Produção

Novas tendências para o processo de estampagem a quente

A técnica da estampagem a quente tem alcançado sucesso na fabricação de peças com formatos complexos e maior resistência mecânica. Esse processo tira proveito tanto da boa conformabilidade decorrente das maiores temperaturas de deformação atingidas como das transformações que a austenita sofre durante o resfriamento da peça. Este trabalho mostra as características básicas dessa técnica, que corresponde a uma alternativa relativamente nova para a produção de peças a partir de chapas, e os aperfeiçoamentos pelos quais o processo tem passado.

A. A. Gorni

Nos últimos anos a metalurgia dos aços usados em chapas vem evoluindo continuamente no sentido de proporcionar economia e eficiência cada vez maiores na fabricação e uso de bens de consumo duráveis. Nas aplicações automotivas o impacto dessas melhorias é mais intenso devido ao tamanho desse mercado, seu impacto global na economia e suas implicações ao meio ambiente. O principal objetivo neste caso é aumentar a resistência mecânica das chapas de forma a permitir a redução de sua espessura sem perda de desempenho mecânico, garantindo ou até mesmo melhorando o desempenho dos componentes automotivos feitos com elas. O uso de chapas com menor espessura contribui para reduzir o peso dos veículos, diminuindo também seu consumo de combustível. O grande problema a ser resolvido – ou, ao menos, minimizado – está no fato de que o aumento da resistência mecânica do aço prejudica sua estampabilidade.

Quase quarenta anos de evolução metalúrgica contínua levaram ao advento dos chamados aços avançados de alta resistência (AHSS, *Advanced High Strength Steels),* que procuram conciliar a maior resistência mecânica das chapas com perdas mínimas em sua conformabilidade[6]. Mas a busca incessante por melhorias faz com que os avanços conseguidos até agora, embora espetaculares, não sejam suficientes. A estampabilidade dos aços AHSS já foi bastante melhorada, mas ainda é inadequada em várias situações práticas. O principal problema não é exatamente a conformabilidade, mas sim o chamado "efeito mola" ou retorno elástico *(springback)* que ocorre após as operações de estampagem, e que é bastante acentuado nas chapas de aço AHSS. A chapa chega a ser conformada, mas sofre distorção imediatamente após sair da matriz devido a tensões residuais. Essa distorção afeta, em maior ou menor grau, a precisão dimensional da peça.

Uma solução para esse problema consiste em desvincular as características de processamento e de aplicação do material. A

Antonio Augusto Gorni é editor técnico da revista *Corte e Conformação de Metais.*

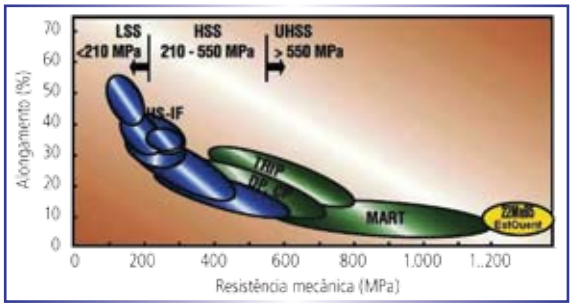

Fig. 1 – Balanço entre resistência mecânica e ductilidade para os diversos aços AHSS, também conhecido como "gráfico da banana" devido ao seu formato peculiar. A posição dos aços processados por estampagem a quente seguida de têmpera está representada pelo balão amarelo[2].

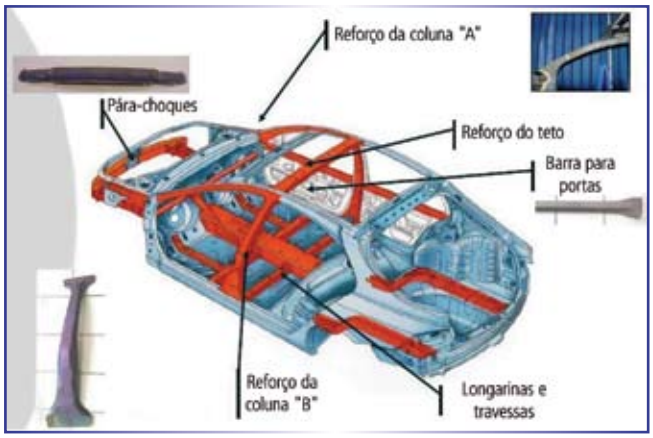

Fig. 2 – Principais componentes automotivos produzidos por estampagem a quente[7]

sabedoria popular afirma, desde tempos remotos, que se deve malhar o ferro enquanto ele estiver aquecido. Então, por que não aquecer as chapas antes de efetuar sua estampagem? A explicação científica para este procedimento é que, sob maiores temperaturas, são ativados os planos cristalográficos de escorregamento das discordâncias, tornando sua migração mais fácil. Na prática, o que se observa é o amaciamento do material e aumento de sua ductilidade. Logo após a estampagem geralmente a chapa é temperada, o que lhe proporciona alta resistência mecânica. Esta última etapa do processo não é obrigatória do ponto de vista da conformabilidade, mas é extremamente interessante para a redução do peso do componente, já que ele é feito de um material que passa a ter maior resistência mecânica[2,11].

A estampagem a quente não é um processo exatamente novo. Ele foi desenvolvido originalmente na empresa sueca *Plannja Hard Tech,* em 1973 – justamente o ano em que surgiram os primeiros grandes desafios para a indústria automobilística, em razão dos aumentos desenfreados que então ocorreram na cotação do petróleo. Contudo, sua aplicação industrial foi restrita até o início do novo milênio, quando sua aceitação aumentou de forma exponencial. Atualmente a estampagem a quente é empregada basicamente para a produção de componentes anti-intrusão e de reforços estruturais para carros de passageiros, cujas características – como tamanho relativamente grande, formato complexo e altos níveis de resistência mecânica – tornam difícil o uso de aços AHSS estampados a frio. De fato, a partir do balanço entre resistência mecânica e alongamento para vários tipos de aços AHSS, mostrado na figura 1, percebe-se que as peças obtidas por estampagem a quente seguida de têmpera apresentam máxima resistência mecânica e ductilidade mínima[2]. A figura 2 mostra os principais componentes automotivos que requerem esse perfil de propriedades: para-choques, reforços para o teto e colunas "A" e "B", barras de proteção para portas, elementos de travessas e longarinas, entre outros[7].

Estima-se que em 2004 esse processo tenha consumido de 60.000 a 80.000 toneladas de chapas só na Europa. Em 2008, imediatamente antes da crise,

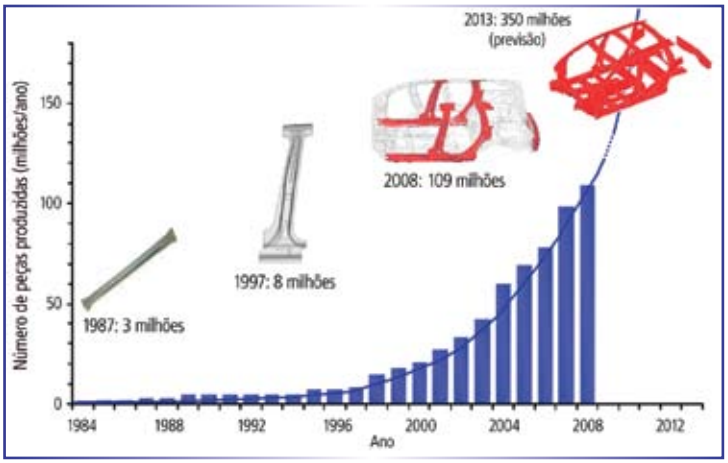

Fig. 3 – Evolução da produção de peças fabricadas por estampagem a quente entre 1984 e 2008[14]

Produção

previu-se que o processo consumiria no ano seguinte 300.000 t de chapas só na Europa, e que mais 20 novas linhas de estampagem a quente seriam implantadas nesse continente[4]. O novo processo também foi bem-sucedido nos EUA: em 2004 foram compiladas no país 33 versões de para-choques feitos por estampagem a quente para diversos modelos de veículos em várias montadoras, como Volkswagen, General Motors, Citröen, Ford e Smart. Os principais aços usados foram o SAE 10B21 e 15B21, na forma de blanques com espessuras entre 1,50 e 3,50 mm. Os valores médios das propriedades típicas pós-têmpera foram: limite de escoamento de 1.140 MPa; limite de resistência de 1.520 MPa; alongamento total de 12% e dureza de 479 HV[1].

A figura 3 (pág. 63) mostra a evolução do número de peças produzidas anualmente por estampagem a quente. Nota-se que a produção subiu de 3 milhões de unidades em 1987 para 109 milhões em 2008 – ou seja, um espetacular aumento de mais de 3.500% em pouco mais de vinte anos. A previsão de produção para 2013, feita antes da crise financeira de 2008, era de 350 milhões de peças estampadas a quente – ou seja, um aumento de mais de 220% em relação aos dados de 2008[14]. Certamente essa previsão terá de ser revista, mas ainda assim é notável o progresso que a estampagem a quente está alcançando em termos industriais.

O princípio do processo é relativamente simples. Blanques cortados a partir de bobinas de aço de baixo carbono ao boro são introduzidos em um forno contínuo para austenitização entre 850 e 950°C. A superfície do aço tem de ser protegida contra a rápida oxidação que ocorre sob essas altas temperaturas. A alternativa mais comum consiste em revestir sua superfície com uma camada de AlSi, mas eventualmente é possível dispensar esse revestimento e usar atmosfera protetora no interior do forno. Após um período de aquecimento que pode levar de quatro a dez minutos, a chapa é encaminhada para a prensa de estampagem, onde é conformada. Imediatamente ocorre a têmpera da chapa, dentro da matriz refrigerada a água. Após um período de resfriamento, que dura entre 15 e 25 segundos, a têmpera está completa, as rebarbas da peça são retiradas e ela é extraída da matriz a uma temperatura de aproximadamente 150°C. O resfriamento posterior da peça é feito em contato com o ar, com efeito de revenimento[12]. A figura 4 mostra, de forma esquemática, o ciclo térmico da estampagem a quente seguida de têmpera[10].

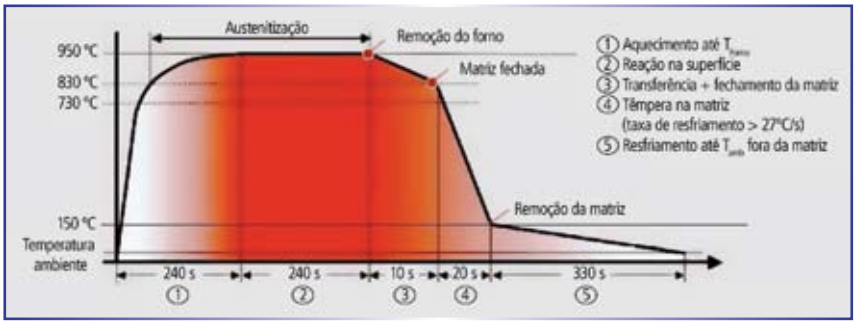

Fig. 4 – Ciclo térmico do processo de estampagem a quente com têmpera na matriz[10]

Etapas do processo

Seleção do aço

Na estampagem a quente a etapa mais crítica quanto à definição das propriedades mecânicas da peça acabada é a têmpera, que normalmente é feita dentro da matriz refrigerada a água. Logo, a composição química do aço a ser utilizado é definida de acordo com as propriedades mecânicas finais requeridas, a espessura da peça e as velocidades de resfriamento obtidas durante a têmpera na matriz, garantindo um nível adequado de temperabilidade.

A tabela 1 mostra a composição química de diversos aços processados por estampagem a quente, enquanto a figura 5 (pág. 66) mostra os respectivos diagramas de transformação durante o resfriamento contínuo (TRC)[4]. Os melhores projetos de liga para os aços destinados à estampagem a quente adotam teores de carbono da ordem de 0,20% e teores de manganês relativamente elevados,

Tab. 1 – Composições químicas típicas de aços destinados para a estampagem a quente[4]

Aço	C	Mn	Si	Cr	B	Al	Ti	Mo
1	0,23	1,25	0,29	0,21	0,0030	–	–	–
2	0,21	2,14	0,25	–	–	0,031	–	–
3	0,2	1,22	0,19	0,24	0,0019	–	–	–
4	0,23	1,25	0,25	0,16	0,0035	0,015	0,035	0,10

Produção

a partir de 1,20%. Este último elemento é extremamente efetivo para retardar a transformação da austenita, ou seja, para aumentar a temperabilidade do aço.

Adições de boro também são muito eficazes para atrasar a transformação ferrítica. Esse elemento, quando presente na forma de solução sólida, segrega para os contornos de grão austeníticos e impede a nucleação da ferrita. Contudo, seu teor deve ser da ordem de apenas alguns milésimos de unidades percentuais, como é a prática usual com esse elemento. Teores mais elevados levam à formação de boretos nos contornos de grão austeníticos, o que piora sua temperabilidade. Além disso, uma vez que o boro possui grande afinidade com o oxigênio e o nitrogênio, é necessária a adição de elementos de liga suplementares para evitar a reação dele com esses elementos. Por esse motivo é requerida a presença de alumínio e titânio nos aços ao boro.

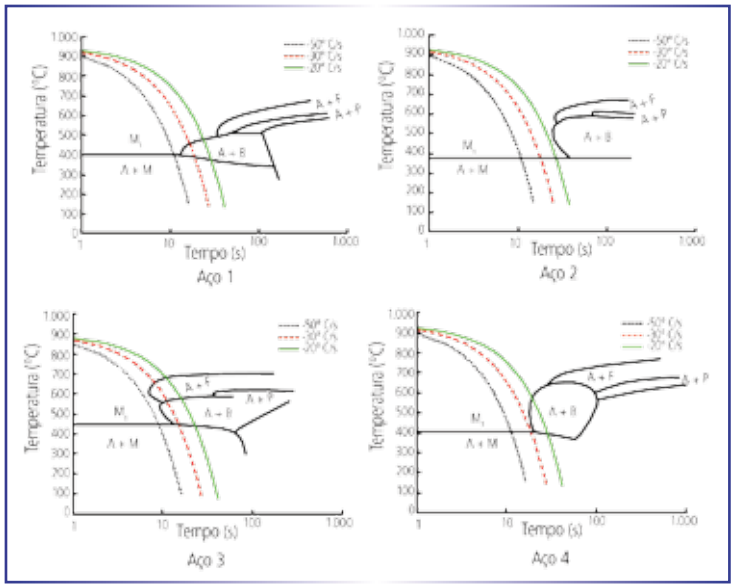

Fig. 5 – Diagramas TRC relativos aos aços da tabela 1 (pág. 64)[4]

O cromo é outro elemento de liga que promove grande aumento de temperabilidade no aço, sendo especialmente importante para restringir a transformação bainítica, deslocando-a rumo a menores temperaturas no diagrama TRC. Nota-se que o aço 1, que apresenta combinação de maiores teores de cromo e de boro, apresenta campo bainítico localizado sob temperaturas mais baixas em comparação com as demais ligas.

De forma geral, quanto maior o teor de elementos de liga de um aço, menor a sua taxa de resfriamento crítica, ou seja, a velocidade de resfriamento mínima necessária para que a austenita se transforme integralmente em martensita. Isso geralmente contribui para simplificar o projeto do ferramental, reduzindo seu

custo. É o caso do aço 2 da tabela 1, que apresenta a menor taxa de resfriamento crítica dentre as ligas listadas. Em compensação, o material tende a ficar mais caro, o que requer uma cuidadosa análise da relação custo x benefício desta abordagem[4].

Uma liga que já se tornou clássica para a fabricação de peças por estampagem a quente é a 22MnB5, cujos limites de composição química são: 0,22-0,25% C, 1,20-1,40% Mn, 0,20-0,30% Si, 0,020% P máx, 0,005% S máx, 0,020-0,050% Al total, 0,020-0,050% Ti, 0,11-0,20% Cr, 0,0020-0,0035% B, 0,10% Mo máx, 0,10% Cu máx e 0,10% Ni máx. Observa-se que a liga 4 da tabela 1 se enquadra dentro dessa especificação.

É necessário considerar também que, na estampagem a quente, a temperabilidade do aço não é função exclusiva de sua composição química. Há muito tempo é plenamente reconhecido o fato de que a conformação mecânica a quente prejudica a temperabilidade do aço, uma vez que ela reduz o tamanho de grão e promove algum encruamento na microestrutura[5]. Dessa forma a austenita tem sua energia livre aumentada, o que promove aumento das taxas de nucleação e crescimento da ferrita e se traduz na elevação da temperatura em que a sua transformação se inicia (ponto Ar_3). Os efeitos da deformação plástica na transformação bainítica e martensítica tendem a ser inversos, de forma que ocorre a diminuição da temperatura de início dessas transformações (B_s e M_s). Neste caso acontece uma estabilização mecânica da austenita, fenômeno que tende a elevar a fração de austenita residual eventualmente presente na microestrutura final do componente. Logo, a taxa crítica determinada a partir dos diagramas TRC da figura 4 não é exatamente correta no caso da estampagem a quente, já que esses diagramas foram construídos a partir de amostras não-deformadas. O ideal é que os diagramas TRC a serem usados nas análises de processos de estampagem a quente sejam determinados a partir da austenita deformada a quente[4].

Produção

Preparação dos blanques

A austenitização dos blanques requer seu aquecimento sob temperaturas acima do ponto Ac_3, tipicamente entre 900 e 950°C. A exposição da superfície do aço ao ar atmosférico sob tais condições provoca sua imediata oxidação e descarbonetação. Uma solução para esse problema está no uso de forno com atmosfera controlada isenta de oxigênio no interior de sua câmara. Ainda assim, é inevitável o aparecimento de uma pequena camada oxidada e descarbonetada sobre a superfície do blanque, com até 60 mícrons de espessura, que se forma durante sua rápida transferência desde o forno até a prensa.

Esse fato leva a algumas desvantagens: a carepa (óxido superficial) é extremamente dura, promovendo o desgaste acelerado da matriz de estampagem. Por sua vez, a descarbonetação prejudica as propriedades mecânicas da peça acabada, já que o carbono consumido pelo oxigênio não mais contribuirá para a temperabilidade do aço. Finalmente, a remoção da camada oxidada por jateamento de granalha ou areia implica em gastos e pode afetar as tolerâncias geométricas das peças, que apresentam espessuras relativamente pequenas.

A solução mais recomendada para esse problema está no revestimento prévio dos blanques com uma camada de alumínio e 10% de silício, com espessura entre 20 e 35 mícrons, aplicada por imersão a quente. Durante o aquecimento no forno esse revestimento se transforma em uma camada altamente aderente sobre o blanque, concedendo-lhe alta resistência à oxidação e à descarbonetação. Esse revestimento é compatível com a pintura que será aplicada à peça acabada, o que dispensa o seu jateamento e contribui para a redução do custo[3,4].

Blanques submetidos ao *galvannealing* também podem passar por estampagem a quente, pois constatou-se que a resistência à corrosão das peças estampadas a quente feitas com esse tipo de blanque foi apenas ligeiramente inferior à dos blanques revestidos com AlSi[4].

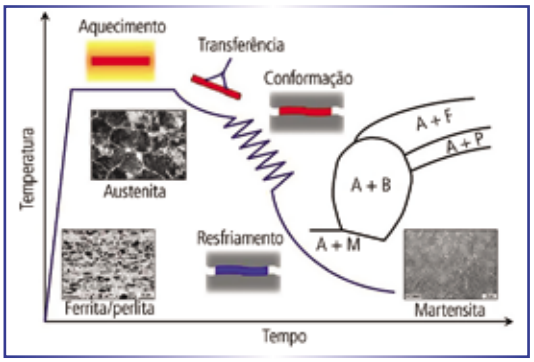

Fig. 6 – Fenômenos metalúrgicos que ocorrem ao longo do processo de estampagem a quente seguida de têmpera[15]

A estampagem a quente propriamente dita

A figura 6 mostra os fenômenos metalúrgicos que ocorrem ao longo do processo de estampagem a quente seguida de têmpera. A microestrutura ferrítica-perlítica do blanque sob temperatura ambiente se transforma em austenita com alta plasticidade durante o aquecimento no forno, o que favorece a operação de estampagem. Após a conformação mecânica é fundamental que o resfriamento proporcionado pela matriz seja intenso o suficiente para evitar a transformação da austenita por processos envolvendo difusão, o que leva a microconstituintes bem mais macios do que a martensita que se deseja obter. Isso significa que os campos de transformação ferríticos e bainíticos mostrados no diagrama TRC genérico da figura 6 devem ser evitados, o que é conseguido aplicando ao blanque uma velocidade de resfriamento superior à taxa de resfriamento crítica.

O processo de estampagem a quente pode ser executado em duas variantes: direta ou indireta. Peças com formato mais simples são produzidas pelo processo direto, mostrado na figura 7, no qual o blanque é conformado

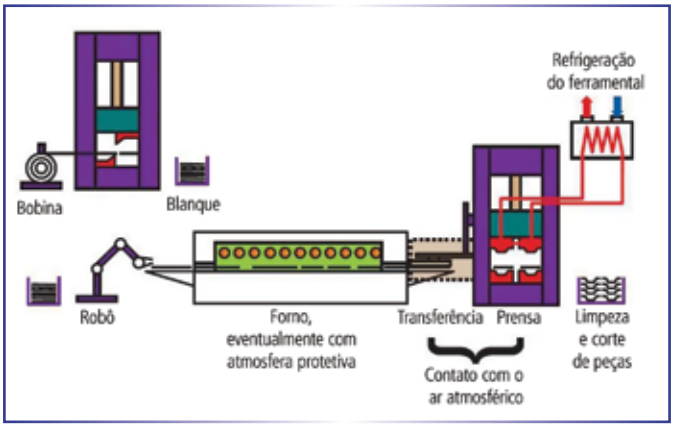

Fig. 7 – Processo direto de estampagem a quente[2]

Produção

exclusivamente por estampagem a quente. Por outro lado, peças com formato mais complexo são feitas por processo indireto, mostrado na figura 8, no qual de 90 a 95% da conformação necessária é aplicada previamente a frio.

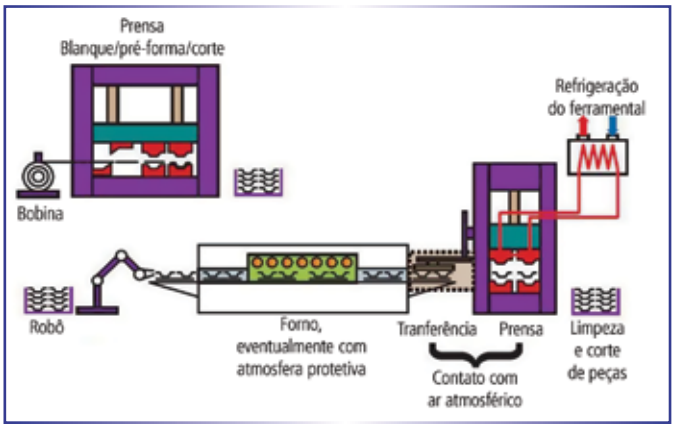

Fig. 8 – Processo indireto de estampagem a quente[2]

Vantagens e desvantagens da estampagem a quente

Como já foi citado anteriormente, o processo de estampagem a quente seguido de têmpera permite a fabricação de peças com alta resistência mecânica sob menores cargas de conformação, reduzindo o efeito mola e o nível de tensões residuais na peça e melhorando sua precisão dimensional. O ganho de conformabilidade proporciona maior liberdade de *design* para as peças. O fato de as propriedades mecânicas serem conseguidas por conformação a quente seguida de têmpera homogeniza sua distribuição ao longo da peça, independentemente de seu formato, ao contrário do que acontece nos componentes estampados a frio, nos quais a resistência mecânica depende do grau local de deformação. A conformação da peça é feita ao longo de um número reduzido de etapas, ou mesmo em um só estágio, com a correspondente redução no número de ferramentas usadas[11].

Por outro lado, tudo isso tem um custo. A energia requerida para aquecer e temperar o blanque é quatro vezes superior à requerida para o processo de estampagem a frio. As medidas para proteção contra a oxidação ou o recondicionamento do blanque oxidado também implicam em custos adicionais. Os equipamentos e ferramentas devem resistir ao calor, o que torna seu projeto mais complicado e requer que eles sejam fabricados em materiais especiais. E não se pode esquecer que a têmpera após a estampagem a quente prolonga o tempo de ciclo da manufatura, resultando em menor produtividade[11].

Foi feito um estudo específico sobre os custos associados a diversos processos de conformação, no qual escolheu-se como componente representativo uma coluna "B" para automóvel. Foram consideradas três variantes de processo:

- Estampagem a frio de chapas de aço bifásico (DP 600) revestidas com zinco, com espessura de 2,2 mm;
- Estampagem a morno (660°C) de chapas de aço bifásico (DP 600) revestidas com zinco, com espessura de 2,2 mm;
- Estampagem a quente (900°C) seguida de têmpera (15 segundos) e revenimento (entre 150 e 200°C, durante 10 segundos) de chapas de aço 22MnB5 revestidas com AlSi, com espessura de 1,85 mm.

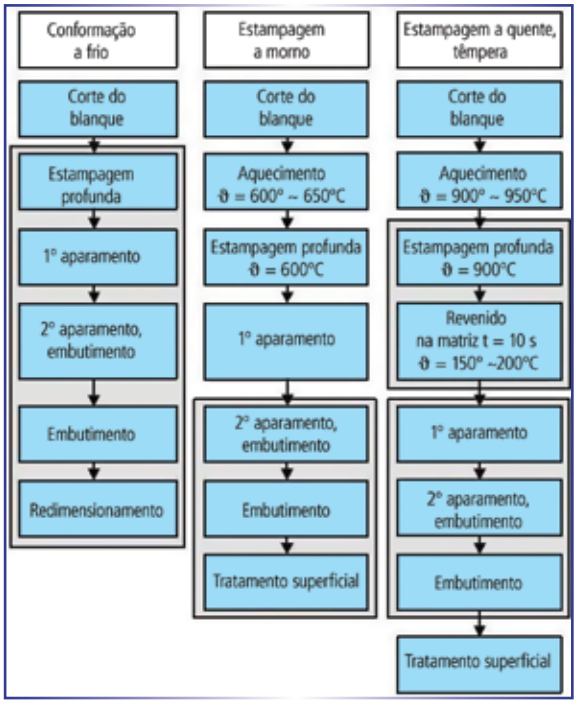

Fig. 9 – Comparação entre as cadeias de processo especificadas para a fabricação de uma coluna "B" por estampagem a frio, estampagem a morno e estampagem a quente seguida de têmpera[11]

A figura 9 mostra as etapas de processo necessárias para cada uma das abordagens de manufatura para a coluna "B"

Produção

adotada no estudo de comparação. Deve-se notar que a versão do componente fabricada por estampagem a quente, além de possuir espessura 15,9% menor, dispensa os componentes de reforço estrutural que devem estar presentes nas demais versões. Isso contribui ainda mais para a redução de peso da peça.

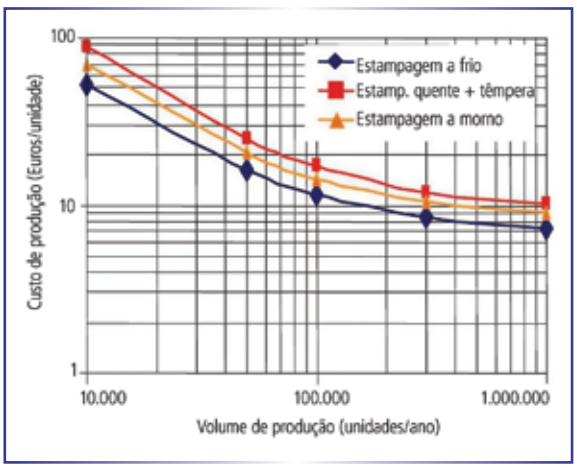

Fig. 10 – Custo de produção em função do volume de peças produzidas por ano e do tipo de processo usado para a manufatura da coluna "B": estampagem a frio, a morno ou a quente seguida de têmpera[11]

Conforme indica a figura 10, independentemente do volume de produção, o custo de fabricação por unidade foi aumentando na sequência: estampagem a frio, estampagem a morno e estampagem a quente seguida de têmpera. A figura 11 (pág. 73) mostra uma comparação entre as distribuições de custos para os três processos considerados. A estampagem a quente foi o processo mais econômico em termos de custos de investimento, horas-máquina, salários e produção. Contudo, perdeu de forma fragorosa quando foram avaliados os custos associados ao tempo de processamento, além de apresentar uma pequena desvantagem quanto ao custo do material. Já o processo por estampagem a frio só perdeu dos demais em termos de custos associados ao investimento, horas-máquina, salários e produção, mas foi insuperável nos quesitos ferramental e custos associados ao tempo de processamento[11].

Nota-se que, em termos de custos, a situação não é favorável à estampagem a quente. Contudo, ele é o único processo que pode fabricar, de forma consistente, componentes em formatos complexos com níveis de resistência mecânica alta ou ultra-alta, que só poderiam ser conseguidos por tratamento térmico de têmpera. Outros aspectos que favorecem a opção pela estampagem a quente são a possibilidade de redução do peso do veículo, redução do número de componentes discretos (por meio da incorporação desses a uma peça única, com maior dimensão e formato mais complexo) e a necessidade de atender a requisitos severos de precisão dimensional.

Inovações na estampagem a quente

Blanques sob medida *(tailored blanks)*

O conceito de blanques sob medida *(tailored blanks)* já é re-

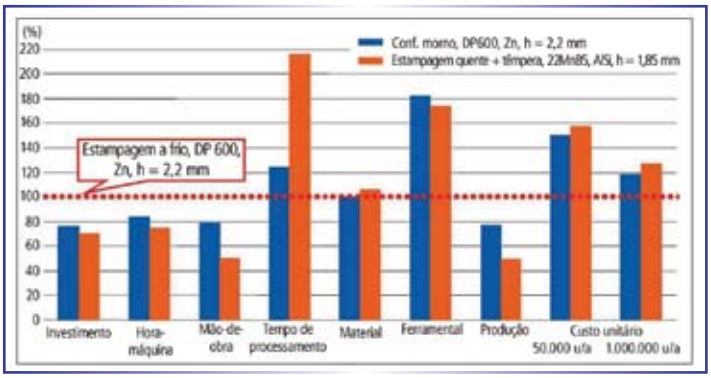

Fig. 11 – Comparação entre as distribuições de custos básicos para os diversos processos de manufatura usados para a fabricação da coluna "B". O processo por estampagem a frio foi tomado como base, tendo assumido valor igual a 100[11].

lativamente comum na área de estampagem a frio: trata-se de blanques constituídos de vários tipos de chapas soldadas entre si. O tipo de aço, formato e espessura de cada retalho de chapa que constitui o blanque é definido de acordo com os requisitos a serem atendidos pelo componente. Isso permite, por exemplo, a incorporação de aços mais sofisticados (e caros) apenas nas áreas mais críticas do componente, ou mesmo o afinamento da parede nas regiões onde a peça não será tão solicitada.

Uma extensão desse conceito para a estampagem a quente pode ser vista na figura 12 (pág. 74), que mostra uma coluna "B" constituída dos aços 22MnB5 e HR45[12]. É possível combinar, em uma mesma peça, zonas com capacidade anti-intrusão com áreas em que ocorreria absorção de energia em caso de colisão[8]. Outros exemplos de aplicação de blanques sob medida processados por estampagem a quente podem ser vistos na figura 13 (pág. 74)[13].

Uma vantagem adicional desse processo está no fato de que a elevação das propriedades mecânicas, que caracteriza a região termicamente afetada do cordão de solda, é virtualmente eliminada após a aplicação do tratamento térmico de têmpera[10]. Por outro lado, o revestimento de AlSi normalmente presente nos blanques destinados à estampagem a quente pode contaminar o cordão de solda durante a manufatura do blanque sob medida. Isso altera as condições de trans-

21ª Feira Internacional da Tecnologia para Trabalhar Chapas Metálicas

Euro BLECH 2010

The World's No.1

26 - 30 de Outubro de 2010 • Hanôver, Alemanha

• Chapas de metal, tubos, secções (ferrosa e não-ferrosa)
• Produtos acabados, componentes, conjuntos
• Manuseamento • Separação, corte • Formação
• Tecnologia para trabalhar chapas de metal flexíveis
• Tubos, Processamento de secção
• Elementos de maquinaria • Junção, Soldadura, Engaste
• Tecnologia de tratamento de superfícies para chapas de metal
• Ferramentas, Matrizes • Controlo, Regulação, Medição, Testes
• Garantia de qualidade • Sistemas CAD/CAM, Processamento de dados
• Equipamento de fábrica e armazém
• Protecção do ambiente, Reciclagem • Segurança no trabalho
• Investigação e desenvolvimento

Para maiores informações, por favor, contactar:
Mack Brooks Exhibitions Ltd, E: info@euroblech.com

www.euroblech.com

Fig. 12 – Coluna "B" feita com blanques sob medida, incluindo em um mesmo componente zonas anti-intrusão e zona para absorção de energia[12]

formação da austenita durante o resfriamento após a soldagem e a têmpera, promovendo a formação de grande quantidade de ferrita, o que reduz significativamente a resistência mecânica da união e afeta o desempenho final da peça. A solução sugerida para esse problema consiste na preparação das bordas dos blanques a serem soldados, com a remoção do revestimento de AlSi presente nesses locais por ablação a *laser*[16].

Propriedades mecânicas sob medida

Uma variante do conceito de blanques sob medida são as propriedades mecânicas obtidas sob medida. Nesse caso o blanque pode ser constituído de um único tipo de aço, contudo, determinadas regiões da peça passam por tratamentos térmicos durante ou após a estampagem a quente, de forma a desenvolver um perfil mais adequado de propriedades mecânicas para a aplicação em questão. As ideias exploradas até o momento dentro deste conceito[8,9] são:

- Aquecimento parcial no forno: somente uma zona da peça será aquecida sob temperatura acima da necessária para a austenitização. Logo, só a parte do blanque correspondente a essa região será temperada durante o resfriamento; o restante da peça não sofrerá impacto significativo em decorrência do tratamento térmico. Um exemplo desta abordagem pode ser visto na figura 14. Esse tipo de tratamento pode ser feito em fornos com zonas aquecidas de forma seletiva, por meio da proteção térmica das regiões do blanque que não deverão ser aquecidas, por aquecimento seletivo por indução, etc.
- Têmpera parcial na matriz. Neste caso, todo o blanque é austenitizado, mas apenas uma parte dele é temperada. Isto pode ser feito com o uso de matrizes com zonas aquecidas. Contudo, é necessário levar em conta que o tempo de ciclo desta abordagem é maior em decorrência do resfriamento mais lento do sistema, o que reduz ainda mais a sua produtividade. Um exemplo da aplicação desta variante pode ser visto na figura 15 (pág. 76).
- Revenimento parcial. Aqui as peças são integralmente austenitizadas e temperadas, mas somente algumas porções dela passam por revenimento de forma a melhorar localmente sua ductilidade. Neste caso podem ser usados fornos convencionais, com aquecimento por indução ou resistência.

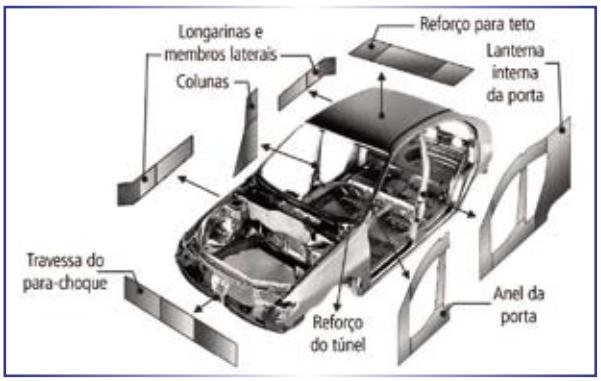

Fig. 13 – Outras peças automotivas produzidas a partir de blanques sob medida processados por estampagem a quente[13]

Fig. 14 – Coluna "B" estampada a quente, apresentando propriedades mecânicas sob medida obtidas por austenitização localizada[8]

Outras inovações

Há ainda outras inovações no processo de estampagem a quente cuja aplicação ainda está engatinhando. Uma delas é a extensão desse conceito à estampagem hidrodinâmica e à hidroconformação a quente de blanques em forma de tubos. Também está sendo considerado o

Produção

uso de blanques laminados a frio sob medida ou produzidos por perfilação, os quais proporcionam características melhoradas de rigidez e de resistência ao dobramento, bem como flexibilidade em termos de perfil de seção transversal. Estão sendo estudados novos tipos de revestimento para blanques, inclusive do tipo orgânico, mas o mais provável é que as coberturas aplicadas por imersão a quente continuem sendo as mais usadas devido à ampla disponibilidade de linhas que aplicam esse tipo de revestimento. Por esse mesmo motivo, deve-se continuar os estudos visando a melhoria do desempenho dos revestimentos à base de zinco usados nos blanques processados por estampagem a quente. Finalmente, está sendo estudada a possibilidade de estampagem a morno ou a quente também no caso de ligas de metais leves, como alumínio e magnésio[8].

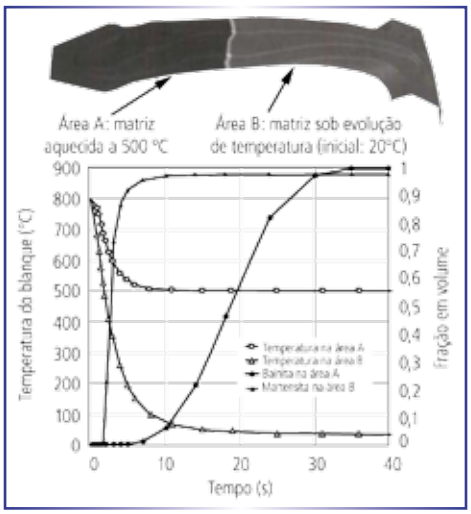

Fig. 15 – Resultado obtido por meio de análise por elementos finitos sobre a evolução microestrutural em uma coluna "B" estampada a quente usando matriz com zona aquecida de forma seletiva[8]

Conclusões

Embora os limites da conformação a frio dos aços AHSS ainda não tenham sido devidamente alcançados, atualmente a estampagem a quente é a única rota de processo que permite a fabricação de componentes com formatos complexos e alta resistência mecânica. A austenitização do aço, além de facilitar o processo de conformação em razão da menor resistência mecânica e maior ductilidade do material sob processamento, também permite aproveitar os fenômenos decorrentes da transformação metalúrgica posterior para obter perfis com propriedades mecânicas que permitam reduzir o peso das peças e melhorar seu desempenho.

Contudo, as altas temperaturas atingidas tornam o processo e o equipamentos de conformação mais complexos, o que implica em aumento de custos devido à necessidade de se revestir o blanque a ser conformado, da energia gasta para aquecer, temperar e revenir a peça conformada e da perda de produtividade causada pelo tempo gasto nas etapas de tratamento térmico. Portanto, ainda há muito trabalho no sentido de aperfeiçoar o processo de estampagem a quente e determinar

KLM
Manutenção de Máquinas Indl. Ltda.
Manutenção preventiva, corretiva e emergencial, assim como geometria geral em prensas horizontais, verticais, de ação de joelho, de fricção (PF), tipo "C", "H", mecânicas, hidráulicas, etc.
Dobradeiras, guilhotinas, dupla coluna (portais), centro de usinagem, fresadora CNCs em geral.
TODAS NACIONAIS E IMPORTADAS
• Testes de pressão em prensas até 500 tons com regulagem do segurança hidráulica (overload).
• Consertos em bombas e conjuntos da segurança hidráulica (overload).
• Fabricação e usinagem de peças emergenciais em geral em todas as ligas.
• Executamos retrofitings em geral.
• Adequação de prensas conforme norma PPRPS atual e enquadramento de segurança categoria 4, nas normas NR 12 , NR 16, NBRNM 273, NBR 13929 EN 1088 , NBR 13930 EN 693, NBR 14152 EM 693 , NBR-NM213, EN 693.
Tel.: 11 2012-2987 Fax: 11 2019-3165
www.klmmanut.com.br | klmmanut@klmmanut.com.br
Av. Nossa Senhora do Desterro, 29 | Jd. Sta. Adélia CEP 03973-070 | São Paulo | SP

modos de utilização plena do seu potencial metalúrgico para produzir peças que cumpram suas funções da forma mais eficiente e econômica possível.

Referências

1) Aisi. *Steel Bumper Systems for Passenger Vehicles and Light Trucks.* American Iron and Steel Institute, Southfield, 2006, 184 p.
2) Altan, T. Hot Stamping Boron-Alloyed Steels for Automotive Parts – Part I: Process Methods and Uses. *Stamping Journal,* December 2006, 40-41.
3) Altan, T. Hot Stamping Boron-Alloyed Steels for Automotive Parts – Part II: Microstructure, Material Strength Changes During Hot Stamping. *Stamping Journal,* January 2007, 14-15.
4) Fan, D.W. e outros. Critical Review of Hot Stamping Technology for Automotive Steels. In: Materials Science and Technology (MS&T). *Proceedings.* ASM International, Detroit, 2007, 99-109.
5) Gorni, A.A. Efeito da Deformação na Decomposição da Austenita em Aços de Baixa Liga. XLIII Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais. *Anais.* Belo Horizonte, Outubro 1988.
6) Gorni, A.A. Aços Avançados de Alta Resistência: Microestrutura e Propriedades Mecânicas. *Corte e Conformação de Metais,* 4:44, Dezembro 2008, 26-57.
7) Hein, P. Numerical Simulation of the Hot Stamping of Automotive Components with Usibor 1500 P. EuroPAM 2005. *Proceedings.* Potsdam, Oct. 2005, 17 p.
8) Hein, P. & Wilsius, J. Status and Innovation Trends in Hot Stamping of USIBOR 1500 P. *Steel Research International,* 79:2, February 2008, 85-91.
9) Kolleck, R. e outros. Hot Stamping of Car Body Parts with Local Strength Adjustement. In: International Deep Drawing Research Group International Conference – IDDRG 2009. *Proceedings.* Golden, 2009, 825-834.
10) Maas, J. & Staudinger, W. Tailored Blanks in der Warmumformung. *ThyssenKrupp Tech Forum,* 1, 2008, 39-31.
11) Neugebauer, R. e outros. *Sheet Metal Forming at Elevated Temperatures.* Annals of the CIRP, 55:2, 2006, 793-816.
12) Nicolas, Y. Estampagem a Quente, um Novo Método de Conformação. *Corte e Conformação de Metais,* Março 2006, 72-77.
13) Pic, A. e outros. Press Hardened Steel Based Laser Welded Blanks: The Ultimate Tool for Crashworthiness. *La Revue de Metallurgie – CIT,* Janvier 2008, 50-59.
14) Siebels, H. & Aspacher, J. PCH – Uma Nova Tecnologia de Prensas para Conformação de Metais de Alta Resistência com Melhoria na Qualidade de Peças e Redução de Custos. *Anais.* Corte e Conformação de Metais – Feira e Congresso, Aranda Eventos, São Paulo, Outubro 2009, 9 p.
15) Turetta, A. *Investigation of Thermal, Mechanical and Microstructural Properties of Quenchable High Strength Steels in Hot Stamping Operations.* PhD Thesis, Universitá degli Studi di Padova, Gennaio 2008, 182 p.
16) Vierstraete, R. e outros. Laser Ablation for Hardening Laser Welded Steel Blanks. *Industrial Laser Solutions,* March/April 2010, 6-11.