

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM A QUENTE DO AÇO USIBOR1500

IBSON HÄRTER, DIEGO TOLOTTI, DANIELA BERTOL, ANGÉLICA PAOLA DE OLIVEIRA LOPES, JOÃO HENRIQUE CORRÊA DE SOUZA

O crescente esforço da indústria automobilística na busca de redução da massa e do aumento da segurança dos veículos demanda a utilização de componentes estruturais produzidos com aços de alta resistência mecânica [1]. Novas ligas de aço foram criadas para fazer frente aos novos desafios e várias já entraram para o mix padrão das indústrias automotivas. Dentre elas, o aço USIBOR1500 foi desenvolvido com o objetivo de melhorar a produção e o desempenho de peças estruturais e reforços de alta resistência utilizados na indústria automobilística mediante o emprego da tecnologia de estampagem a quente [2]. Equipamentos como prensas e ferramental precisam ser radicalmente modificados, além da necessidade de novos elementos como fornos, sistemas de refrigeração e manipulação. Todos esses elementos devem funcionar em harmonia para que seja possível obter a geometria e as propriedades desejadas na peça final.

Assim, no processo de estampagem a quente direto, a chapa é aquecida a temperatura de 950°C aproximadamente, ou até atingir completa austenitização, e logo após é colocada em uma ferramenta refrigerada para conformação e têmpera praticamente simultâneos. Dentre as vantagens do processo estão a altíssima resistência mecânica da peça final e o baixo retorno elástico após o a conformação. A resistência mecânica da chapa aumenta de ~400 MPa para até 1.500 MPa, um fator de aproximadamente 4,

o que vem ao encontro das necessidades do mercado atual [3].

O uso de elementos finitos para simular processos de estampagem a quente requer um modelamento preciso dos fenômenos térmicos que acontecem durante a conformação e o resfriamento. Considerando o fenômeno da transferência de calor do *blank* para uma ferramenta refrigerada podemos afirmar que o calor dissipado pelo *blank* é igual ao calor absorvido pela ferramenta [4, 5, 6 e 7]. Dentro do contexto apresentado, o objetivo deste trabalho é levar à discussão alguns trabalhos desenvolvidos no departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da Bruning Tecnometal com objetivo de dominar a técnica de fabricação por estampagem a quente em chapas finas da liga USIBOR1500. Modelos analíticos e numéricos constituem a base do trabalho desenvolvido.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

Neste estudo, o material utilizado para a simulação foi uma chapa do aço USIBOR1500 com 1,4 mm de espessura, sendo as dimensões da chapa conforme descrito na figura 1a, e a geometria do produto final simulado apresentada na figura 1b.

Para simulação foi utilizado o software Autoform® com o módulo ThermoSolver, considerando como propriedades mecânicas de entrada do material o módulo de elasticidade de 203 GPa a 20°C e 103 GPa a 950°C, coeficiente de Poisson igual a 0,3 e densidade de 7.670 kg/m³. As propriedades térmicas consideradas foram condutividade de 23,3 mW/(mm K) e capacidade de calor volumétrico de 3,59 MJ/(mm³K), sendo a temperatura inicial de entrada da chapa de 950°C.

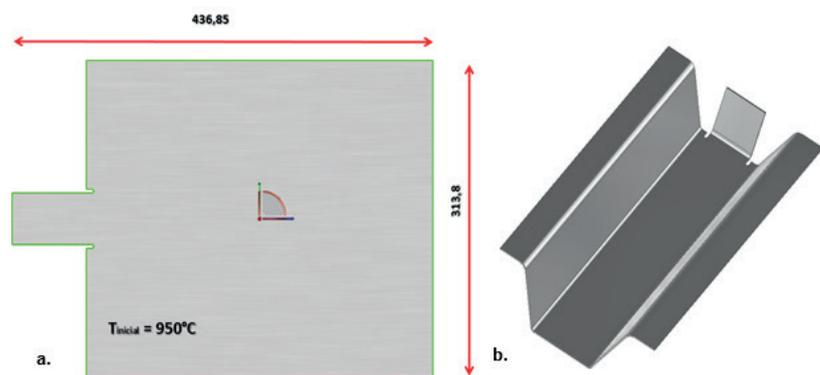


Figura 1 - a. dimensional da chapa utilizada e b. geometria do produto final.

Temperatura inicial da peça (°C)	Temperatura da ferramenta (°C)	Tempo de transferência (s)	Tempo de fechamento (s)	Tempo de têmpera (s)	Tempo de retirada (s)	Tempo total de ciclo (s)	Temperatura da água (°C)	Força de prensagem (t)
950	22	5	4	7	6	22	12	50

Tabela 1 – Parâmetros de entrada na simulação do processo de hot forming.

PARÂMETROS DE CONFORMAÇÃO À QUENTE

A completa austenitização do material e o resfriamento rápido são pré-requisitos para obter uma transformação martensítica total durante o processo de conformação a quente. De acordo com o diagrama de fases do aço, a austenitização ocorre em temperaturas em torno de 900°C [6]. Com a finalidade de evitar a transformação bainítica, a taxa de resfriamento deve ser de, pelo menos, 27°C/s para que a microestrutura final seja completamente martensítica [7, 8]. Os parâmetros de entrada na simulação do processo estão apresentados na tabela 1, e a punção e matriz considerados são apresentados na figura 2.

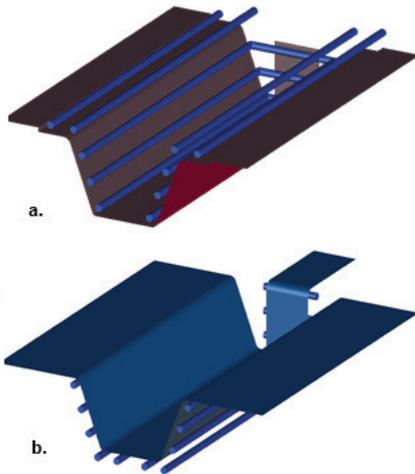


Figura 2 – a. Punção e b. matriz considerados na simulação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da simulação avaliados nesse estudo foram: enrugamento na peça, afinamento da espessura, resistência mecânica pós têmpera, percentual de martensita, dureza em

Vickers, *springback* e distribuição de temperatura em função do tempo de ciclo, e serão apresentados a seguir.

a. Enrugamento

De acordo com os parâmetros de entrada, material utilizado e cinemática das ferramentas, a peça não apresentou risco de enrugamento, conforme mostra a figura 3.



Figura 3 – Resultado da simulação referente ao risco de enrugamento.

b. Afinamento

O afinamento na espessura da peça foi da ordem de 1,3% para a região central de coloração azulada, 6,1% na região próxima à borda enquanto que, nas demais regiões, não houve redução na espessura. A figura 4 ilustra o afinamento da peça.



Figura 4 – Afinamento na espessura da chapa em percentual.

c. Resistência mecânica à tração

Após o processo de conformação à quente, o material atingiu uma

resistência à tração elevada, principalmente em comparação com o material base, que possui resistência mecânica à tração de catálogo próximo à 500 MPa. Após o processo de *hot forming*, a resistência ficou em torno de 1.430 MPa nas laterais da peça e de até 1.490 MPa no centro da peça, conforme figura 5.



Figura 5 – Resistência mecânica à tração da peça após conformação.

d. Transformação martensítica

O processo de *hot forming* simulado mostrou-se bem-sucedido, uma vez que a transformação martensítica foi de 100% em todas regiões da peça, conforme apresentado na figura 6.



Figura 6 – Percentual de transformação martensítica na peça após conformação.

e. Dureza Vickers

A dureza, assim como a resistência à tração, também apresentou um aumento significativo, ficando entre 470 e 490 HV ao longo da peça, sendo este valor crescente das laterais ao centro, de acordo com a figura 7.

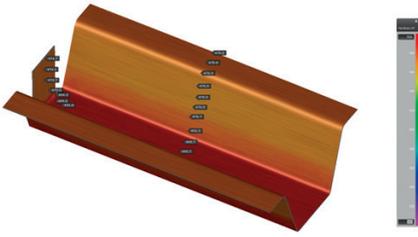


Figura 7 – Dureza Vickers após conformação.

f. Springback

O retorno elástico da peça após o processo de conformação foi praticamente nulo nas regiões centrais e laterais da peça, e com módulo de 0,5 mm nas abas. A figura 8 ilustra o *springback* da peça.



Figura 8 – *Springback* gerado na peça após a conformação.

g. Distribuição de temperatura em função do tempo de ciclo

Por fim, a temperatura final da peça após o processo de *hot forming* está ilustrada na figura 9, sendo que foi constatado que a peça possui regiões com temperaturas de 132°C na saída do processo. Assim como na manipulação da chapa na entrada da ferramenta, o processo requer a utilização de equipamentos de segurança adequados.

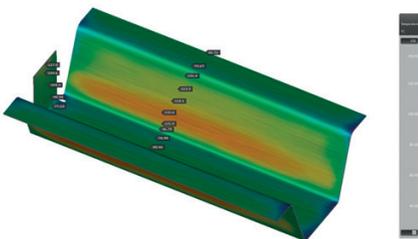


Figura 9 – Temperatura de saída da peça após a conformação, considerando ciclo total de 22 segundos.

Para fins de estudo, foi avaliada uma condição aumentando o tempo de ciclo do processo com o objetivo de reduzir a temperatura da peça na saída da ferramenta. Com um ciclo de 45 segundos, obtém-se um produto com temperaturas máximas de 49°C. A figura 10 mostra a distribuição de temperaturas ao longo de toda a peça. O alto tempo de ciclo, porém, não compensa industrialmente o resfriamento obtido.

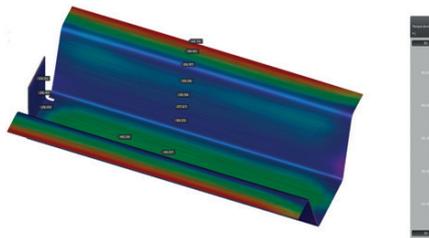


Figura 10 – Temperatura de saída da peça após a conformação, considerando o ciclo total de 45 segundos.

Já a temperatura final da ferramenta com o ciclo de 22 segundos, mostra que a punção e a matriz encerraram o primeiro ciclo com temperaturas baixas, sendo mais aquecidas nas extremidades, conforme ilustrado na figura 11.

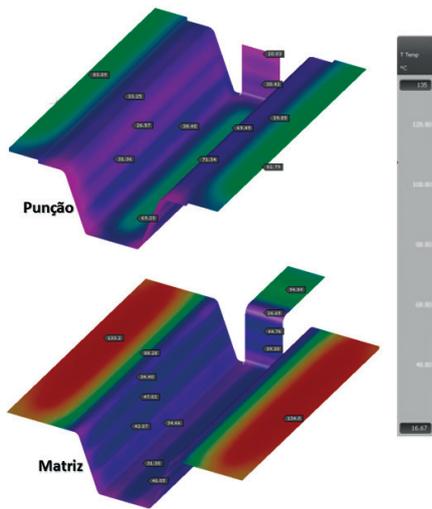


Figura 11 – Temperatura final do punção e matriz após o primeiro ciclo.

CONCLUSÕES

Pelo presente estudo, pode-se concluir que a ferramenta simulada e os parâmetros de entrada utilizados foram satisfatórios para o material USIBOR1500 no processo de conformação à quente, resultando em uma peça com *springback* e afinamento extremamente baixos e com 100% de transformação martensítica. O resultado final consiste em uma peça de alta resistência, com valores próximos a 1.500 MPa, em chapas de baixa espessura, representando um processo de grande potencial para os clientes da indústria automobilística.



Ibson Ivan Härter – ibson@bruning.com.br – Engenheiro Mecânico, Mestrando pela UFRGS/DEMEC. É responsável pelas simulações de itens estampados e pelas simulações estruturais, atuando como Especialista em simulação de ferramentas

na Bruning Tecnometal Ltda., Panambi/RS.

Diego Tolotti de Almeida – diegot@bruning.com.br – Engenheiro Mecânico pela UNIJUI - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Mestre em Ciência e Tecnologia dos Materiais pela UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul com ênfase no Processo de Soldagem por Fricção. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais (PPGEM). Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF), Departamento de Materiais da UFRGS. Supervisor de Pesquisa e Desenvolvimento na Bruning Tecnometal Ltda., Panambi/RS.

Daniela Bertol – daniela.bertol@bruning.com.br – Engenheira de Materiais e Mestre em Ciência e Tecnologia dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Analista Sênior de Pesquisa e Desenvolvimento na Bruning Tecnometal Ltda., Panambi/RS.

Angélica Paola de Oliveira Lopes – angelica@bruning.com.br – É graduanda de Engenharia de Produção pela UNICRUZ - Universidade de Cruz Alta. Técnica em Pesquisa e Desenvolvimento na Bruning Tecnometal Ltda., Panambi/RS.

João Henrique Corrêa de Souza – joaoh@bruning.com.br – Engenheiro Mecânico pela UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestre em Engenharia de Minas Metalurgia e de Materiais pela UFRGS. Doutor em Conformação Mecânica pelo Instituto de Conformação (Institut für Umformtechnik) da Universidade de Stuttgart, na Alemanha. Tem experiência na área de processos de conformação, atuando principalmente nos seguintes temas: conformação de chapas e tubos, otimização de processos, estampagem profunda, hidro conformação, prototipagem rápida, simulação de processos de conformação, simulação de elementos de máquinas, projeto de ferramentas, tribologia da conformação. Engenheiro Sênior e Diretor de Desenvolvimento na Bruning Tecnometal Ltda., Panambi/RS.