

# HOT FORMING

*Fernanda L. Martins*<sup>1</sup>

*Alisson S. Duarte*<sup>2</sup>

*Pedro M. A. Stemler*<sup>3</sup>

*Ricardo A. M. Viana*<sup>4</sup>

## Parte 1/4:

A aplicação de ligas de aços avançados de alta resistência (*Advanced High Strength Steel, AHSS*) na indústria, principalmente automotiva, tem crescido cada vez mais e, portanto, novos métodos de conformação mecânica estão constantemente sendo desenvolvidos e estudados. Um dos métodos que tem ganhado visibilidade no mercado e que tem fomentado muitas áreas da pesquisa é a estampagem a quente, popularmente conhecida como *Hot Forming*, que aparece como solução para baixa formabilidade das ligas de alta resistência e ao considerável retorno elástico do material (*springback*) ambos à temperatura ambiente.

O processo de estampagem por *Hot Forming* se difere do processo convencional por conta de uma etapa de aquecimento do material até a temperatura de austenitização antes da etapa de embutimento, fazendo com que o material seja conformado numa condição de alta ductilidade. Após a austenitização, segue-se um processo de têmpera ao final do embutimento, enquanto o metal ainda está alojado na ferramenta. A têmpera acontece por conta do resfriamento do material em função do contato deste com as ferramentas, que são refrigeradas internamente por meio de um constante fluxo de água que corre por canais de refrigeração. Em seguida o material é resfriado em contato com o ar até atingir a temperatura ambiente. Geralmente objetiva-se obter martensita como microconstituente integral no componente, mas outras estruturas podem ser obtidas dependendo da funcionalidade da peça a ser fabricada.

Como o processo envolve o aquecimento do material, e nessa condição ele tem seu limite de escoamento reduzido, a conformação de um aço AHSS torna-se mais viável por *Hot Forming*. Sendo assim, um grande leque de possibilidades se abre com o emprego da estampagem a quente, principalmente nos setores onde uma boa relação peso-resistência mecânica das peças é determinante para o uso de determinado processo ou material. A estampagem a quente pode ser realizada por dois métodos, o direto e o indireto, e esse será o tema da nossa próxima postagem da série sobre *Hot Forming*.

<sup>1</sup> Aluna de treinamento, SIXPRO Virtual&Practical Process, flm.fernanda98@gmail.com

<sup>2</sup> Professor, UFMG e Consultor Técnico, SIXPRO Virtual&Practical Process, alisson@sixpro.pro

<sup>3</sup> Assistente Técnico, SIXPRO Virtual&Practical Process, pedro.stemler@sixpro.pro

<sup>4</sup> Gerente Técnico, SIXPRO Virtual&Practical Process, ricardo@sixpro.pro

## Parte 2/4:

Como discutido na primeira postagem da série sobre Hot Forming, a estampagem a quente é um método de estampagem em que o material é conformado após ser aquecido até atingir a temperatura de austenitização, e em seguida é tratado termicamente pelo procedimento de têmpera enquanto ainda está alojado na ferramenta. Sendo assim, existem duas maneiras em que a estampagem a quente pode ser realizada: o método direto e o método indireto.

No método direto, o blanque (chapa metálica de geometria previamente determinada para a fabricação da peça estampada) é aquecido até uma temperatura entre 900°C a 950°C, por um tempo de, em média, 4 a 10 min em fornos convencionais. Após a austenitização, o blanque é transportado do forno até a prensa, onde será embutido e temperado. O procedimento de transferência do blanque deve ser ágil, e geralmente ocorre em menos de 3 segundos. Em seguida, a chapa é conformada através de um único golpe de prensa, e então temperada enquanto ainda se encontra alojada na ferramenta. Todo o processo de transferência do blanque para a matriz somado ao embutimento e têmpera tem duração de 15 a 25 segundos. Finalmente, o produto é extraído da ferramenta a uma temperatura entre 150°C e 200°C e resfriado ao ar até a temperatura ambiente por volta de 10 segundos, atingindo efeito revenido.

Já o método indireto tem uma etapa de embutimento antes do aquecimento, em que se conforma a chapa a temperatura ambiente até atingir, em média, 95% da geometria final do produto. Em seguida se faz o aquecimento da peça, de forma que se alcança a austenitização e por fim faz-se um segundo embutimento para atingir a forma final almejada. A adição dessa etapa no processo faz com que se consiga elevar a capacidade de conformação do material possibilitando o alcance de geometrias mais complexas.

Sabe-se que o aço oxida quando este se encontra a altas temperaturas em contato com oxigênio, formando uma carepa de alta dureza em toda sua superfície. Portanto, como alternativa a rápida oxidação, é comum revestir o aço com uma camada protetora de AlSi por galvanização a quente ou usar fornos com atmosfera protetora isenta de oxigênio na etapa de austenitização. A não utilização de blanques revestidos implica na oxidação e descarbonetação do blanque durante sua transferência do forno para a prensa, de maneira que as propriedades mecânicas finais do produto são prejudicadas por conta da descarbonetação e um desgaste acelerado das ferramentas é promovido em função da alta dureza do óxido superficial formado.

Dentre as vantagens da estampagem a quente pode-se listar a fabricação de peças com geometria de alta complexidade, a possibilidade de se conformar chapas muito finas com elevada resistência e o alcance de uma maior qualidade dimensional do produto quando se tem um bom controle do processo, já que pela estampagem a quente obtém-se mínimo springback. Outra vantagem é a respeito do afinamento na espessura sofrida pelo material como consequência do embutimento; dado que um afinamento percentual que poderia causar rupturas em um material de alta resistência estampado a frio, torna-se aceitável

quando estampado a quente, pois a ductilidade do material aumenta em função da temperatura.

Essas vantagens do processo são de grande valia para a indústria automotiva, já que com o emprego da estampagem a quente atrelado a utilização de materiais de alta resistência mecânica (AHSS) consegue-se fabricar peças de baixo peso e bom desempenho mecânico de maneira que haja um aumento no desempenho do veículo. Além disso algumas técnicas podem ser aplicadas ao Hot Forming de modo a se alcançar diferentes características mecânicas ao longo de uma mesma peça. Sendo assim, esses são os temas de nossa próxima postagem da série sobre Hot Forming.

### **Parte 3/4:**

A utilização de ligas de aço de alta resistência atrelada ao Hot Forming na indústria automotiva implica na fabricação de peças com alta resistência ao impacto e pequenas espessuras, de forma que o peso total do carro é reduzido, aumentando seu desempenho e, por objetivo final, diminuindo a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera de forma a atender os requerimentos ambientais vigentes cada vez mais rigorosos.

Dentre as ligas de aço mais utilizadas neste tipo de processo de conformação, destacam-se as ligas com Boro, principalmente a liga 22MnB5, em que a adição de Boro na composição do aço aumenta a soldabilidade da peça e diminui a taxa de resfriamento crítica para que se obtenha martensita. Já a adição do manganês aumenta a resistência a tração do material temperado.

A fabricação das colunas A e B de carrocerias automotivas configura uma aplicação típica da estampagem a quente, assim como para-choques, reforços para o teto e barras de proteção para portas, que são peças onde uma alta resistência mecânica se faz necessária. Sendo assim, as carrocerias são projetadas de forma que o habitáculo do automóvel deforma o mínimo possível em caso de impacto, enquanto a parte mais externa da carroceria se deforma plasticamente e absorve energia, para que a segurança dos passageiros seja garantida.

A necessidade de componentes com propriedades mecânicas variadas ao longo da geometria é recorrente para aplicações automotivas. Uma técnica comumente utilizada para esse objetivo é a aplicação de tailored blanks, que consiste na estampagem de blanques compostos por união soldada de dois materiais distintos ou de espessuras diferentes que são definidas de acordo com a solicitação do componente em cada região.

Uma outra técnica possibilitada pela estampagem a quente é o tailored quenching, que consiste na realização de diferentes tratamentos térmicos em diferentes regiões do blanque, que neste caso, é composto por um único tipo de aço. Para isso, a matriz de embutimento é mantida com zonas a diferentes temperaturas iniciais, de forma que apenas partes específicas do blanque são temperadas adquirindo uma microestrutura mais resistente, e outras adquirem microestruturas mais macias que absorvem mais energia com impacto. Outra maneira de

promover diferentes tratamentos térmicos no mesmo branco seria aquecê-lo de maneira diferenciada no forno. Colunas A e B de carrocerias automotivas são exemplos clássicos de componentes que requerem propriedades diferenciadas ao longo de sua geometria.

Apesar de ser um processo com diversas vantagens e possibilidades de adequação a partir da utilização de outras técnicas para o alcance de determinados objetivos em uma peça, a estampagem a quente é um método de conformação mecânica bastante complexo e que possui algumas limitações. A postagem final da série sobre Hot Forming contempla as limitações do processo e as implicações da simulação computacional nesse âmbito.

#### **Parte 4/4:**

Como vimos durante toda a série sobre Hot Forming, a estampagem a quente é um processo de alta complexidade, que envolve diversos fenômenos acontecendo simultaneamente durante a conformação. Sendo assim, a simulação computacional se encontra como uma ferramenta valiosa na fase de projetos e no melhoramento deste processo, combinando análises termomecânicas com análises da evolução das proporções fases na peça.

A partir da simulação é possível prever a dureza final obtida nas diferentes zonas da peça a ser fabricada, além de se obter previsões da geometria final alcançada, da microestrutura e transferência de calor obtida entre as ferramentas e o produto. Outro aspecto importante da simulação é que se consegue minimizar a ocorrência do teste físico, reduzindo a necessidade de tryouts. Este fato é extremamente vantajoso já que tanto o ferramental, quanto a matéria prima e a hora-ferramenta envolvidos são onerosos, portanto consegue-se dinamizar o processo e evitar a adoção de medidas que não influenciariam de fato na resolução dos problemas.

Apesar de todas as vantagens existentes na estampagem a quente, esse método também tem suas limitações. Como o material adquire elevada resistência mecânica por conta do tratamento térmico sofrido decorrente do processo, as ferramentas de corte convencional sofreriam muito desgaste, o que demandaria frequente manutenção e reposição das mesmas. Além disso a capacidade de carga da prensa a ser utilizada seria muito alta, fazendo com que o equipamento envolvido para esse procedimento seja oneroso e inviável. Como alternativa para esse problema utiliza-se o corte a laser, já que não depende de cisalhamento e por isso não envolve desgaste de ferramenta. Porém esta é uma técnica que aumenta o tempo de ciclo da produção e encarece o processo. Como medida de redução de cortes necessários geralmente adota-se a utilização de blancs figurados ou utiliza-se o método indireto de Hot Forming, em que é possível inserir uma operação de corte convencional intermediária, após o primeiro embutimento.

Com isso finalizamos nossa série de postagens sobre estampagem a quente, este processo de conformação mecânica inovador e promissor, que tem conquistado cada vez mais espaço na indústria de estampagem e que abrange diversas áreas com potencial de desenvolvimento,

otimização e pesquisas. Esperamos que essa série tenha contribuído para todos os leitores interessados a agregar conhecimento sobre o assunto e que tenha despertado ainda mais interesse sobre esse importante e relativamente novo método de estampagem.

