidade de resfriamento almejada. Porém um material com maiores teores de liga torna-se mais dispendioso (Gorni 2010).

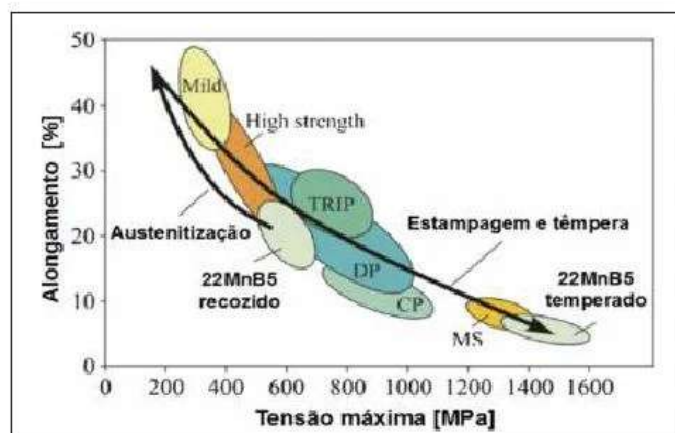


Figura 7 - Propriedades mecânicas da liga 22MnB5 em comparação com aços de alta resistência. Fonte: Karbasian 2010

Após o processo de estampagem a quente, a chapa de aço apresenta um aumento na sua tensão de escoamento se comparado ao seu estado inicial, antes da estampagem. Também

ocorre uma redução do seu alongamento, que caracteriza uma redução na sua ductilidade, conforme apresentado na figura 7 para a liga 22MnB5 (Karbasian 2010).

CONCLUSÃO

O processo de estampagem a quente apresenta grande potencial de aplicabilidade e um grande campo para pesquisas de desenvolvimento tecnológico. Esta nova tecnologia na conformação de chapas possibilita a obtenção de peças com elevado grau de resistência mecânica e uma liberdade de *design*⁷ que não pode ser obtida com os processos tradicionais de estampagem. Também é possível a obtenção de peças com menor peso sem perdas de resistência mecânica para aplicações estruturais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a Escola de Engenharia da UFRGS, ao Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) pelo uso de sua estrutura, a Brasmetal Waelzholz pela disponibilização de chapas e as instituições de fomento à pesquisa CNPq e CAPES pelo apoio financeiro. ■

¹**Elasticidade:** é a propriedade de um corpo sofrer deformação, quando submetido à tração, e retornar parcial ou totalmente à forma original.

²**Têmpera:** tratamento térmico caracterizado pelo resfriamento em velocidade superior a velocidade crítica de têmpera de uma liga ferro-carbono, a partir de uma temperatura acima da zona crítica para os aços hipoeutetóides e geralmente dentro da zona crítica para os aços hipereutetóides, resultando em transformação da austenita em martensita.

³**Martensita:** fase metaestável que corresponde a uma solução sólida supersaturada de carbono em ferro. É uma fase extremamente dura [10].

⁴**Aço 22MnB5:** composição de 0,22% de carbono, 1,25% de manganês e 0,0050% de boro.

⁵**Austenitização:** transformação da estrutura da matriz existente em estrutura austenítica através de aquecimento. Pode ser parcial (aquecimento dentro da faixa de transformação) ou completa (aquecimento acima da faixa de transformação). A estrutura austenítica é formada por austenita, que é a fase do aço cúbica de face centrada (CFC), com boa resistência mecânica, apreciável tenacidade, amagnética e com solubilidade máxima de carbono de 2%.

⁶**Ductilidade/ductilidade:** propriedade ou qualidade daquilo que se pode reduzir a fios, estirar, distender sem se romper. Flexível, elástico.

⁷**Design:** processo técnico e criativo relacionado à configuração, concepção, elaboração e especificação de um artefato [www.wikipedia.com.br].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gorni, A. A.; *Novas tendências para o processo de estampagem a quente*. Revista Corte & Conformação de Metais, 2010.
- [2] Naderi, M.; Ketabchi, M.; Abbasi, M.; Bleck, W.; *Semi-hot stamping as an improved process of hot stamping*. Journal of Mechanical Science and Technology, v. 27(4), p 369-376, 2011.
- [3] Nikravesh, M.; Naderi, M.; Akbari, G. H.; *Influence of hot plastic deformation and cooling rate on martensite and bainite start temperatures in 22MnB5 steel*. Materials Science and Engineering, v. 540, p 24-29, 2012.
- [4] Naderi, M.; Ketabchi, M.; Abbasi, M.; Bleck, W.; *Analysis of microstructure and mechanical properties of different high strength carbon steels after hot stamping*. Journal of Materials Processing Technology, v. 211, p 1117-1125, 2011.
- [5] Merklein, M.; Lechler, J.; Geiger, M.; *Characterisation of the flow properties of the quenchenable ultra high strength steel 22MnB5*. Annals of the CIRP Manufacturing Technology, v. 55(1), 2006.
- [6] Neugebauer, R.; Schieck, F.; Rautenstrauch, A.; Bach, M.; *Hot sheet metal forming: The formulation of graded component characteristics based on strategic temperature management for tool-based and incremental forming operations*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, v. 4, p 180-188, 2011.
- [7] Merklein, M.; Lechler, J.; *Investigation of the thermo-mechanical properties of hot stamping steels*. Journal of Materials Processing Technology, v. 177, p 452-455, 2006.
- [8] Karbasian, H.; Tekkaya, A.; *A review on hot stamping*. Journal of Materials Processing Technology, v. 210, p 2103-2118, 2010.



Juliano de Sousa Bueno - Engenheiro Mecânico pela Universidade de Caxias do Sul em 2010. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Processos de Fabricação. <http://lattes.cnpq.br/8657386469446343> - juliano.bueno@caxias.ifs.edu.br

Uilian Boff - Engenheiro Mecânico pela Universidade Luterana do Brasil em 2009. Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS em 2012. Doutorado em andamento no PPGEM/UFRGS, com o título: Desenvolvimento de microcomponentes por microestampagem. Atua como pesquisador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) do Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Processos de Conformação, atuando principalmente nos seguintes temas: conformação de chapas, otimização de processos, estampagem profunda, simulação do processo de conformação e projeto de ferramentas. <http://lattes.cnpq.br/3320500497014891> - uilian.boff@ufrgs.br

Lírio Schaeffer - Engenheiro Mecânico e Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor na área de Conformação Mecânica pela Universidade Técnica de Aachen na Alemanha (Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule - RWTH). Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) do Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS. Pesquisador na área de Mecânica, Metalurgia e Materiais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), professor das disciplinas relacionadas aos processos de fabricação por conformação mecânica e vinculado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Energia (PPGEM) da UFRGS. <http://lattes.cnpq.br/1093242836059112> - schaeffer@ufrgs.br