Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
06 a 10 de Novembro de 2022 | Águas de Lindóia – SP – Brasil

APLICAÇÃO DE AQUECIMENTO INDUTIVO PARA EXECUÇÃO DE TÊMPERA LOCAL EM CHAPA FINA PARA ESTAMPAGEM A QUENTE

Adalto de Farias[1*], Vanessa Seriacopi[1], Ed C. Bordinassi[1], Marcelo O. Santos[1]

1 –IMT - Instituto Mauá de Tecnologia, Praça Mauá 1, São Caetano do Sul, CEP: 09580-900, SP.
adalto.farias@maua.br

RESUMO

Neste trabalho, um sistema de aquecimento por indução foi adaptado para criar a possibilidade de aquecimento localizado em uma chapa fina com o intuito de se fabricar peças do tipo "blanques sob medida em chapa única" para o processo de estampagem a quente. O material empregado nos estudos foi aço carbono ABNT 1070 na forma de chapa. Um equipamento de aquecimento indutivo de 25 kW de potência nominal foi empregado nos ensaios. Os parâmetros variados no estudo foram: a potência e tempo de aquecimento inicial; e a potência e tempo de permanência em aquecimento. O equipamento empregado viabilizou o controle do aquecimento inicial e aquecimento em patamar com valores distintos. Após o aquecimento indutivo localizado de uma parte da chapa, os corpos de prova foram resfriados em água para posterior avaliação da estrutura resultante do tratamento térmico, sendo que esta metodologia foi aplicada visando identificar possíveis condições adequadas para aplicação em ensaios posteriores com matriz refrigerada. Decorridos os ensaios, a microestrutura resultante nos corpos de prova foi avaliada por MEV para caracterização das fases resultantes nas regiões que sofreram aquecimento. A microdureza Vickers das regiões aquecidas e tratadas foi avaliada buscando-se uma correlação quantitativa para os parâmetros estudados. Foi possível identificar uma relação entre potência e tempo de aquecimento indutivo nos resultados de microdureza e fases resultantes do tratamento térmico.

Palavras-chave: *Estampagem a quente, Blanques sob medida, Aquecimento por indução.*

INTRODUÇÃO

A demanda por novos processos para produzir peças de alta resistência, com custo e produtividade adequados, aumentou com a redução de peso e melhorias na segurança de colisões no design de automóveis.

Os processos de estampagem a quente (*PHS – Press Hardened Steel*) de chapas de aço temperáveis oferecem potencialmente alta conformabilidade, também alta resistência e minimização das distorções nas peças.

No cenário mundial das montadoras, principais usuárias dessa tecnologia, a questão das emissões de CO_2 pela queima de combustível fóssil é um tema de grande relevância. Segundo Schwingenschlögl e Merklein[(1)], devido a regulamentações rigorosas das emissões de dióxido de carbono e aos altos requisitos de desempenho em colisões de componentes relevantes para a segurança, a indústria automotiva enfrenta grandes desafios com a necessidade de redução das emissões de CO_2 para carros novos. A redução do peso do carro oferece alto potencial

dentro desse contexto e somente é possível com a aplicação de novos processos de fabricação que possam garantir melhores propriedades mecânicas aos componentes fabricados em materiais mais leves; no caso deste projeto, chapas de aço mais finas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Equipamento de aquecimento

Para o aquecimento localizado da chapa, foi empregado um equipamento multifuncional por indução que pode ser visto na Figura 1. Uma grande vantagem deste tipo de aquecimento é que o equipamento pode ser customizado para atender a geometria de peça a ser aquecida. O processo de aquecimento é rápido, extremamente controlado e não necessita de uma grande área para seu funcionamento.

Figura 1: Equipamento de indução.

É constituído por um gerador de média frequência multifuncional e por um software que permite de forma simplificada a realização de experimentos práticos. Possui uma potência instalada de 25 kW em 220 V e uma interface homem máquina IHM com o CLP, que proporciona o controle do módulo customizado para aquecimento de chapa para estampagem, Figura 2.

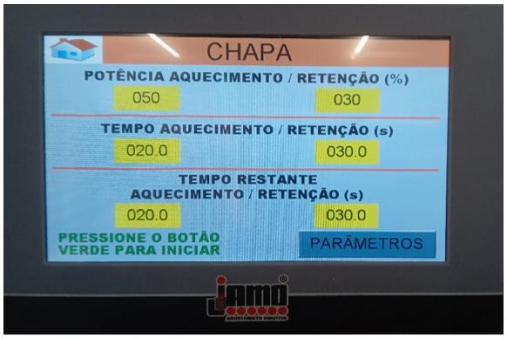

Figura 2: IHM do equipamento de indução.

O equipamento conta com um dispositivo de aquecimento customizado para chapas nas dimensões de 150 mm por 200 mm com espessura de 1 mm, Figura 3. O dispositivo é constituído de um indutor de aquecimento montado internamente ao sistema de suporte da

chapa. Durante o aquecimento, a chapa fica apoiada na base de apoio do suporte pelo tempo programado na IHM do equipamento.

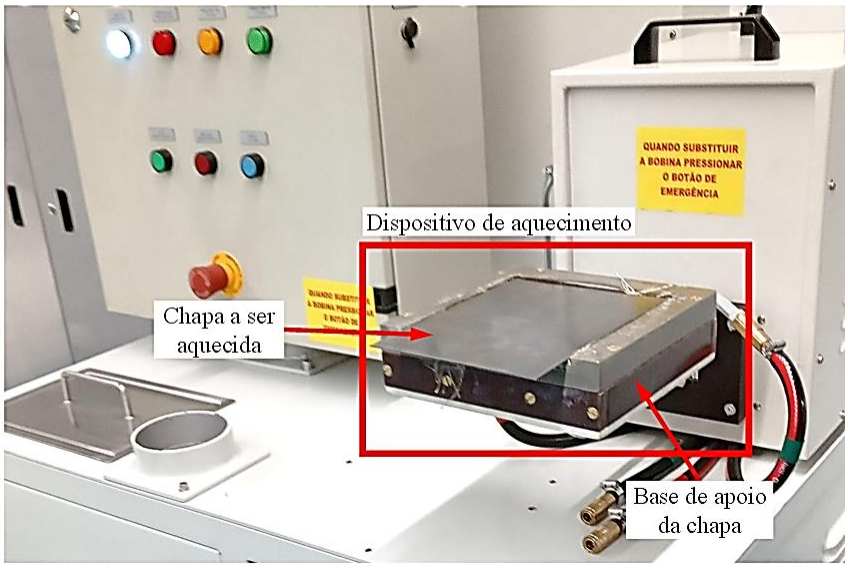

Figura 3: Dispositivo de aquecimento customizado para chapas.

Ensaios

O tratamento térmico consistiu em aquecer as chapas no forno de indução nas condições apresentadas na Tabela 1 e na sequência resfriá-las em banho de água à temperatura ambiente. A Figura 4 apresenta uma vista geral da montagem para os ensaios. Para a têmpera das chapas foi utilizado um recipiente com capacidade para 18 L de água em temperatura ambiente, posicionado a uma distância de aproximadamente 1,5 m do forno de indução. O tempo de transferência da chapa entre o forno de indução e recipiente com água foi de aproximadamente 3 s.

Tabela 1: Parâmetros empregados no aquecimento.

	PA (%)	TA (s)	PR (%)	TR (s)	$T_{água}$ (°C)
Chapa 1	55	20	35	30	21,0
Chapa 2	60	20	40	30	21,3
Chapa 3	50	20	30	30	21,3

O monitoramento da temperatura durante o aquecimento foi executado com uma câmera de imagem térmica NEC Avio modelo G100EX.

Figura 4: Montagem para os ensaios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 (a) apresenta a imagem real das chapas aquecidas no instante final do tempo de aquecimento estabelecido para cada ensaio. Na Figura 5 (b), é possível observar a imagem equivalente em infravermelho da distribuição de temperaturas na chapa. A câmera foi configurada para apresentar na tela a temperatura em cinco pontos da região de aquecimento, pontos a, b, c, d, e da Figura 5 (b).

A Tabela 2 apresenta a temperatura observada nos ensaios para cada chapa nos cinco pontos definidos de monitoramento da câmera. Os pontos a, b, c, d estavam posicionados na região quente das chapas, o ponto e foi posicionado no centro das chapas. Os parâmetros de aquecimento selecionados provocaram temperaturas acima de 900 °C, conforme recomendado por Cavusoglu *et al.*[2] e Ximenes *et al.*[3].

Em todas as chapas o ponto "e" apresentou a menor temperatura. A princípio, esta condição é resultado da menor influência do indutor nesta região, o aumento da temperatura é função da condução térmica das extremidades para dentro da região central.

(a) (b)

Chapa 1

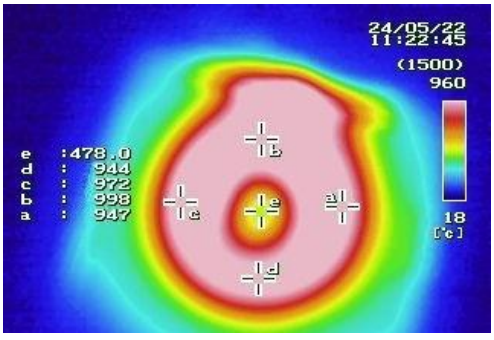

Figura 5: Montagem para os ensaios, (a) imagem real, (b) imagem em infravermelho.

Tabela 2 Temperatura máxima observada nos ensaios preliminares.

	a (°C)	b (°C)	c (°C)	d (°C)	e (°C)
Chapa 1	947	998	972	944	478
Chapa 2	979	1027	1058	990,1	618,4
Chapa 3	910	976	937	939	463,9

Para executar a caracterização da estrutura resultante de cada condição ensaiada, foram cortadas amostras de regiões das chapas buscando as regiões da temperatura máxima identificadas na Figura 5 (b). As amostras foram cortadas manualmente em equipamento de corte metalográfico com refrigeração em abundância para evitar alterações na estrutura das amostras.
Os ensaios de microdureza foram realizados no laboratório de metrologia do IMT com o emprego do durômetro microVickers Mitutoyo HM100 com capacidade para cargas de 10 até 1000 gf.

Tabela 3 Resultados de dureza obtidos nos ensaios.

Posição [mm]	Dureza Chapa 1 [HV_1]	Dureza Chapa 2 [HV_1]	Dureza Chapa 3 [HV_1]
0	480	521	466
2	510	504	505
4	520	522	464
6	475	508	470
8	486	511	506
10	513	501	469
Média	497	511	480

Avaliando a média dos resultados de dureza é possível perceber uma diferença nas amostras temperadas. A maior dureza foi observada na condição ensaiada na chapa 2 que apresentou as maiores temperaturas de aquecimento antes da têmpera.
Na Figura 6, percebe-se uma fina estrutura martensítica presente na região tratada da chapa 1, em (a) imagens com elétrons secundários (*SE - Secondary Electrons*) e em (b) com elétrons retroespalhados (*BSE - Backscattered Electrons*).

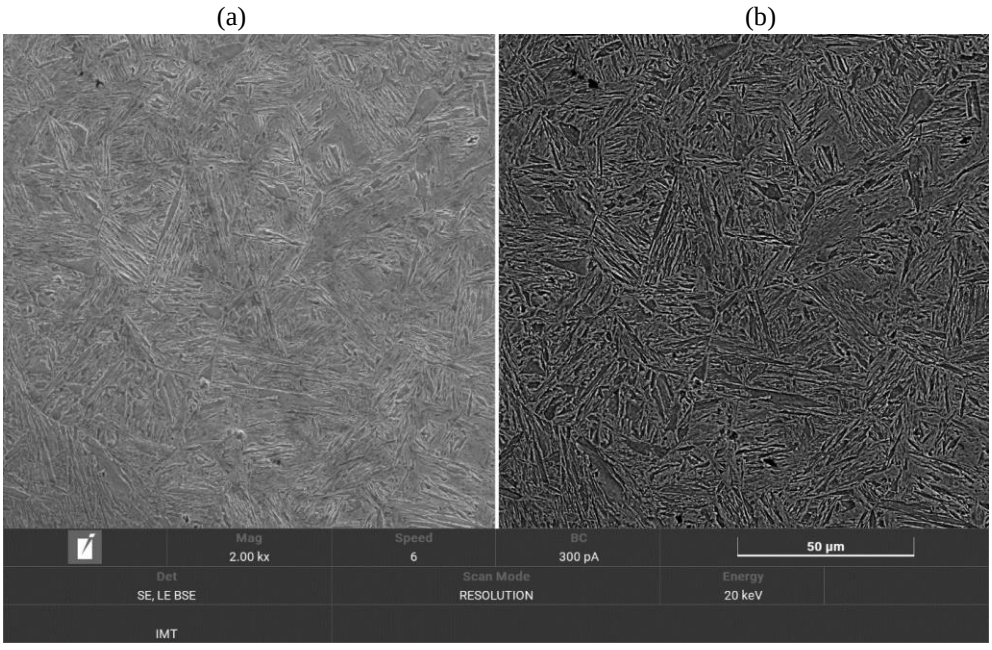

Figura 6: Imagens em MEV da chapa 1 com ampliação de 2000X - (a) SE, (b) BSE.

Os parâmetros de aquecimento empregados garantiram a austenitização completa da estrutura e o método de resfriamento em banho de água possibilitou a transformação plena de estrutura austenítica para estrutura martensítica na zona termicamente afetada (ZTA) de todas as chapas ensaiadas.

CONCLUSÕES

Nos ensaios efetuados para estudo de parâmetros de aquecimento das chapas, foi possível concluir que que o forno de indução tem a capacidade de aquecer somente uma região da chapa em condições favoráveis para execução de tratamento térmico de têmpera.
Os parâmetros de aquecimento empregados garantiram a austenitização completa da estrutura, que possibilitou uma transformação plena para estrutura martensítica das chapas ensaiadas. Após a têmpera, uma microestrutura homogênea e de granulação fina se formou nas chapas estudadas, apresentando dureza na faixa de 466 a 522 HV em uma microestrutura totalmente martensítica.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao IMT pelo apoio financeiro e institucional na pesquisa deste trabalho.
Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro na forma das outorgas referidas no Processo FAPESP n°2020/09163-3 e Processo FAPESP n°2020/15239-2.

REFERÊNCIAS

1-SCHWINGENSCHLÖGL, P., MERKLEIN, M. Characterization of tribological conditions within direct hot stamping, Journal of Materials Processing Technology, v. 278, n. May 2019, p. 116535, 2020.
2-CAVUSOGLU, O., CAVUSOGLU, O., YILMAZOGLU, A., et al. Microstructural features and mechanical properties of 22MnB5 hot stamping steel in different heat, v. 9, n. 5, p. 10901–10908, 2020.
3-XIMENES, D. A., PESSANHA, L., EDUARDO, J., et al. Phase transformation temperatures and Fe enrichment of a 22MnB5 Zn-Fe coated steel under hot stamping conditions, Integrative Medicine Research, v. 9, n. 1, p. 629–635, 2019.

APPLICATION OF INDUTIVE HEATING FOR LOCAL HEAT TREATMENT IN THIN PLATE FOR HOT STAMPING

ABSTRACT

In this work, an induction heating system was adapted to create the possibility of local heating in a thin sheet to manufacture tailored blanks in single sheet for hot stamping process. The material used in the studies was ABNT 1070 carbon steel. An inductive heating equipment of 25 kW nominal power was used in the tests. The parameters involved in the study were: the power and initial heating time; and the power and dwell time in heating. The equipment used made it possible to control the initial heating and heating at a level with different values. After localized inductive heating of the sheet, the specimens were cooled in water for further evaluation of the structure from the heat treatment. After the tests, the resulting microstructure in the specimens was evaluated to characterize the resulting phases in the regions that underwent heating. The Vickers microhardness of the heated and treated regions was evaluated seeking a quantitative correlation for the parameters studied. It was possible to identify a relationship between power and inductive heating time in the microhardness results and phases resulting from the heat treatment.

Keywords: T*ailored blanks, Hot stamping, Induction heating.*