

СЪВРЕМЕННИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА ИНДУКЦИОННОТО НАГРЯВАНЕ
MODERN APPLICATIONS OF INDUCTION HEATING

Марин Маринов, Бохос Апрахамян, Майк Щреблау

Abstract: In this article will be discussed heat treatment methods achieved by induction heating, such as: hardening, bonding, brazing, welding, normalization and melting. Their modern industrial applications, features and applications.

Keywords: induction heating, induction methods of heat treatment

1. Въведение

Чрез индукционното нагряване се осъществява процес на безконтактна термична обработка на детайли. Ефектът на нагряване се дължи на протичащите в детайла вихрови токове (токове на Фуко), индуктирани от магнитно поле създадено от индуктор навит около самия детайла. Според закона на Джаул-Ленц протичащите в детайла токове водят до неговото нагряване [10, 11]. Дълбочината на проникване на магнитното поле в детайла зависи от специфичното му съпротивление, магнитната му проницаемост и честота на захранващото индуктора напрежение. Определя се по следния начин:

$$\Delta = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f \cdot \mu_r}} \quad (1)$$

където:

$\rho, \Omega \cdot m$ – специфично електрическо съпротивление на нагрявания детайл;

μ_r – относителна магнитна проницаемост на нагрявания детайл;

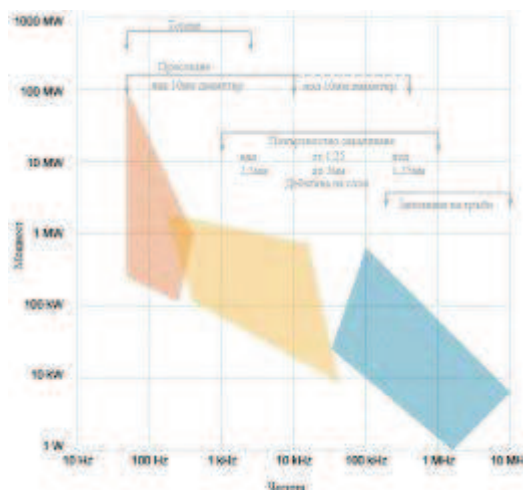
f, Hz – честота на захранващото напрежение.

Индукционното нагряване има две основни направления - обемно и повърхностно нагряване и обхваща широк диапазон от честоти и мощности. Някои от най-разпространените приложения са представени на фиг. 1 и фиг. 2 [10].

Целта на статията е да се представи обзор на методите за индукционно нагряване, техните особености, актуалността и качествата на процеса, както и да послужи за разработване на бъдещ дисертационен проблем.



Фиг. 1. Методи за топлинна обработка с индукционното нагряване.



Фиг. 2. Диапазон на приложение на индукционния метод

2. Области на приложение на индукционното нагряване.

Закаляване:

Предимствата на индукционното закаляване са:

- енергийната ефективност на процеса;

- висока скорост;
- висока прецизност;
- технологично пригоден метод [1, 12].

Индукционното нагряване се използва при закаляването на множество детайли, като - зъбни колела, колянни валове, задвижващи валове, усукани решетки, кобилицы, клапани, свредла за бетон и др. Процесът е представен на фиг.3[1].



Фиг. 3. Процес на закаляване.

Отвърщане:

Предимствата на индукционното отвърщане са - висока скорост и прецизност на процеса. Той е широко използвана технология в автомобилостроенето за редуциране на повърхностните напрежения в закалени компоненти [1, 11]

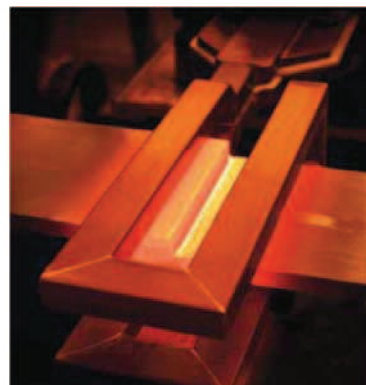


Фиг.4. Процес на отвърщане.

Запояване

Предимствата на индукционното спояване са скоростта на процеса, прецизността, възможността за контрол над формата и размера на спойките, възможност за осъществяване на спойка между почти всякакъв вид метали, както и фактът че се нагрява само зоната на спойка без да се нарушават свойствата на детайла.

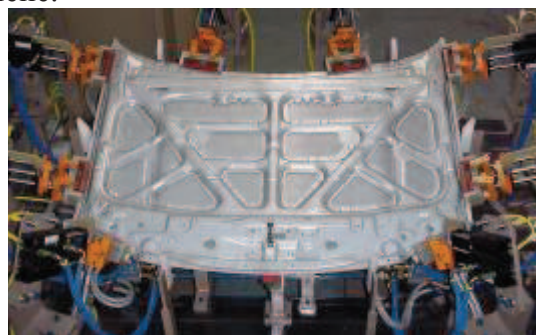
В днешно време тези системи намират доста широко приложение в електротехническата промишленост за бронзиране на генераторни и трансформаторни компоненти: барове, нишки, пръстени, проводници. Използват се също за бронзиране на горивни тръби, както и за спирачни части за автомобилната индустрия. Процесът е представен на фиг. 5 [1, 2, 4].



Фиг.5. Процес на спояване.

Лепене

Индукционно лепене, показано на фиг.6 използва индукционното нагряване за обработка на специални лепила. В зависимост каква част от детайла предварително се нагрява се различават два вида на автоматично лепене – локално и пълно лепене.



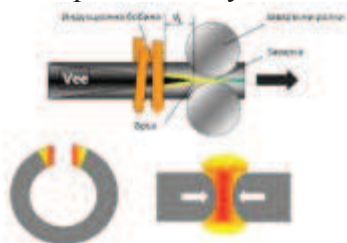
Фиг. 6. Процес на лепене.

Основните предимства на индукционното лепене са [1,2]:

- малките и малко на брой топлинно засегнати зони;
- висока скорост на процеса;
- не е необходимо отвърщане при лепене на стоманени детайли;
- прецизен и лесен контрол над процеса.

Заваряване

Основните предимства на индукционно надлъжно заваряване са - надеждност на процеса; висока пропускателна способност; ниско потребление на енергия; възможност за прецизен контрол; висока скорост; не са необходими заваръчни консумативи.



Фиг. 7. Схематично представяне на процеса на индукционно заваряване

Индукционното заваряване, показано на фиг. 7, се прилага широко в производството, на всякакви видове тръби и тръбопроводи. Използва се също за надлъжно заваряване на неръждаема стомана, алуминий, ниско и високо въглеродна, както и подсилени нисколегирани (HSLA) стомани, и много други електропроводими материали [1,6].

Индукционна нормализация

Основните предимства на индукционната нормализация са:

- надежден и прецизен контрол на температурата;
- лесна интеграция в производствените линии;



Фиг. 8. Процес на нормализация

- удобен метод за третиране на всеки детайл индивидуално за постигане на специфични резултати и систематизиран за контрол изразен в непрекъснато наблюдение и запис на целия процес.

Индукционната нормализация се използва широко в индустрията за производство на всякакъв вид тръби, а също така се среща и при производството на тел, стоманени ленти, ножове и медни тръби. В действителност, индукция е идеална за всички процеси, нуждаещи се от нормализация [1,3].

Топене

Предимствата са - висока скорост, прецизност и качество. Когато е правилно извършен процеса е възможно да се пропусне етапа на пречистване, необходим при другите методи.



Фиг. 9. Процес на топене.

На индукционно топене подлежат черни и цветни метали, ядрени материали, както и някои неметали, посредством специални индиректни системи. [1, 7, 8].

Обработка на асфалт

Индукционното нагряване на асфалт е техника, която се състои в нагряване на електропроводими частици, например: стоманени влакна, предварително добавени към асфалтовата смес.

Технологията е значително нова и се провеждат редица експерименти за определяне на ефективността и качеството и [9, 26].



Фиг.10. Индукционно нагряване на асфалт

3. Заключение

В статията бяха разгледани основните приложения на индукционното нагряване и техните съвременни приложения. Имайки предвид областите, в които се прилага индукционното нагряване, неговите предимства, като скорост, контрол и качество на процеса, както и изключително лесното и удобното му внедряване в автоматизирани производствени линии, може да се каже, че индукционното нагряване е актуален и модерен метод за термична обработка с голям потенциал за промишлеността [13, 14, 15].

Предвид всичките му предимства, е изключително удобен да бъде използван като база за сравнение с други такива методи, както и да бъде лесно симулиран чрез програмни продукти [17, 24]. Днес основно се работи върху решаването на различни математически проблеми свързани с индукционното нагряване, търсене на нови негови приложения при единични термични задачи, както и сравнението му с други процеси за загряване на детайли [21,22,25]. Търсят се също начини за подобряване на процесите в индукционното нагряване, подобряване на захранващите източници и употребата на постоянно магнитно поле в нагряването [19,20,23]. Основен проблем е изследването на ефекта, който индукционното нагряване остава по време и след процеса на обработка, както и измененията в детайлите дължащи се на електромагнитната индукция, а от там и качеството на обработката [16,18].

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Induction heating application – EFD Induction, <http://www.efd-induction.com>
- [2]. Hongbo Xu, Myngyu Li, Local Melting and Shape Controlling of Solder Joints via Induction Heating, *Journal of Materials Processing Technology*, pp.2781–2787, 2009.
- [3]. Revilla C., Lopez B., Carbide Size Refinement by Controlling the Heating Rate During Induction Tempering in a Low Alloy Steel, *Materials and Design*, vol.62, pp.296–304, 2014.
- [4]. Bojiang Ma, Qian Pang, Jianpeng Lou, Rod-like Brazed Diamond Tool Fabricated by Supersonic-Frequency Induction Brazing with Cu-based Brazing Alloy, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 43, pp 25–29, 2014.
- [5]. J. Otubo, O.D. Rigo, The Effects of Vacuum Induction Melting and Electron Beam Melting Techniques on the Purity of NiTi Shape Memory Alloys, *Materials Science and Engineering A* 438–440, pp.679–682, 2006.
- [6]. P. Yana, O.E. Gungorb, P. Thibauxb, Tackling the Toughness of Steel Pipes Produced by High Frequency Induction Welding and Heat-Treatment, *Materials Science and Engineering A* 528, pp.8492– 8499, 2011.
- [7].Mingxiang Chena,,Liulin Yuan, Sheng Liu - Research on Low-Temperature Anodic Bonding Using Induction Heating, *Sensors and Actuators A* 133, pp.266–269, 2007.
- [8].Bo Yun Jang, Joon Soo Kim,Young Soo Ahn, Induction Melting Process Using Segmented Graphite Crucible for Silicon Melting, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 95, pp.101–106, 2011.
- [9]. Garcia A., Induction Healing of Dense Asphalt Concrete, <http://sciencedirect.com>, 2013.
- [10]. Матвеев А.Н., Электричество и магнетизм, Высш. школа, 1983.
- [11]. Лозинский М. Промышленное применение индукционного нагрева.,СССР, 1948.
- [12]. G.Totten, M.Howes, Handbook of Residual Stress and Deformation of steel.
- [13]. Xiaoxu Zhou, Brian G. Thomas. Alberto Hernandez B., A. Humberto Castillejos, Measuring Heat Transfer During Spray Cooling Using Controlled Induction-Heating Experiments and Computational Models, *Applied Mathematical Modelling* 37, pp. 3181–3192, 2013.
- [14]. Shuntaro Tsubaki, Kiriyo Oono, Ayumu Onda, Kazumichi Yanagisawa, Jun-ichi Azuma, Comparative Decomposition Kinetics of Neutral Monosaccharides by Microwave and Induction Heating Treatments, *Carbohydrate Research* 375, pp.1–4, 2013.
- [15]. Hsuan-Liang Lin, Shia-Chung Chen Ming-Chang Jeng, Pham Son Minh Jen-An Chang, Jiun-Ren Hwang, Induction Heating with the Ring Effect for Injection Molding Plates, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 39, pp. 514–522, 2012.
- [16]. Alvaro Garcha , J. Norambuena - Contreras , Manfred N. Partl, Experimental Evaluation of Dense Asphalt Concrete Properties for Induction Heating Purposes, *Construction and Building Materials* 46, pp.48–54, 2013.
- [17]. Pavel Karban, František Mach, Ivo Doležel , Modeling of rotational induction heating of nonmagnetic cylindrical billets, *Applied Mathematics and Computation* 219, pp.7170–7180, 2013.
- [18]. Ivo Doležel, Petr Kropik , Bohuš Ulrych, Induction Heating of Thin Metal Plates in Time-Varying External Magnetic Field Solved as Nonlinear Hard-Coupled Problem, *Applied*

Mathematics and Computation 219, pp.7159–7169, 2013.

[19]. T. Palin-Luc, D. Coupard, C. Dumas, P. Bristiel, Simulation of Multiaxial Fatigue Strength of Steel Component Treated by Surface Induction Hardening and Comparison with Experimental Results, International Journal of Fatigue 33, pp.1040–1047, 2011.

[20]. Daniel Paquet, Jacques Lanteigne, Marie Bernard, Carlo Baillargeon, Characterizing the Effect of Residual Stresses on High Cycle Fatigue (HCF) with Induction Heating Treated Stainless Steel Specimens, International Journal of Fatigue 59, pp.90–101, 2014.

[21]. Y.F. Sun, J.M. Shen, Y. Morisada, H. Fujii, Spot Friction Stir Welding of Low Carbon Steel Plates Preheated by High Frequency Induction, Materials and Design 54, pp.450–457, 2014.

[22]. C. Revilla, B. Lypez, J.M. Rodriguez-Ibabe, Carbide Size Refinement by Controlling the Heating Rate During Induction Tempering in a Low Alloy Steel, Materials and Design 62, pp.296 – 304, 2014.

[23]. T. Iamboliev, S. Valkanov, S. Atanasova, Microstructure Embrittlement of Hard Metal–Steel Joint Obtained Under Induction Heating Diffusion Bonding, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 37, pp.90–97, 2013.

[24]. Mohammad Hossein Tavakoli, Hossein Karbaschi, Feridoun Samavat, Influence of Workpiece Height on the Induction Heating Process, Mathematical and Computer Modelling 54, pp. 50–58, 2011.

[25]. P. Yana, O.E. Gungorb, P. Thibauxb, M. Liebeherrb, H.K.D.H. Bhadeshiaa, Tackling the Toughness of Steel Pipes Produced by High Frequency Induction Welding and Heat-Treatment, Materials Science and Engineering A 528, pp. 8492– 8499, 2011.

[26]. Quantao Liu, Shaopeng Wua, Erik Schlangen, Induction Heating of Asphalt Mastic for Crack Control, Construction and Building Materials 41, pp. 345–351, 2013.

За контакти:

инж. Марин Маринов
ТУ-Варна – Ръководител ОУЛ
„Нови енергийни източници“
e-mail: m_t_marinov@tu-varna.bg