

Novas tendências no processo de estampagem a quente

Antonio Augusto Gorni

Editor Técnico da Revista Corte e Conformação de Metais

Resumo

Apesar do intenso desenvolvimento de chapas de aço que buscam associar alta resistência mecânica e boa estampabilidade, a estampagem a quente vem apresentando bastante sucesso na fabricação de peças com formato complexo e resistência mecânica superior. Nesta abordagem se toma proveito tanto da melhor conformabilidade decorrente das maiores temperaturas de deformação, como das transformações que a austenita sofre durante o resfriamento da peça. Este trabalho mostra as características básicas dessa alternativa relativamente nova para produção de peças a partir de chapas de aço, bem como as inovações que continuam a ser feitas nesse processo.

1 – Introdução

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 enorme tamanho desse mercado, seu impacto global na economia e suas implicações ao meio ambiente. O principal objetivo aqui é aumentar a resistência mecânica das chapas de forma a permitir a redução de sua espessura sem perda de seu desempenho mecânico, garantindo ou até mesmo melhorando o desempenho dos componentes automotivos feitos com elas. O uso dessas chapas com menor espessura contribui para reduzir o peso dos veículos e, dessa forma, também diminui seu consumo de combustível. O grande problema a ser resolvido – ou, ao menos, minimizado – está no fato de que o aumento na resistência mecânica do aço prejudica sua estampabilidade.

Quase quarenta anos de contínua evolução metalúrgica levaram ao advento dos chamados aços avançados de alta resistência (*AHSS, Advanced High Strength Steels*), os quais procuram conciliar maior resistência mecânica das chapas com perdas mínimas em sua conformabilidade [Gorni 2008]. Mas a incessante busca por melhorias faz com que os avanços conseguidos até o momento, embora espetaculares, não sejam suficientes. A estampabilidade dos aços AHSS, embora bastante melhorada, 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 durante as operações de estampabilidade, que é bastante acentuado nas chapas de aço AHSS. A chapa chega a ser conformada, mas sofre distorção imediatamente após sair da matriz em função de tensões residuais. Essa distorção, em maior ou menor grau, afeta a precisão dimensional da peça.

Uma solução para esse problema consiste em desvincular as características de processamento e de aplicação do material. A sabedoria popular afirma, desde tempos remotos, que se deve malhar o ferro enquanto ele estiver aquecido. Por que não, então, aquecer as chapas antes de efetuar sua estampagem? A explicação científica para este fato é que, sob maiores temperaturas, são ativados os planos cristalográficos de escorregamento das discordâncias, tornando sua migração mais fácil. O que se observa na prática é o amaciamento do material e aumento de sua ductilidade. Imediatamente 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 passa a ser feito de material com maior resistência mecânica (Altan 2006, Neugebauer 2006).

Curiosamente, a estampagem a quente não é um processo exatamente novo. Ela foi originalmente desenvolvida na empresa sueca *Plannja Hard Tech* em 1973 – justamente o ano em que surgiram os primeiros grandes desafios para a indústria automobilística, em função dos desenfreados aumentos 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, cujo 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 os vários tipos de aço AHSS, o qual pode ser visto na figura 1, percebe-se que as peças obtidas por estampagem a quente seguida de têmpera apresentam máxima resistência mecânica e ductilidade mínima (Altan 2006). 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 outras (Hein 2005).

Estima-se que em 2004 esse processo tenha consumido de 60 mil a 80 mil toneladas de chapas só na Europa. Em 2008, imediatamente antes da crise, foi previsto que, no ano seguinte,

esse processo consumiria 300.000 t de chapas só na Europa e que seriam implantadas mais vinte novas linhas de estampagem a quente nesse continente (Fan 2007). O novo processo também foi bem sucedido nos EUA: em 2004 foram compiladas 33 versões de para-choques feitos nesse país através de 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 espessura variando entre 1,50 e 3,50 mm. Os valores médios das propriedades típicas pós-têmpera foram: limite de escoamento, 1.140 MPa; limite de resistência, 1.520 MPa; alongamento total, 12%; dureza, 479 HV (AISI 2006).

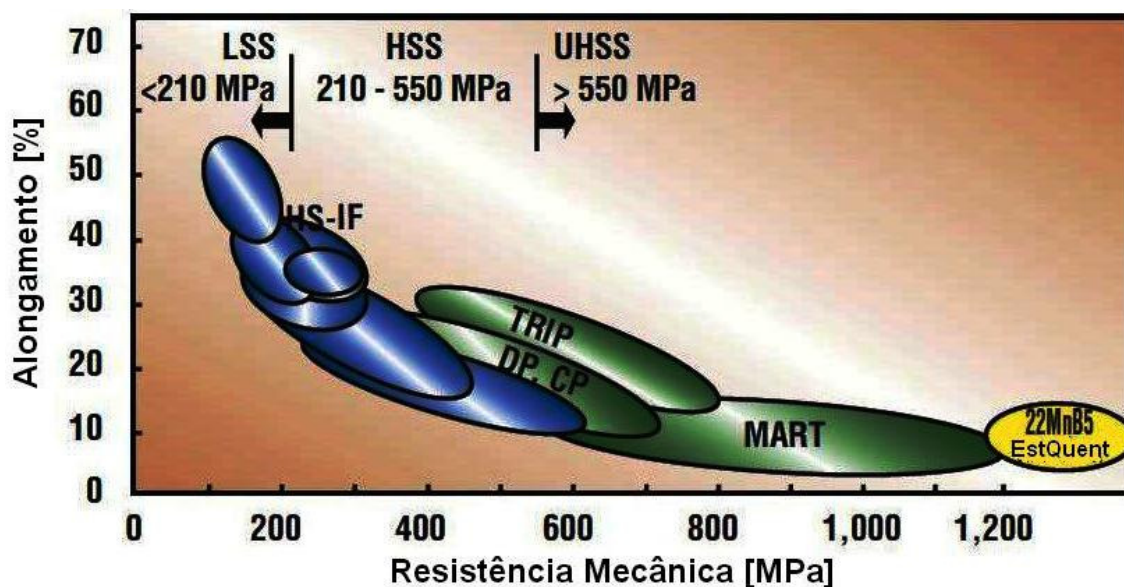


Figura 1 – Balanço entre resistência mecânica e ductilidade para os diversos aços AHSS, também conhecido como gráfico da banana em função de seu formato peculiar. A posição dos aços processados por estampagem a quente mais têmpera está representada pelo balão amarelo (Altan 2006).

A figura 3 mostra a evolução do número de peças produzidas anualmente através de estampagem a quente. Note-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 (Siebels 2009). Certamente essa previsão terá de ser revista mas, ainda assim, é notável o progresso que a estampagem a quente está fazendo 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 num 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 se revestir sua superfície com uma camada de AlSi, mas pode-se eventualmente dispensar esse revestimento e usar atmosfera protetora no interior do forno. Após um período de aquecimento que pode levar de 4 a 10 minutos, a chapa é encaminhada para a prensa de estampagem, onde é conformada. A têmpera da chapa ocorre imediatamente dentro da matriz refrigerada a água. Após um período de resfriamento, que dura entre 15 e 25 segundos, a têmpera está completa, a peça é desrebarbada e extraída da matriz a uma temperatura de aproximadamente 150°C. O resfriamento posterior da peça é feito ao ar, tendo efeito de revenido (Nicolas 2006). A figura 4 mostra, de forma esquemática, o ciclo térmico da estampagem a quente seguida de têmpera (Maas 2008).

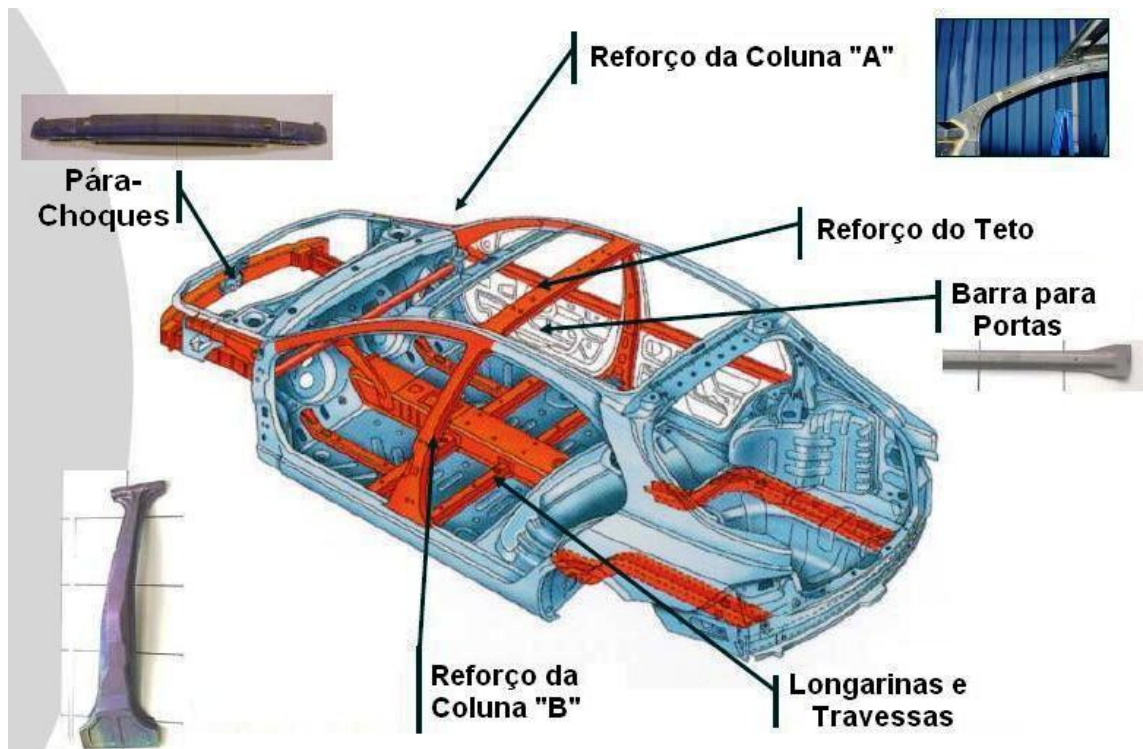


Figura 2 – Principais componentes automotivos produzidos através de estampagem a quente (Hein 2005)

2 – Etapas do processo

Seleção do aço

A etapa mais crítica da estampagem a quente para a 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 em função das propriedades mecânicas finais requeridas, da espessura da peça e das velocidades de resfriamento obtidas durante a têmpera na matriz, garantindo-se um nível de temperabilidade adequado.

A tabela 1 mostra a composição química de diversos aços processados por estampagem a quente, enquanto que a figura 5 mostra os respectivos diagramas de transformação durante o resfriamento contínuo (TRC) (Fan 2007). Os projetos de liga otimizados para os aços destinados à estampagem a quente adotam teores de carbono da ordem de 0,20% e teores de manganês relativamente elevados, 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.

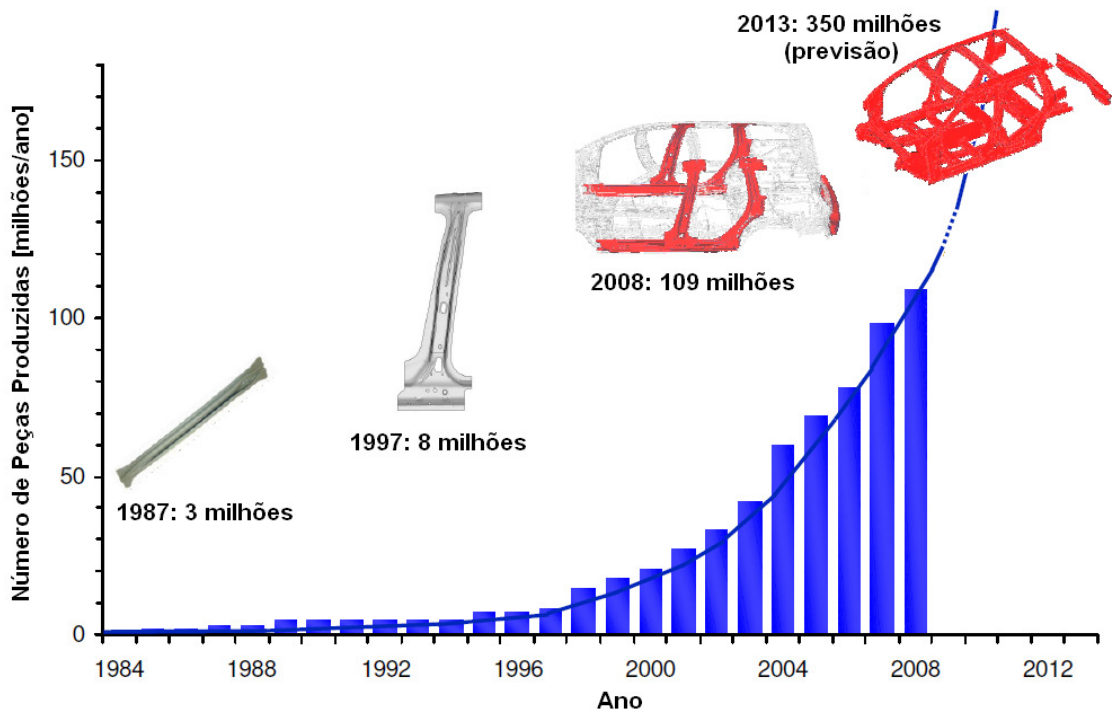


Figura 3 – Evolução da produção de peças fabricadas através de estampagem a quente entre 1984 e 2008 (Siebels 2009)

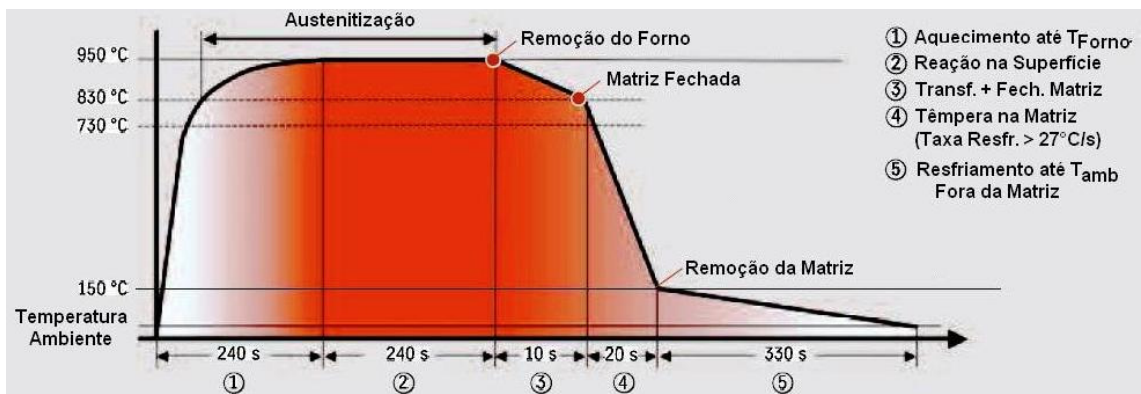


Figura 4 – Ciclo térmico do processo de estampagem a quente com têmpera na matriz (Maas 2008)

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	0,20	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

Tabela 1 – Composições químicas típicas de aços destinados para a estampagem a quente (Fan 2007)

Adições de boro também são muito efetivas 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, como é a prática usual com esse elemento, seu teor deve ser da ordem apenas alguns milésimos de unidades percentuais. Teores mais elevados desse elemento levam à formação de boretos nos contornos de grão austeníticos, o que reverte seu efeito sobre a temperabilidade. Além disso, uma vez que o boro possui grande afinidade com o oxigênio e nitrogênio, é necessária a adição de elementos de liga suplementares para evitar sua reação com esses elementos. Por esse motivo é requerida a respectiva presença de alumínio e titânio nos aços ao boro.

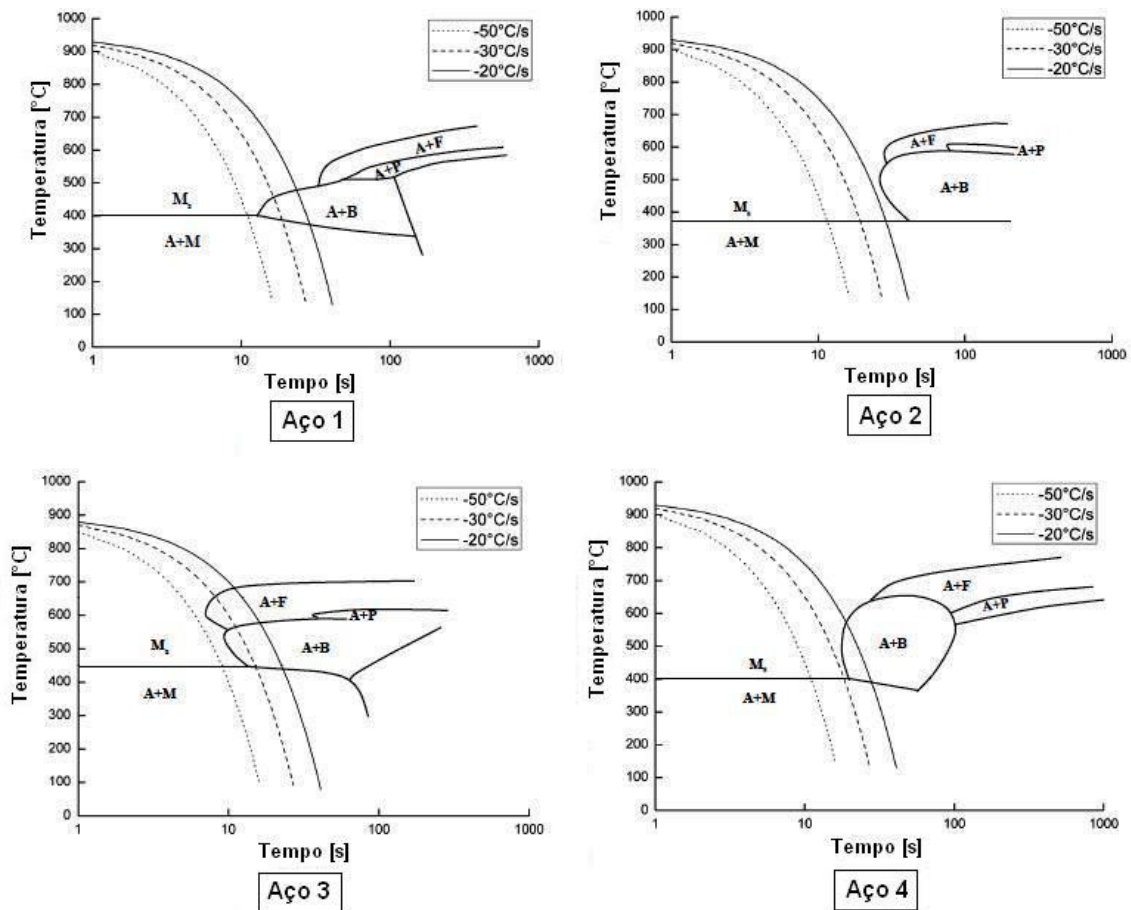


Figura 5 – Diagramas TRC relativos aos aços da tabela 1 (Fan 2007)

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. Note-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 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, o qual apresenta a menor taxa de resfriamento crítica dentre as ligas listadas na tabela. Em compensação, o material tenderá a ficar mais caro, o que requer uma cuidadosa análise da relação custo x benefício desta abordagem (Fan 2007).

Uma liga que já se tornou clássica para a fabricação de peças através de 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. Pode-se observar que a liga 4 da tabela 1 enquadra-se dentro desta 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 reduz a temperabilidade do aço, uma vez que ela refina o tamanho de grão e promove algum encruamento na microestrutura (Gorni 1988). Dessa forma a austenita tem aumentada sua energia livre, o que promove aumento nas taxas de nucleação e crescimento da ferrita, o que se traduz na elevação da temperatura em que a sua transformação se inicia (ponto Ar_3). O efeito da deformação plástica na transformação bainítica e martensítica tende a ser inverso, ocorrendo abaixamento na temperatura de início dessas

transformações (B_s e M_s). Ocorre neste caso 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 determinados 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 (Fan 2007).

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 microns de espessura, a qual 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 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 através de jateamento de gralha ou areia implica em gastos e pode afetar as tolerâncias geométricas das peças, as quais apresentam espessuras relativamente pequenas.

A solução mais recomendada para esse problema está no revestimento prévio dos blanques com uma camada de alumínio mais 10% de silício, com espessura entre 20 e 35 microns, aplicado através de imersão a quente. Durante o aquecimento no forno esse revestimento se transforma numa camada altamente aderente sobre o blanque, concedendo-lhe alta resistência à oxidação e descarbonetação. Esse revestimento é compatível com a pintura que será aplicada à peça acabada, dispensando o jateamento da peça e contribuindo para a redução de seu custo (Altan 2007, Fan 2007).

Blanques submetidos ao *galvannealing* também podem ser submetidos à estampagem a quente, tendo sido constatado 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 (Fan 2007).

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, favorecendo 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 através de 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-se uma velocidade de resfriamento ao blanque que seja 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 através do processo direto, mostrado na figura 7, onde o blanque é conformado exclusivamente por estampagem a quente. Por outro lado, peças com formato mais complexo são feitas através do processo indireto, mostrado na figura 8, onde de 90 a 95% da conformação necessária é aplicada previamente a frio.

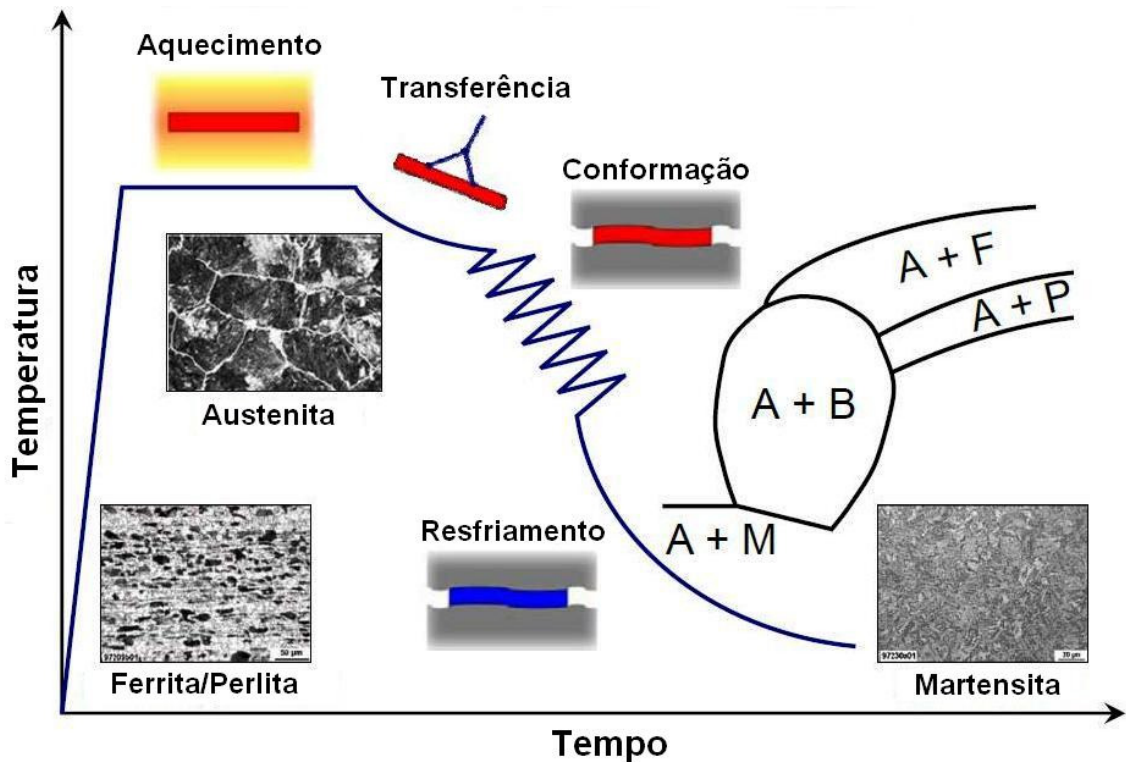


Figura 6 – Fenômenos metalúrgicos que ocorrem ao longo do processo de estampagem a quente seguido de têmpera (Turetta 2008)

3 – 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, minimizando o efeito mola e o nível de tensões residuais na peça, o que melhora sua precisão dimensional. A maior conformabilidade proporciona maior liberdade de *design* para as peças. O fato das propriedades mecânicas serem conseguidas através de conformação a quente mais têmpera homogeneiza sua distribuição através da peça, independentemente de seu formato, ao contrário dos componentes estampados a frio, onde 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 num só estágio, com a correspondente redução no número de ferramentais (Neugebauer 2006).

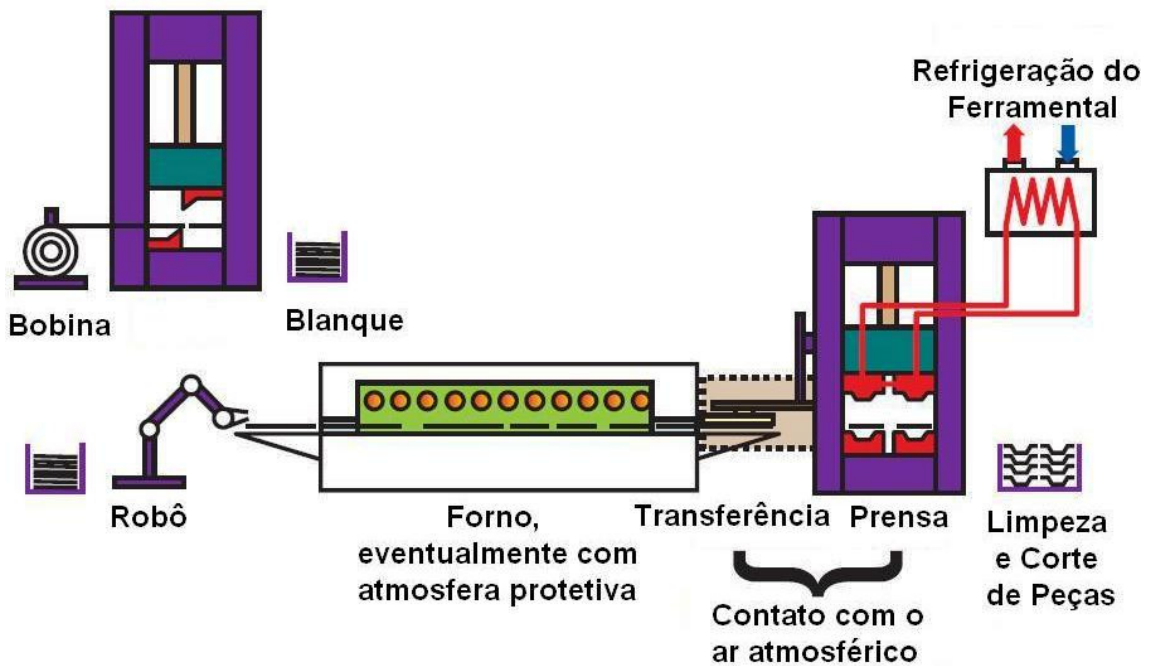


Figura 7 – Processo direto de estampagem a quente (Altan 2006)

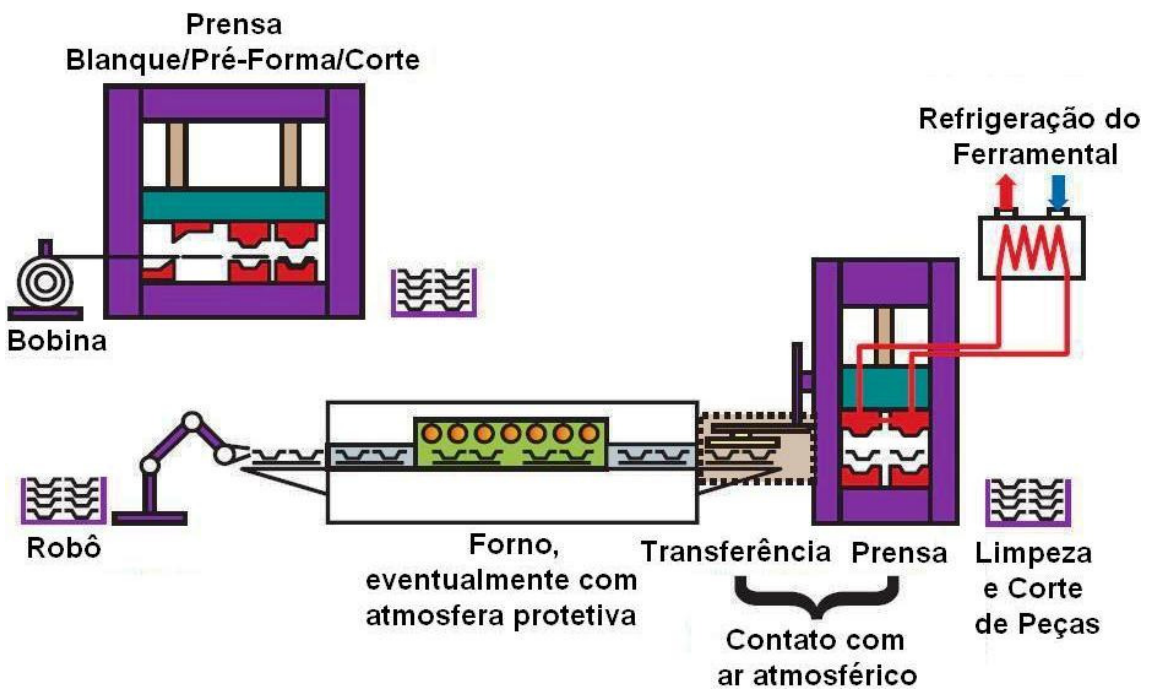


Figura 8 – Processo indireto de estampagem a quente (Altan 2006)

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 condicionamento do blanque oxidado também implicam em custos adicionais. Os equipamentos e ferramentais devem resistir ao calor, o que torna seu projeto mais complicado e requer que sejam fabricados com materiais especiais. E não se pode esquecer que a têmpera após a estampagem a quente prolonga o tempo de ciclo da manufatura, resultando em menores níveis de produtividade (Neugebauer 2006).

Foi feito um estudo específico sobre os custos associados a diversos processos de conformação, tendo sido escolhido 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), têmpera (15 segundos) e revenido (entre 150 e 200°C, durante 10 segundos) de chapas de aço 22MnB5 revestidas com AlSi, com espessura de 1,85 mm.

A figura 9 mostra as etapas de processo necessárias para cada uma das abordagens de manufatura para a coluna B adotada no estudo de comparação. Deve-se notar que a versão de componente feita através de estampagem a quente, além de apresentar menor espessura (mais precisamente, -15,9%), dispensa os componentes de reforço estrutural que se encontram presentes nas demais versões. Isso contribui ainda mais para a redução de peso da peça.

Conforme indica a figura 10, independente do volume de produção, o custo de fabricação por unidade aumentou na seguinte seqüência de processos: estampagem a frio, estampagem a morno e estampagem a quente mais têmpera. A figura 11 mostra uma comparação entre as distribuições de custos para os três processos aqui considerados. O processo envolvendo estampagem a quente mais têmpera foi o mais econômico em termos de custos de investimento, horas-máquina, salários e produção. Contudo, perdeu de forma fragorosa em termos de custos associados ao tempo de processamento, além de apresentar desvantagem, em menor grau, para os custos de material. Já o processo por estampagem a frio só perdeu dos demais processos em termos de custos associados ao investimento, horas-máquina, salários e produção, mas foi insuperável em termos dos custos associados ao tempo de processamento e ao ferramental (Neugebauer 2006).

Portanto, em termos de custos, a situação não é favorável à estampagem a quente mais têmpera. Contudo, ele é o único processo que manufatura, de forma consistente, componentes de formato complexo com níveis de resistência mecânica alta ou ultra-alta, que só podem ser conseguidos mediante o tratamento térmico de têmpera. Outros aspectos que podem favorecer a opção pela estampagem a quente são a prioridade na redução do peso do veículo, redução do número de componentes discretos através de sua incorporação a uma única peça com maior dimensão e formato mais complexo, ou a necessidade de se atender a severos requisitos de precisão dimensional.

4 – Inovações na estampagem a quente

Blanques sob medida (tailored blanks)

O conceito de blanques sob medida (*tailored blanks*) já é relativamente 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 blanche é definido em função dos requisitos a serem atendidos pelo componente. Isso permite, por exemplo, a utilização de aços mais sofisticados (e caros) apenas nas áreas mais críticas do componente, ou então fazer com que ele apresente espessura de parede mais fina nas regiões onde não será tão solicitado.

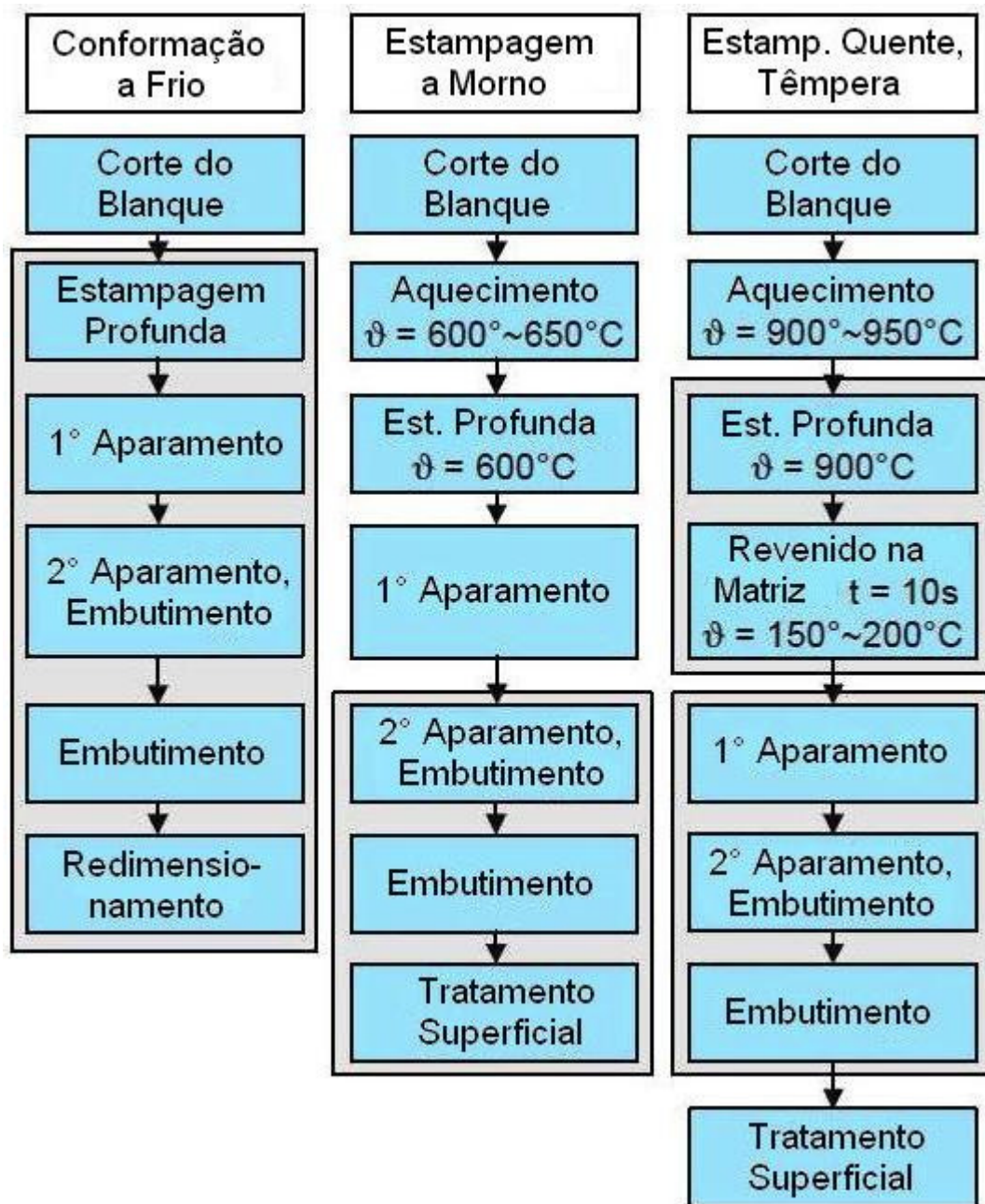


Figura 9 – Comparação entre as cadeias de processo especificadas para a fabricação de uma coluna B por estampagem a frio, estampagem a morno ou estampagem a quente seguida de têmpera (Neugebauer 2006)

Uma extensão desse conceito à estampagem a quente pode ser vista na figura 12, onde é mostrada uma coluna B constituída dos aços 22MnB5 e HR45 (Nicolas 2006). Consegue-se assim combinar, numa mesma peça, zonas com capacidade anti-intrusão com outras onde ocorrerá absorção de energia em caso de colisão [Hein 2008]. Outros exemplos de aplicação de blanques sob medida processados por estampagem a quente podem ser vistos na figura 13 (Pic 2008).

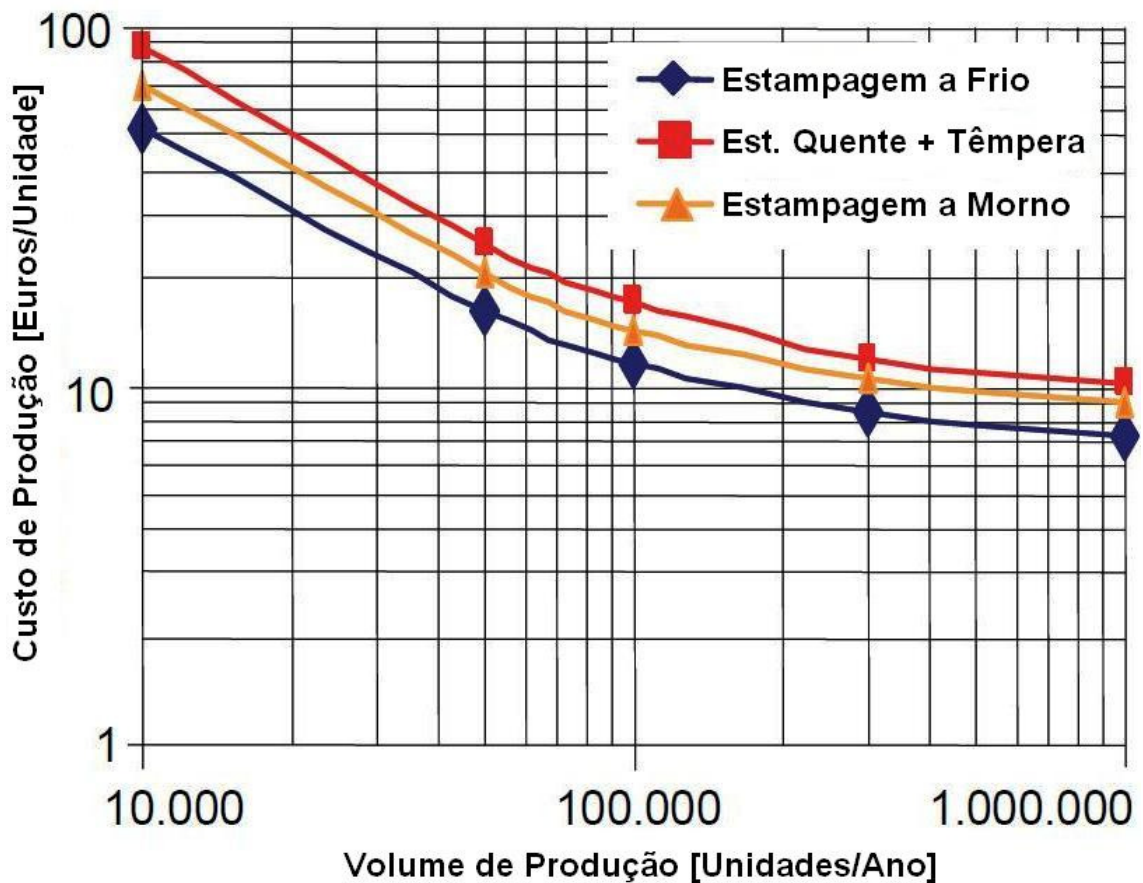


Figura 10 – Custo de produção em função do volume de peças produzidas por ano e do tipo de processo usado para a manufatura da coluna B: estampagem a frio, a morno ou a quente seguida de têmpera (eugebauer 2006).

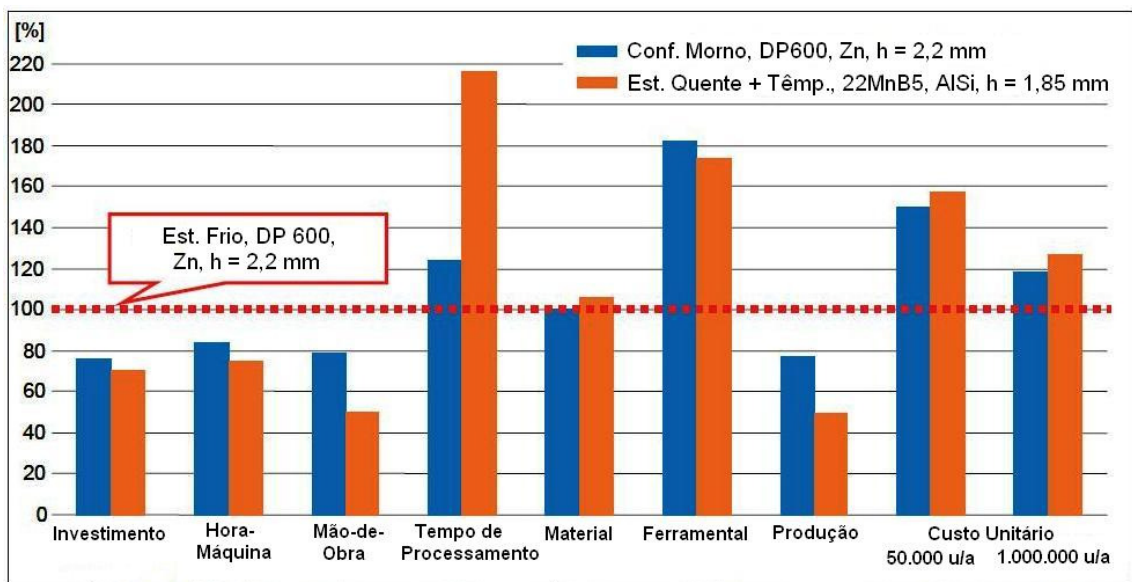


Figura 11 – Comparação entre as distribuições de custos básicos para os diversos processos de manufatura usados para a manufatura da coluna B. O processo por estampagem a frio foi tomado como base, tendo assumido valor igual a 100 (Neugebauer 2006).



Figura 12 – Coluna B feita com blanques sob medida, incluindo num mesmo componente zonas anti-intrusão e zona para absorção de energia (Nicolas 2006)

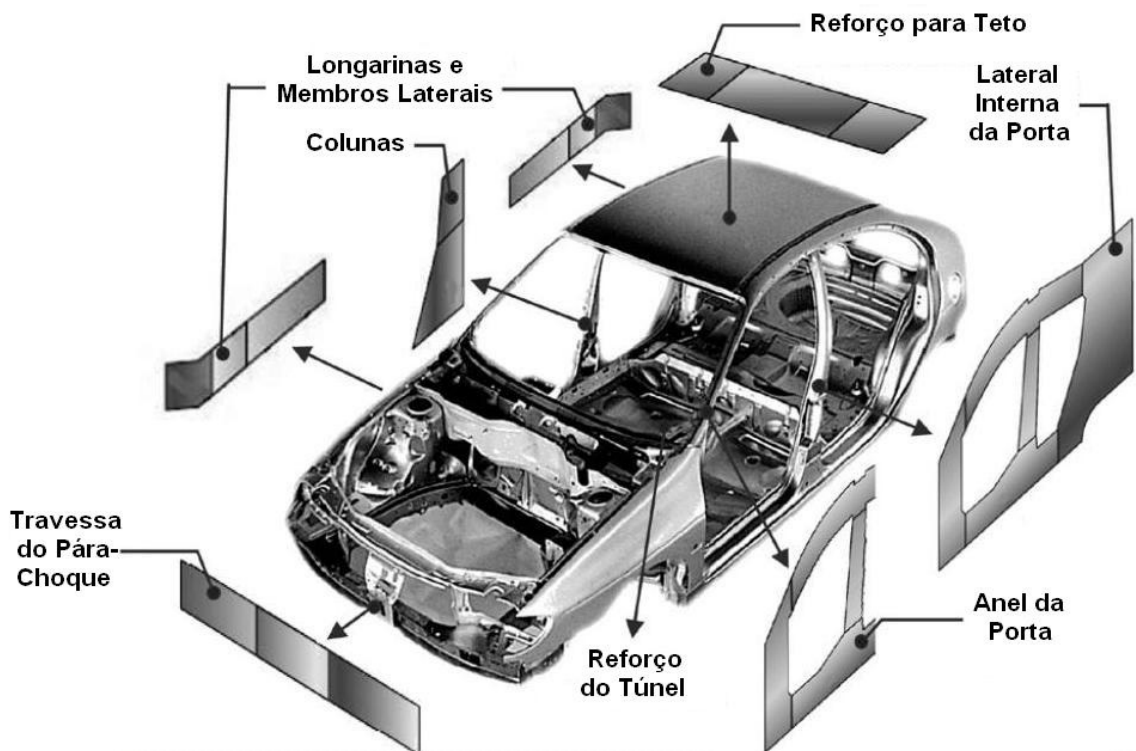


Figura 13 – Outras peças automotivas produzidas a partir de blanques sob medida processados por estampagem a quente (Pic 2008)

Uma vantagem adicional desse processo está no fato que a elevação nas propriedades mecânicas que caracteriza a região termicamente afetada do cordão de solda é virtualmente eliminada após a aplicação do tratamento térmico de têmpera (Maas 2008). Por outro lado, o revestimento de AlSi normalmente presente nos blanques destinados à estampagem a quente pode contaminar o cordão de soldagem durante a manufatura do blanque sob medida. Isso altera as condições de transformação da austenita durante o resfriamento após a soldagem e a têmpera, promovendo a formação de grande quantidade de ferrita 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, removendo-se o revestimento de AlSi presente nesses locais através de ablação a laser (Vierstraete 2010).

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 diferenciais, durante ou após a

estampagem a quente, de forma a desenvolver um perfil mais adequado de propriedades mecânicas para a aplicação em questão. As idéias exploradas até o momento dentro deste conceito são (Hein 2008, Kollleck 2009):

- Aquecimento parcial no forno: somente uma zona da peça será aquecida sob temperaturas acima da necessária para a austenitização. Logo, somente a parte do blanque correspondente a essa região da peça 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, através da proteção térmica às regiões do blanque que não deverão ser aquecidas, aquecimento seletivo por indução, etc.

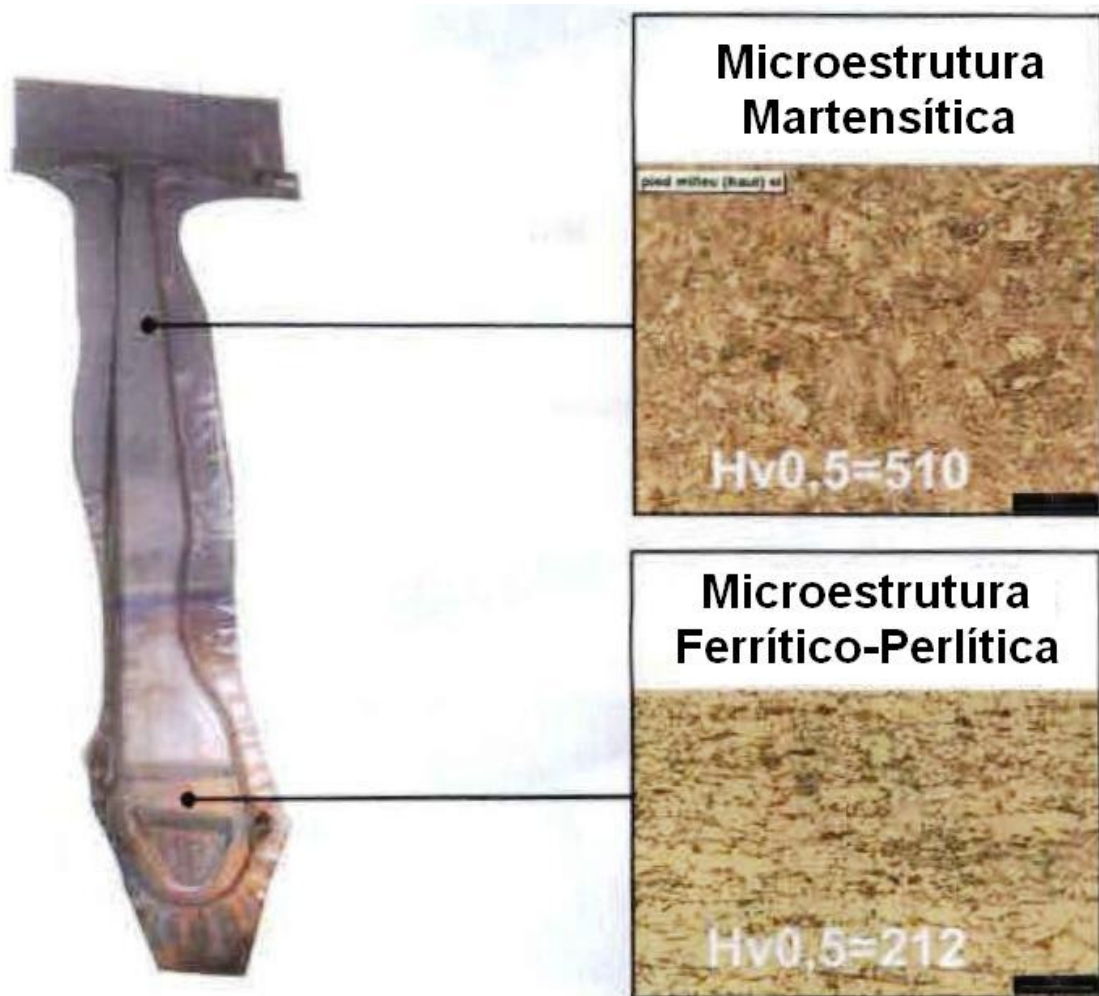


Figura 14 – Coluna “B” estampada a quente apresentando propriedades mecânicas sob medida obtidas através de austenitização localizada (Hein 2008)

- Têmpera parcial na matriz. Neste caso, todo o blanque é austenitizado, mas apenas uma parte dele é temperada. Isto pode ser conseguido através do uso de matrizes com zonas aquecidas. Contudo, deve-se levar em conta que o tempo de ciclo desta abordagem é maior em função do resfriamento mais lento, o que reduz ainda mais a produtividade do processo. Um exemplo da aplicação desta variante pode ser visto na figura 15.

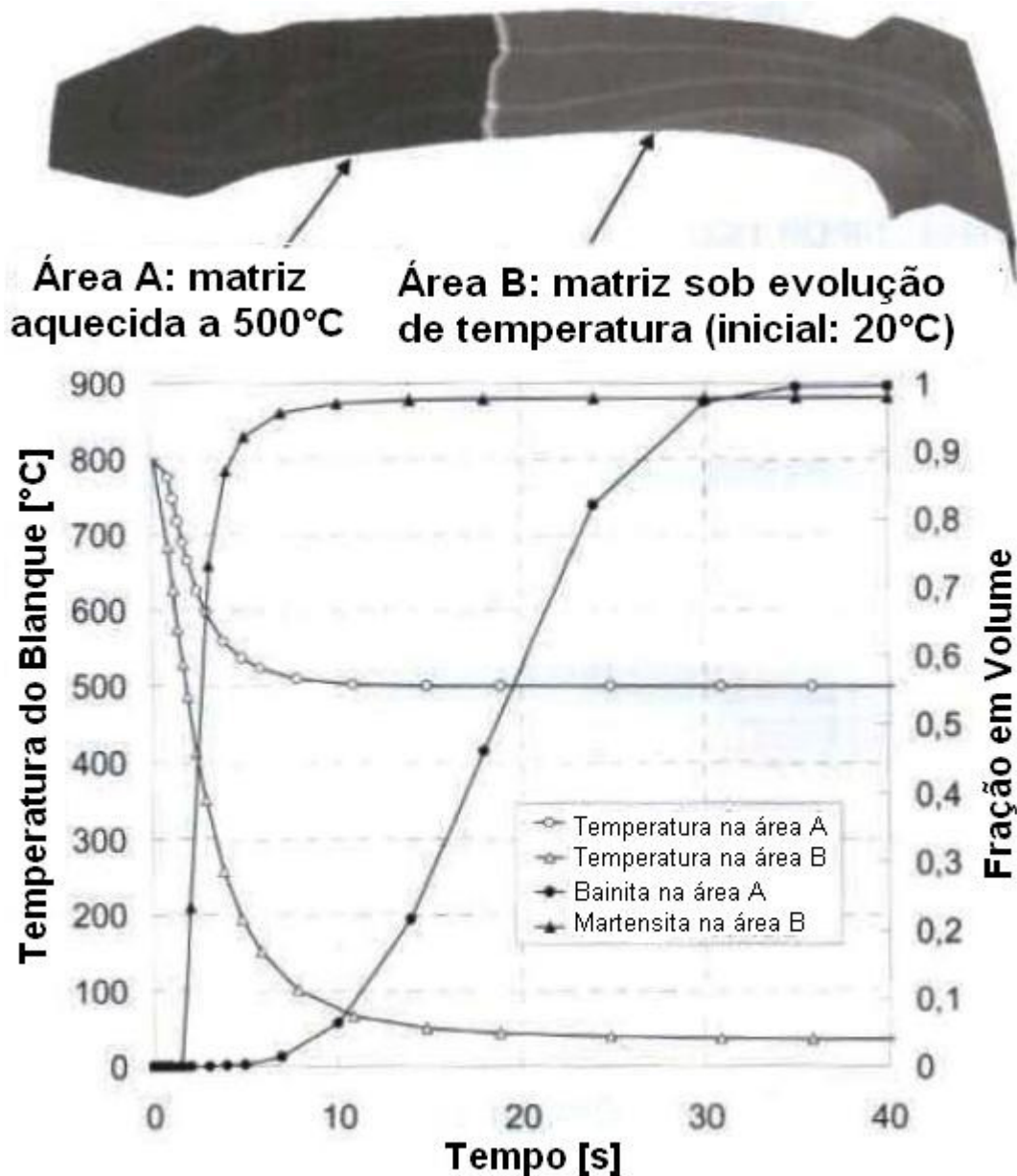


Figura 15 – Resultado obtido através de análise por elementos finitos sobre a evolução microestrutural numa coluna B estampada a quente usando-se matriz com zona aquecida de forma seletiva (Hein 2008)

- Revenido parcial. Aqui as peças são integralmente austenitizadas e temperadas, mas somente algumas porções dela passam por revenido de forma a melhorar localmente sua ductilidade. Aqui podem ser usados fornos convencionais, com aquecimento por indução ou resistência.

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 uso de blanques laminados a frio sob medida ou produzidos através de 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 revestimentos para blanques, inclusive do tipo orgânico, mas o mais provável é que os revestimentos aplicados por imersão a quente continuem a ser os mais usados, em função da ampla disponibilidade de linhas que aplicam esse tipo de revestimento. Por esse mesmo motivo, deverão 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 (Hein 2008).

5 – 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 função da menor resistência mecânica e maior ductilidade do material sob processamento, também permite aproveitar os fenômenos metalúrgicos decorrentes da transformação metalúrgica posterior para obter perfis de propriedades mecânicas que permitam reduzir o peso das peças e melhorar seu desempenho.

Contudo, o uso de altas temperaturas torna o processo e equipamentos de conformação mais complexos, o que implica em aumento de custos em função da 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 em função do tempo gasto nas etapas de tratamento térmico. Portanto, ainda há muito trabalho no sentido de se aperfeiçoar o processo de estampagem a quente e determinar como utilizar plenamente seu potencial metalúrgico para produzir peças que cumpram suas funções da forma mais eficiente e econômica possível.

Referências bibliográficas

- AISI. **Steel Bumper Systems for Passenger Vehicles and Light Trucks**. American Iron and Steel Institute, Southfield, 2006, 184 p.
- ALTAN, T. Hot Stamping Boron-Alloyed Steels for Automotive Parts – Part I: Process Methods and Uses. **Stamping Journal**, December 2006, 40-41.
- 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.
- 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.
- 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.
- GORNI, A.A. Aços Avançados de Alta Resistência: Microestrutura e Propriedades Mecânicas. **Corte e Conformação de Metais**, 4:44, Dezembro 2008, 26-57.
- HEIN, P. Numerical Simulation of the Hot Stamping of Automotive Components with Usibor 1500 P. EuroPAM 2005. **Proceedings**. Potsdam, Oct. 2005, 17 p.
- HEIN, P. & WILSIUS, J. Status and Innovation Trends in Hot Stamping of USIBOR 1500 P. **Steel Research International**, 79:2, February 2008, 85-91.
- KOLLECK, R. e outros. Hot Stamping of Car Body Parts with Local Strength Adjustment. In: International Deep Drawing Research Group International Conference – IDDRG 2009. **Proceedings**. Golden, 2009, 825-834.
- MAAS, J. & STAUDINGER, W. Tailored Blanks in der Warmumformung. **ThyssenKrupp Tech Forum**, 1, 2008, 39-31.
- NEUGEBAUER, R. e outros. **Sheet Metal Forming at Elevated Temperatures**. Annals of the CIRP, 55:2, 2006, 793-816.
- NICOLAS, Y. Estampagem a Quente, um Novo Método de Conformação. **Corte e Conformação de Metais**, Março 2006, 72-77.
- 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.
- 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.
- TURETTA, A. **Investigation of Thermal, Mechanical and Microstructural Properties of Quenchable High Strength Steels in Hot Stamping Operations**. PhD Thesis, Università degli Studi di Padova, Gennaio 2008, 182 p.
- VIERSTRAETE, R. e outros. Laser Ablation for Hardening Laser Welded Steel Blanks. **Industrial Laser Solutions**, March/April 2010, 6-11.

Autor

Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos. Mestre em Engenharia Metalúrgica pela Escola Politécnica da USP. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas. Analista de Processos da usina de Cubatão da Usiminas (antiga Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA). Editor Técnico das Revistas Plástico Industrial (desde 1998) e Corte e Conformação de Metais (desde 2005), da Aranda Editora. Participação no Corpo Editorial da Revista Tecnologia em Metalurgia e Materiais, da Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Autor de mais de 220 trabalhos técnicos publicados no Brasil e exterior, nas áreas de aciaria, fundição, laminação a quente, tratamentos térmicos, polímeros, modelamento matemático e inteligência artificial. Quatro patentes concedidas na área de laminação a quente. Prêmios da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM): COSIPA (1992, 1996), Luiz Dumont Villares (1997 e 1999), Paulo Lobo Peçanha (1999), Usina Presidente Vargas (2000). Outros Prêmios (ligados à área de patentes): Prêmio Talento Brasileiro, Fase Estadual (1994 e 1998); Prêmio Estadual FIESP de Conservação e Uso Racional de Energia (1998); Prêmio Governador do Estado (1999).