

AÇOS PARA A CONFECÇÃO DE MATRIZES PARA ESTAMPAGEM A QUENTE - BIBLIOMETRIA

Alexandre F. A. Wieczorek^{1*}, Gabriela L. Brollo¹ and Paula F. S. Farina¹

*1 - Departamento de Engenharia de Manufatura e Materiais, Faculdade de Engenharia
Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP.
a193489@dac.unicamp.br*

RESUMO

Nos últimos anos, a preocupação com as emissões de gases poluentes ganhou destaque crescente. Dessa forma, a indústria automobilística visa adaptar-se a esse cenário desenvolvendo carros cada vez mais eficientes, reduzindo a massa das peças, mas mantendo a segurança dos motoristas. O processo de estampagem a quente visa equilibrar essas demandas. Ele consiste, basicamente, em conformar plasticamente e realizar simultaneamente o tratamento térmico de uma chapa metálica utilizando alta temperatura e pressão por meio de uma matriz. Assim, é possível obter peças com alta resistência, que garantirão a segurança dos condutores, mas que sejam leves, permitindo economia de combustível e menor emissão de gases do efeito estufa. Para realizar tal combinação de características, a matriz empregada apresenta alta complexidade, possuindo uma rede intrincada de canais de refrigeração, para que seja possibilitado durante o processo a realização do tratamento térmico da peça. O material da matriz apresenta um equilíbrio entre alta dureza e tenacidade, minimizando os mecanismos de desgaste, e, ao mesmo tempo, prevenindo quebras, uma vez que a confecção da matriz é muito onerosa. O material de confecção da matriz, aço H13, e os seus tratamentos térmicos são um dos pontos-chaves para o sucesso do processo de estampagem a quente, uma vez que, os mecanismos de desgaste adesivo e abrasivo são os principais causadores de falhas. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho consiste em revisão bibliográfica abrangente, análise bibliométrica e discussão do respectivo estado da arte do processo de estampagem a quente com foco na análise de matrizes de aço H13, categorizando os temas estudados, obtendo informações relevantes para a comunidade acadêmica e utilizadas para o comparativo que será feito experimentalmente.

Palavras-chaves: *estampagem a quente, matriz, H13.*

INTRODUÇÃO

As matrizes utilizadas em estampagem a quente possuem complexos canais de refrigeração que permitem, de forma simultânea, a conformação e tratamento térmico de peças. Seu material é fundamental para o sucesso da operação, já que ele determina suas propriedades mecânicas e por consequência o seu modo de falha, além de impactar nos altos custos de sua usinagem. Assim, analisando os temas estudados, é possível entender melhor os mecanismos de falha e caracterizar o H13, propondo tratamentos térmicos para este aço, ajudando a nacionalizar a produção de matrizes em solo brasileiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise de revisão bibliométrica desenvolvida neste trabalho utilizou-se a base de dados da plataforma Web of Science na data de 02 de julho de 2022. Visando representar o tema estudado escolheu-se as palavras-chaves “*hot stamping*” (estampagem a quente), “*die*” (matriz) e H13, todas pesquisadas na língua inglesa, com a possibilidade de estarem em plural e utilizando a opção de busca “*todos os campos*”, está permitindo que estejam tanto no título, ou escopo dos artigos, assim aspirando abranger o maior número de trabalhos possíveis relacionados ao tema. Foram obtidos um total de 17 artigos que foram analisados por sua relevância, tendência e categorizados por meio de métricas relacionadas aos anos e lugares de publicação. O software VOSViewer (versão 1.6.18), foi usado para a elaboração de mapas relacionados aos termos relevantes e sua ocorrência. Os parâmetros utilizados foram o método de contagem “*full counting*”, realizando a enumeração da relação entre os termos pesquisados de forma inteira e não fracionada, e uma recorrência mínima de 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Há um total de 17 artigos sobre o tema de estampagem a quente relacionado às palavras-chaves estampagem a quente, matriz e aço H13 no período de 7 anos, iniciando em 2015 e finalizando em 2021. Nos anos de 2016 e 2020 temos os picos de publicações com 5 artigos em cada ano e temos uma média de 2,6 artigos por ano. Pela pequena amostra de artigos publicados é difícil analisar a tendência e direcionamento dos temas estudados.

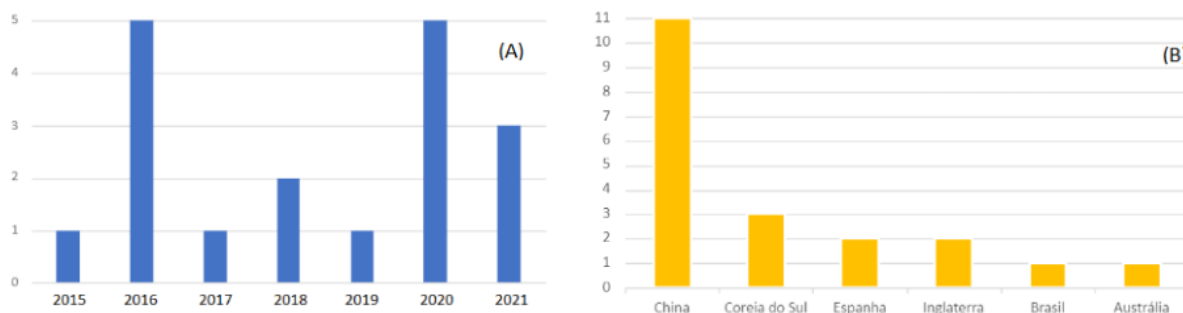


Figura 1: Número de Artigos por ano (A) e Artigos publicados por País (B)

O primeiro artigo relacionado ao tema, analisa o aço H13, principal material utilizado na confecção de matrizes de estampagem a quente, estudando a precipitação de carbonetos deste material durante tratamentos térmicos⁽¹⁾. Já o último artigo de 2021 compara uma matriz manufaturada de H13 com uma matriz feita por processo de manufatura aditiva com aço da classe “*maraging*” 1.2709, aproveitando a liberdade desse método produtivo para confeccionar os complexos canais de refrigeração⁽¹⁹⁾.

Os principais assuntos de publicação se dividem em 5 principais grupos: transferência de calor com 6 artigos, tribologia com 5, tratamentos térmicos com 3, manufatura aditiva com 2, e fadiga térmica com 1 único artigo (Figura 2).

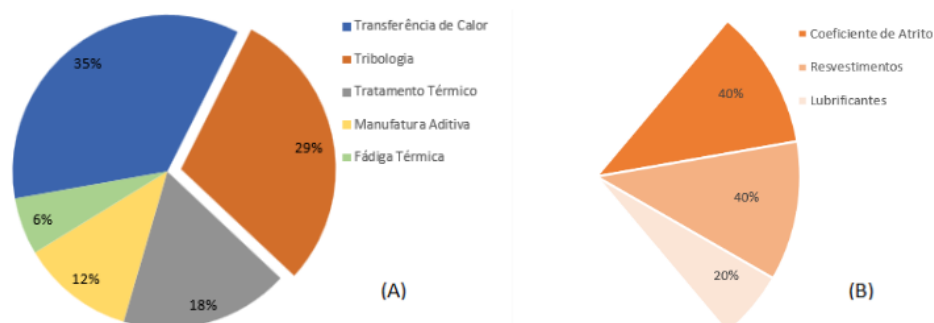


Figura 2: Categorização dos Artigos Publicados em Estampagem a Quente(A) e Subdivisão dos Artigos sobre Tribologia (B)

A estampagem a quente utiliza matrizes com complexos canais de refrigeração para promover simultaneamente a conformação e tratamento térmico de chapas⁽²⁰⁾. Os artigos de transferência de calor focam-se em obter os coeficientes de transferência térmica^(4,10,12) ou sua relação com propriedades da peça estampada⁽⁶⁾ ou fatores tribológicos como lubrificação e pressão de contato⁽⁷⁾. Esse coeficiente é primordial para melhorar o tratamento térmico, aumentar a produção por ciclo e determinar o quão complexa será a usinagem dos canais⁽²⁰⁾.

Os artigos sobre tribologia estudam principalmente os processos de desgaste^(11,17), lubrificação⁽¹⁰⁾ e o uso de tratamentos superficiais^(9,15), analisando a vida útil de matrizes e visando aumentá-la. Esses tópicos são de suma importância já que os mecanismos de desgaste adesivo e abrasivo são responsáveis pela perda de forma das matrizes, prejudicando o acabamento das peças conformadas e sendo um critério de falha⁽²⁾.

Os tratamentos térmicos analisam as microestruturas geradas e como impactam nas propriedades mecânicas do aço H13^(1,8,23). Assim é possível avaliar propriedades como tenacidade, usinabilidade e dureza, todas de grande impacto para a confecção de matrizes. Outra característica desse processo de manufatura é a variação de temperatura, que causa dilatação na matriz e como consequência temos fadiga térmica, esta sendo estudada junto com o tratamento superficial de nitretação em um único artigo produzido na China⁽¹⁶⁾.

A China é o país mais interessado no assunto, tendo produzido um total de 11 artigos, aproximadamente 65% de todas as publicações. Seguida pela Coreia do Sul com 3 artigos, Espanha e Inglaterra com 2 e Brasil e Austrália com 1 artigo cada. Os temas abordados pelos chineses variam em 4 temas, transferência de calor^(4-7,10,12), tribologia^(11,14,17) e tratamentos térmicos⁽²³⁾, além de ser o único país a ter estudado o processo relacionado à fadiga térmica⁽¹⁶⁾. Já a Coreia do Sul tem foco nos tratamentos térmicos⁽⁸⁾ e microestrutura⁽¹⁾, tendo 2 artigos nessa área, além de outro relacionado a transferência de calor⁽¹⁸⁾. A Espanha se divide em tribologia e revestimentos⁽¹⁵⁾ e na confecção de matrizes por manufatura aditiva⁽¹⁹⁾. Já os outros países estão dentro dos 2 principais temas de pesquisa.

Utilizando o software VOSViewer, as palavras-chaves “*hot stamping*” (estampagem a quente) + “*die**” (matriz ou matrizes) + H13, todas ligadas pelo conectivo “e”, permitindo buscar artigos que possuam todas estas palavras em conjunto, na base de dados da Web of Science é possível indicar os principais termos relacionados a esse tipo de pesquisa, permitindo uma visão geral do tema. Utilizando a recorrência mínima de 2 termos e utilizando o conceito de thesaurus, para reunir os termos que possuam o mesmo significado, é possível obter 3 “*clusters*” divididos por cores:

1. Em vermelho: “*hot stamping*” (estampagem a quente), “*boron steel*” (aço boro), “*design*” (projeto), H13 e “*fatigue*” (fadiga).
2. Em azul: “*tool steel*” (aço ferramenta), “*wear*” (desgaste) e “*coatings*” (revestimentos)
3. Em verde: “*microstructure*” (microestrutura), “*heat-transfer*” (transferência de calor), “*temperature*” (temperatura) e “*mechanical properties*” (propriedades mecânicas)

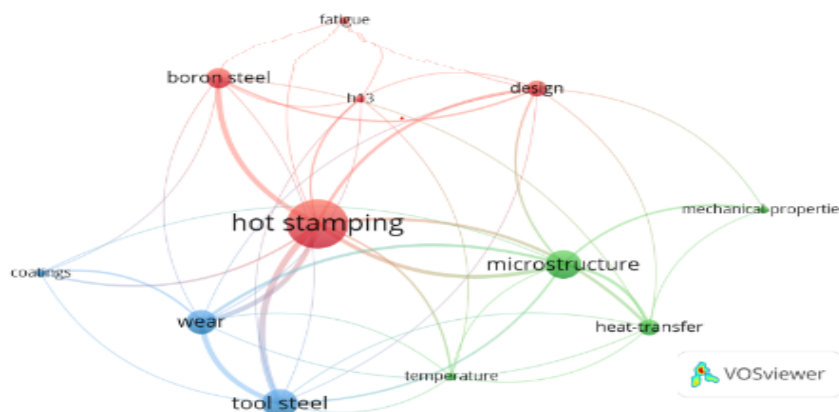


Figura 4: Mapa de Termos Recorrentes por meio do software bibliométrico VOSviewer

CONCLUSÃO

Realizando o estudo de revisão bibliométrica utilizando as palavras-chaves “*hot stamping*” (estampagem a quente) + “*die**” (matriz ou matrizes) + H13 na base de dados da Web of Science é possível notar o pequeno número de artigos publicados, apenas 18 no total, e seu recente surgimento, tendo seu primeiro artigo publicado apenas em 2015. Esses fatores indicam a carência de publicações nesse campo, uma vez que, o processo de estampagem a quente permite é uma opção interessante para produzir peças leves, mas que possuam alta resistência. Também foi possível caracterizar os assuntos mais relevantes em 5 grandes áreas e quantificar sua produção, sendo transferência de calor o assunto mais publicado (35%), seguido por tribologia (29%), tratamentos térmicos (18%), manufatura aditiva (12%) e por fim fadiga térmica (6%). Além disso, foi mostrada a grande hegemonia da China nesse assunto, sendo responsável por aproximadamente 65% da produção acadêmica nesse tema.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à agência brasileira de fomento à pesquisa FUNDEP (Fundação para o Desenvolvimento da Pesquisa - Projeto 27194*27 - Rota 2030: Mobilidade



e Logística para o Futuro do Brasil, Segmento IV: Ferramentas Brasileiras Mais Competitivas) pelo apoio financeiro para a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

1. Minwoo Kang, Gyujin Park, Jae-Gil Jung, Byung-Hoon Kim, Young-Kook Lee, The effects of annealing temperature and cooling rate on carbide precipitation behavior in H13 hot-work tool steel, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 627, 2015, p 359-366
2. Ghiotti A; Sgarabotto F; Bruschi S, A novel approach to wear testing in hot stamping of high strength boron steel sheets, *Wear*, 2013, p 1319-1326
3. Tiantian Peng, Xiaobing Zhao, Yao Chen, Lei Tang, Kunxia Wei & Jing Hu, Improvement of stamping performance of H13 steel by compound-layer free plasma nitriding, *Surface Engineering*, 2020, p 492-497
4. Xiao, W., Zheng, K., Wang, B. *et al.* Experimental characterization of heat transfer coefficients for hot stamping AA7075 sheets with an air gap. *Archiv.Civ.Mech.Eng.*, 2020, p 93
5. Liang Ying, Tianhan Gao, Minghua Dai, Ping Hu, Luming Shen, Investigation of convection heat transfer coefficient of circular cross-section short pipes in hot stamping dies, *Applied Thermal Engineering*, Volume 138, 2018, p 133-153
6. Li, Shuang; Zhou, Luhai; Wu, Xiaochun; Zhang, Yun; Li, Junwan; The Influence of Thermal Conductivity of Die Material on the Efficiency of Hot-Stamping Process - *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2016
7. Wenchao Xiao, Baoyu Wang, Kailun Zheng, Jing Zhou, Jianguo Lin. A study of interfacial heat transfer and its effect on quenching when hot stamping AA7075, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Volume 18, Issue 3, 2018, p 723-730
8. Sungho Yun, Sang Hun Lee, Kang Sub Song, Wonhee Cho, Yongchan Kim. Performance improvement of tailored die quenching using material combinations with phase change material in hot stamping, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 161, 2020
9. da Costa Castanhera, I., Diniz, A.E. & Button, S.T. Effects of plasma nitriding and nitrocarburizing thermochemical treatments and surface texture on surface damage evolution of hot stamping punches. *Int J Adv Manuf Technol* 112, 2021, p 2341–2358
10. Wang, M., Zhang, C., Xiao, H. *et al.* Inverse evaluation of equivalent contact heat transfer coefficient in hot stamping of boron steel. *Int J Adv Manuf Technol* 87, 2016, p 2925–2932
11. Yanhong Mu, Baoyu Wang, Mingdong Huang, Jing Zhou, Xuetao Li. Investigation on tribological characteristics of boron steel 22MnB5–tool steel H13 tribopair at high temperature. Vol 231, Issue 2, 2016, p 165-175
12. Ying Chang, Xinghui Tang, Kunmin Zhao, Ping Hu, Yucheng Wu. Investigation of the factors influencing the interfacial heat transfer coefficient in hot stamping, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 228, 2016, p 25-33
13. Xi Luan; Xiaochuan Liu; Haomiao Fang; Kang Ji; Omer El Fakir; LiLiang Wang. Characterization of the interfacial heat transfer coefficient for hot stamping processes. *Journal of Physics Conference Series*, Vol 734, 2016
14. Zhang, Y; Wang, W ; Hu, Hu, Zhaowen ; Liu, K ; Chang, JJ. Investigation of hBN powder lubricating characteristics of die steel H13-ceramic Si3N4 tribopair at 800 celcius. Volume 234, Edição4, 2019, p 622-631



15. Gaztelupe, MO; Buron, MC ; Arrate, JIA ; Mentxaka, AL.Enhancement of tribological properties by laser metal deposition of aisi h13 and wc coatings .Volume 95, Edição 4, 2020
16. Peng, Tiantian;Zhao, Xiaobing;Chen, Yao;Tang, Lei;Wei, Kunxia;Hu, Jing.Improvement of stamping performance of H13 steel by compound-layer free plasma nitriding, Volume 36, Edição 5, 2020, p 492-497
17. Zhang, Y; Wang, W; Liu, K; Tong, BH; Hu, ZW; Song, RH.Thermomechanical analysis on the frictional contact behavior of a high-strength steel 22MnB5-die steel H13 tribopair at 800 degrees by experiment and finite-element simulation. Proceedings of the institution of mechanical engineers part j-journal of engineering tribology.Volume 235,Edição 9,2021
18. Sungho Yun, Junho Kwon, Dong Chan Lee, Hyun Ho Shin, Yongchan Kim, Heat transfer and stress characteristics of additive manufactured FCCZ lattice channel using thermal fluid-structure interaction model, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2020
19. Pujante, J.; González, B.; Garcia-Llamas, E. Pilot Demonstration of Hot Sheet Metal Forming Using 3D Printed Dies. *Materials* , 2021
20. Karbasian,H.,Tekkaya, A. E.; A Review on Hot Stamping. Journal of Materials, v. 210, n. 15, p. 2103-2118, 2010
21. Li, J., Li, J., Wang, Ll. *et al.* Study of the Effect of Trace Mg Additions on Carbides in Die Steel H13. *Met Sci Heat Treat* 58,2015, p 330–33

STEELS FOR THE PRODUCTION OF HOT STAMPING DIES - A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

ABSTRACT

In recent years, the concern with the emissions of pollutant gases has gained increasing prominence. Therefore, the automotive industry aims to adapt to this scenario by developing increasingly efficient cars and reducing the weight of its parts, while securing the driver's safety. The hot stamping process intends to fulfill these demands. It consists, essentially, in plastically forming and, simultaneously, heat treating a metal sheet using high temperature and pressure through a die. In this way, it is possible to produce highly resistant parts (ensuring the safety of the driver) that are also lightweight, allowing fuel savings and lower greenhouse gas emissions. To accomplish this combination of features, the die must have a high complexity design, with an intricate system of cooling channels, so that during the process it is possible to perform the heat treatment of the part. The die material presents a balance between high hardness and toughness, minimizing wear mechanisms and, at the same time, preventing breakage, as the die manufacturing is very expensive. The die material, H13 steel, and its heat treatments are one of the key points for the success of the hot stamping process, since the adhesive and abrasive wear mechanisms are the main causes of failure. It is currently the most used material for this purpose. In this context, the aim of this study is to perform a comprehensive literature review, a bibliometric analysis and a discussion of the respective state of the art of the hot stamping process, focusing on the analysis of H13 steel dies, whilst categorizing the themes under analysis and obtaining relevant information for the academic community and for the comparison that will be done experimentally.

Keywords: hot stamping, die, H13