

# Indukční ohřev obruče rotoru turbogenerátoru

Jaroslav Bublík

Katedra elektroenergetiky a ekologie, Západočeská univerzita v Plzni

## Induction heating of the shrink-ring

### Abstract

*In this paper I deal with induction heating of the shrink-ring. First, I describe advantages of using induction heating in industrial applications. Then I write about concrete problem – heating of the shrink-ring. I determine conditions that are necessary to fulfil during the heating process. Further I mention the method of problem solving and in the end I write about computer simulation of the process and evaluate the results.*

### Keywords

Induction heating, shrink-ring, frequency, electric current, heating time, thermal field, dilatation field.

### Úvod

Indukční ohřev se dnes řadí k nejvíce užívaným elektrotepelným ohřevům. Důvodem jsou jeho výjimečné vlastnosti. Pro mnoho průmyslových využití představuje indukční ohřev nejlepší a často jediný možný způsob ohřevu.

Hlavními výhodami indukčního ohřevu jsou:

- vznik tepla přímo ve vsázce
- velká hustota energie → velmi rychlý ohřev
- v porovnání s ostatními metodami nižší spotřeba elektrické energie
- možnost lokálního ohřevu
- volbou kmitočtu lze ovlivnit tloušťku vrstvy ve vsázce, ve které teplo vzniká
- vysoká spolehlivost

### Průmyslové využití indukčního ohřevu

- Indukční prohřívací zařízení – jsou využívána hlavně v sériové výrobě. Nahradila palivové pece vytápěné plynem, uhlím nebo topnými oleji, kde trval ohřev příliš dlouho a docházelo k oxidaci povrchu a ke ztrátám materiálu vsázky opalem. Tato zařízení pracují na principu vzduchového transformátoru.
- Indukční tavicí pece – indukční kelímkové pece, indukční kanálkové pece. Vsázka se nachází v nádobě (kelímku) a během procesu je roztavena.
- Zařízení pro povrchové kalení – vsázka je zahřívána na kalicí teplotu a následně prudce zchlazena. Důležitá je volba vhodné frekvence - závisí na ní tloušťka prohřáté vrstvy materiálu.
- Zařízení pro indukční pájení
- Zařízení pro indukční svařování

## Příklad - ohřev obruče rotoru turbogenerátoru za účelem její demontáže

Mým úkolem bylo navrhnout ohřev obruče nasazené na rotor turbogenerátoru. Obruč zabezpečuje čela vinutí rotoru proti působení odstředivých sil. Je vyrobena z nemagnetické oceli CrMn1818 (obchodní značka P 900), která odolá korozi pod mechanickým napětím. Následná dilatace obruče umožní její demontáž. Při ohřevu je nutné splnit následující podmínky:

- 1.) Minimální vůle mezi obručí a rotorem v průběhu snímání obruče musí být 0,5 mm. Potřebná radiální dilatace poloměru obruče činí minimálně 3 mm.
- 2.) Maximální lokální teplota obruče nesmí přesáhnout teplotu 390°C.

Jelikož obruč nesmí být během ohřevu místně přehřívána, je nemožné použít autogenní hořáky ani odporový ohřev. Je tedy nutné použít ohřev indukční.

## Řešení úkolu

Pro úspěšné řešení problému je nutné najít optimální hodnoty tří veličin:

Doba ohřevu  $t$  [min] – ohřev nesmí být příliš rychlý, jinak nastane velký rozdíl teplot mezi nejstudenějším a nejteplejším místem obruče. Dle zadavatele je optimální doba ohřevu  $t = 10 - 20$  minut.

Proud procházející induktorem  $I$  [A] – přibližná velikost proudu se vypočítá pomocí rovnice pro výkon, který je zapotřebí k ohřevu

$$P = \frac{Gc(T_2 - T_1)}{t} \quad (1)$$

P – potřebný výkon [W]

G – hmotnost obruče [kg]

c – měrná tepelná kapacita materiálu obruče [J/kgK]

$T_1$  – teplota obruče před ohřevem [°C]

$T_2$  – maximální teplota obruče [°C]

t – doba ohřevu [s]

Známe-li napětí zdroje, na který bude ohřívací zařízení připojeno, můžeme vypočítat proud I. Pro zadaný případ je optimální hodnota elektrického proudu  $I = 3$  kA.

Kmitočet  $f$  [Hz] – pro jeho určení zavedeme zjednodušující předpoklad. Vsázka (obruč) je uvažována jako dutý válec s vnějším poloměrem  $r_2$  a vnitřním poloměrem  $r_4$ . Vsázka je nemagnetická, její relativní permeabilita je  $\mu_r = 1$ . Pro účinný přenos energie z induktoru do vsázky je možné použít poměrně široké spektrum kmitočtů. Nejúčinnější přenos nastane za podmínky, že činný odpor vsázky a její reaktance jsou stejně velké (obě tyto hodnoty jsou přepočteny do obvodu cívky).

Jsou-li známy rozměry vsázky a její materiálové vlastnosti, nikoli však frekvence, je nutné provést výpočet iterační metodou. Postup je následující:

- 1.) Zvolíme kmitočet.
- 2.) Vypočítáme hloubku vniku  $a$ .
- 3.) Vypočítáme hodnotu argumentu  $x_2$ .
- 4.) Pro daný argument odečteme z diagramu pro ohřev duté nemagnetické vsázky [1] hodnotu  $s_2$  ( $s_2 = x_2 - x_4$ ).
- 5.) Vypočítáme hodnotu argumentu  $x_4$ .

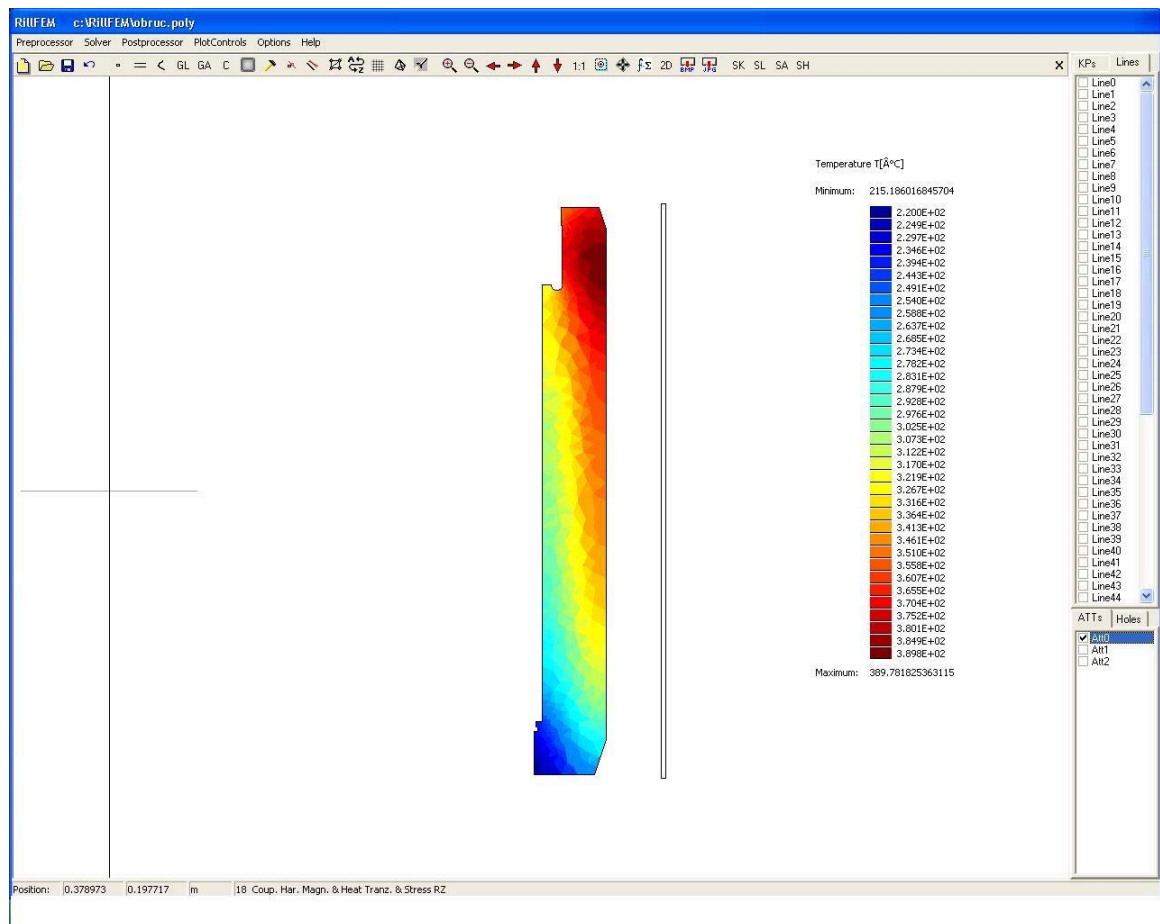
- 6.) Vypočítáme poloměr  $r_4$ .
  - 7.) Porovnáme vypočtenou hodnotu  $r_4$  s hodnotou skutečnou.
  - 8.) V případě, že se hodnoty liší, zvolíme jiný kmitočet a celý postup opakujeme.
- Pro argumenty platí následující rovnice:

$$x_i = \sqrt{2} \frac{r_i}{a} \quad (2)$$

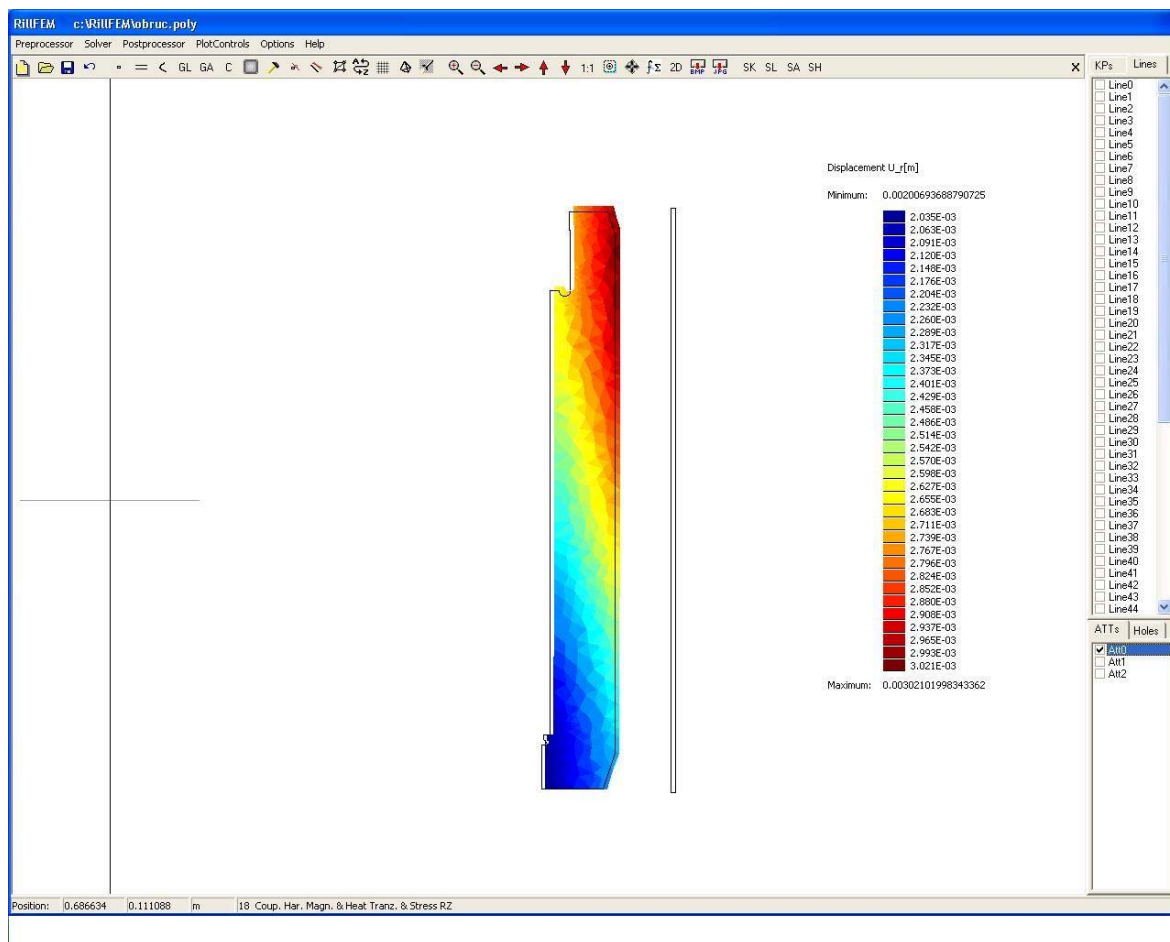
Jelikož je možné použít relativně široké spektrum frekvencí při zachování dobré účinnosti, lze ohřívací zařízení napájet síťovým kmitočtem  $f = 50 \text{ Hz}$ . Odpadnou tím finanční náklady spojené se zakoupením a montáží měniče kmitočtu.

## Simulace v programu RIIIFEM

Pro výše uvedené hodnoty jsem provedl simulace v softwaru RIIIFEM. Výsledky jsou znázorněny na následujících obrázcích.



Obr. 1 – Teplotní pole při ohřevu obruče



Obr. 2 – Dilatační pole při ohřevu obruče

## Závěr

Jak je patrné na obrázcích 1 a 2, navržené zařízení vyhovuje oběma podmínkám. Dilatace povrchové vrstvy obruče činí přibližně požadované 3 mm a teplota obruče na žádném místě nepřekračuje 390°C. Přesto i nadále na přání zadavatele zkoumám další možnosti ohřevu – zejména použití zdrojů o vyšším kmitočtu.

Ing. Jaroslav Bublík  
 FEL – KEE  
 Západočeská univerzita v Plzni  
 Univerzitní 8  
 301 00 Plzeň

**Tel.:** +420 377 634 319  
**E-mail:** bublik@kee.zcu.cz

## Literatura

- [1] Langer, E. - Kožený, J.: Elektrotepelná zařízení indukční. Skriptum VŠSE Plzeň, 1982.
- [2] Langer, E.: Teorie indukčního a dielektrického tepla. ČSAV, 1979.