UNITECH '10 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19 – 20 November 2010, GABROVO

ОПТИМИЗИРАНЕ ИНДУКЦИОННИЯТ НАГРЕВ ЧРЕЗ ИМПУЛСНО ОБРАБОТВАНЕ - ЧАСТ II

OPTIMIZATION OF INDUCTION HEATING BY MEANS OF PULSE TREATMENT – PART II

Иван Митев
кат."МТМ"
ТУ – Габрово

Иван Винев
кат."МТМ"
ТУ – Габрово

Abstract

This paper observes the influence of the pulse processing on the electric and technological properties for induction heating. Optimization was conducted using the full factorial experiment. Graphic relationships are presented on the impact of treatment on external power induction and distance between the inducer and the load

Keywords: pulse processing; induction heating; full factorial experiment; technological properties.

ВЪВЕДЕНИЕ

За оптимизиране технологичният процес при индукционно нагряване на феромагнитни стомани са проведени предварителни изследвания с цел определяне на основните технологични фактори влияещи върху характеристиките на процеса. В резултат на това като управляеми фактори на оптимизацията са избрани електрическият коефициент на полезно действие - **η**, и коефициент на мощност на индуктора – **cos φ** [3,4,6]. В качеството на фактори оказващи най-съществено влияние на процеса са определени средното значение на относителната повърхностна мощност – $\mathbf{p_0}$ и разстоянието между индуктора и товара – **δ** [2,5,6].

ИЗЛОЖЕНИЕ

За попълване матрицата на плана и резултатите от експериментите за фактор $\mathbf{У_1}$ - електрически коефициент на полезно действие – **η**, са проведени допълнителни изследвания при относителна продължителност на включванията – **γ**, като пресмятанията са извършени по формула 1.

$$\gamma = t_{вкл} / t_{и} \qquad (1)$$

където: $t_{вкл}$ – дължина на импулса – s;
$t_{и}$ - времето до началото на следващия импулс – s.

При изследванията дължината на импулса вариране в границите 0,16÷0,8 s, а периода на един импулс бе заложен в интервала 0,28÷2,3 s. При така заложените параметри в опитната установка относителната продължителност на включванията бе $\gamma = 0,6$.

На база извършените измервания при горно и долно ниво на стойностите за факторите, влияещи върху електрическия коефициент на полезно действие е попълнен плана на експеримента за функцията $У_1$ – таблица №1.

От таблицата е видно, че първите четири експеримента – опити от №1÷№8 отговарят напълно на пълният факторен експеримент от типа 2^m. За по-голяма точност в нашият случай експерименталния план е разширен с цел разработване на композиционен план от втори порядък. За целта към плана на пълния факторен експеримент се добавят 2.m „звездни" точки, със звездно рамо $\alpha = \pm 1$. Една от координатите на тези звездни точки е равна на +1 или -1, а за всички останали са 0 – експерименти 5, 6, 8 и 9 от

таблица №1. На тях отговарят опити № 9÷12 и №15÷18 от същата таблица.

В случаите, когато m=2 се добавя в плана на експеримента една допълнителна точка в центъра за която всички координати са 0. За съставеният от нас план на експеримента тази точка отговаря на експеримент №7, съответно с опити №13 и 14.

При обработване на данните от плана е използван метода на регресионния анализ. В този случай изчислителната процедура може да бъде силно опростена, като се има предвид факта, че информационната матрица на плана съдържа ненулеви извънднагонални елементи само в стълбовете, съответстващи на X_0 и X_i^2 в полиномния модел.

Изхождайки от отбелязаното по-горе за разглеждания от нас случай при m=2 моделът от втора степен ще има вида - 2.

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \quad (2)$$

За решаване на уравнение 2, при използвания от нас метод на пълен факторен експеримент, разширен до план от втори порядък – оптимизационен композиционен план, коефициентите на уравнението на регресия се пресмятат по формули 3÷6.

$$b_0 = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N}\overline{y_1} \quad (3)$$

$$b_i = e\sum_{u=1}^{N}x_{iu}\overline{y_1} \quad (4)$$

$$b_{ij} = g\sum_{u=1}^{N}x_{iu}x_{ju}\overline{y_1} \quad (5)$$

$$b_{ii} = c\sum_{u=1}^{N}x_{iu}^2\overline{y_1} + d\sum_{u=1}^{N}x_{ju}^2\overline{y_1} + p\sum_{u=1}^{N}\overline{y_1} \quad (6)$$

От формули 3÷6 се вижда, че за да се осъществи пресмятането е нужно да се знаят стойностите на коефициентите – **c**, **d**, **e**, **g** и **p**. Последните се избират от таблица №2 в зависимост от стойностите на m и N [1].

Поправъчни коефициенти Таблица №2

№	m	N	p	c	d	e	g
1	2	3	4	5	6	7	8
1	**2**	**9**	**-0,33**	**0.50**	**0**	**0,166**	**0,25**
2	**2**	**8**	**-0,75**	**0,75**	**0,25**		

Използвайки резултатите от таблици №1÷2 и заместващи във формули 3÷6, са пресметнати коефициентите на регресионното уравнение.

Тъй като разглеждания от нас модел е при стойности m=2 не се налага определянето на коефициента b_{22}.

Пресметнатите стойности за коефициентите са проверени за тяхната адекватност след което записваме математичният модел от втора степен, който има вида -7.

$$\hat{y}_1 = 0{,}681 + 0{,}0334X_1 - 0{,}097X_2 + 0{,}015X_1X_2 - 0{,}0165X_1^2 \quad (7)$$

Извършена е проверка относно адекватността на изграденият математичен модел, като са определени оценката на остатъчната дисперсия и е изчислено дисперсното съотношение – F= 0,027.

При ниво на значимост $\alpha = 0{,}05$, и брой на степените на свобода $\nu_{ост}=4$ и $\nu_{\varepsilon}=1$, от таблица са отчетени стойностите за критерия на Фишер – $F_т=7{,}71$ [1].

Съпоставяйки двете стойности получаваме - неравенство 8, което ни дава основание да твърдим, че изграденият от нас математичен модел е адекватен.

$$F_t = 7{,}71 > F = 0{,}027 \quad (8)$$

По аналогичен начин протичат изследванията и за вторият оптимизиран параметър $У_2$ – коефициент на мощност на индуктора – **cos φ.**

Плана на експеримента за този параметър е представен в таблица №1, а математичният модел има вида 9.

$$\hat{y}_2 = 0{,}35 + 0{,}0334X_1 - 0{,}08X_2 - 0{,}0175X_1X_2 - 0{,}0132X_1^2 \quad (9)$$

План на експеримента Таблица №1

№ по ред	X_1	$\tilde{x}_1$	X_2	$\tilde{x}_2$	$У_1$		$У_2$	
	код	kW/m^2	код	mm	$y'_1 \div y''_1$	$\overline{y_1}$	$y'_2 \div y''_2$	$\overline{y_2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	**-1**	**1**	**-1**	**10**	0,73	**0,74**	0,39	**0,37**
2					0,75		0,35	
3	**+1**	**10**	**-1**	**10**	0,72	**0,77**	0,48	**0,47**
4					0,82		0,46	
5	**-1**	**1**	**+1**	**50**	0,55	**0,51**	0,23	**0,25**
6					0,47		0,27	
7	**+1**	**10**	**+1**	**50**	0,57	**0,60**	0,29	**0,28**
8					0,63		0,27	
9	**-1**	**1**	**0**	**0**	0,63	**0,62**	0,28	**0,30**
10					0,61		0,32	
11	**+1**	**10**	**0**	**0**	0,72	**0,70**	0,33	**0,37**
12					0,68		0,41	
13	**0**	**0**	**0**	**0**	0,67	**0,68**	0,34	**0,35**
14					0,69		0,36	
15	**0**	**0**	**-1**	**10**	0,76	**0,76**	0,76	**0,44**
16					0,76		0,76	
17	**0**	**0**	**+1**	**50**	0,53	**0,58**	0,53	**0,27**
18					0,63		0,63	
19	**+0,4**	**3,6**	**+0,5**	**30**	0,74	**0,71**	0,37	**0,39**
20					0,68		0,41	
21	**+0,6**	**5,4**	**+0,5**	**30**	0,59	**0,58**	0,29	**0,30**
22					0,57		0,31	

Проверката за адекватност по критерия на Фишер при нива на значимост и степени на свобода аналогични на предходният фактор е представена с неравенство 10.

Това ни дава основание да твърдим, че и вторият изграден математичен мводел е адекватен.

$$\mathbf{F_t=7,71>F = 0,0167} \qquad \mathbf{(10)}$$

Тъй като при пресмятане уравненията на регресия са използвани кодирани стойности на коефициентите X_1 и X_2, то за да се направи графична интерпретация на резултатите е необходимо уравненията на регресия да се представят в нормализиран вид – уравнения 11 и 12

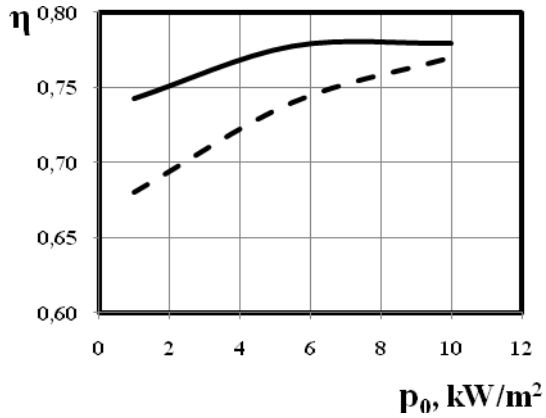
$$\mathbf{У_1 = 0,681 + 0,0334(X_1\text{-}5,5)/4,5 - 0,097(X_2\text{-}30)/20 + 0,015(X_1\text{-}5,5)/4,5 \,.\, (X_2 - 30/20 - 0,01656[(X_1 - 5,5)/4,5.]^2} \qquad \mathbf{(11)}$$

$$\mathbf{У_2 = 0,35 + 0,0334(X_1\text{-}5,5)/4,5 - 0,08(X_2\text{-}30)/20 + 0,0175(X_1\text{-}5,5)/4,5 \,.\, (X_2 - 30/20 - 0,0132[(X_1 - 5,5)/4,5.]^2} \qquad \mathbf{(12)}$$

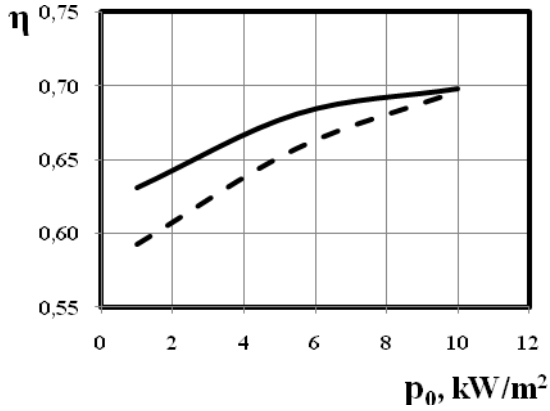
Замествайки в равенства 11 и 12 с различни стойности на управляемите параметри X_1 и X_2, получаваме различни стойности на оптимизираните функции $У_1$ и $У_2$.

Графичната интерпретация на получените резултати за първата изследвана функция – електрическият коефициент на полезно действие, при различни стойности на повърхностната мощност и разстоянието между индуктора и товара е представена на фиг.1÷3.

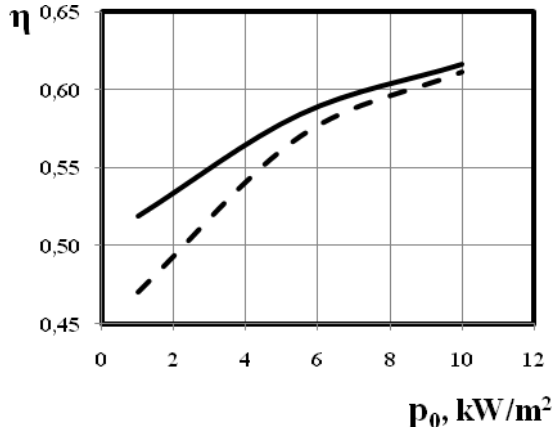
На фиг.4÷6 са показани графичните зависимости за втората изследвана функция – коефициента на мощност на индуктора във функция от същите параметри.



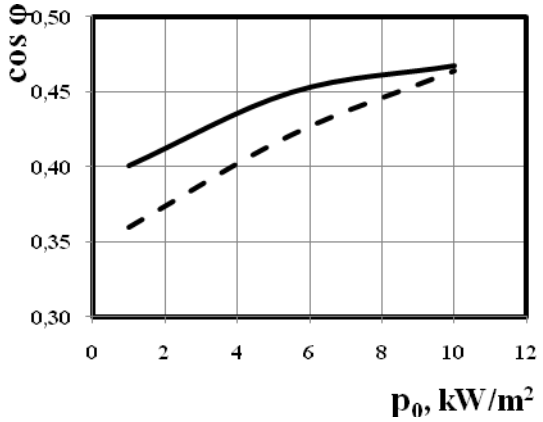
*Фиг. 1. Изменение електрическият коефициент на полезно действие – **η**, във функция от повърхностната мощност – **p_0**, при разстояние между индуктора и товара – **10mm***



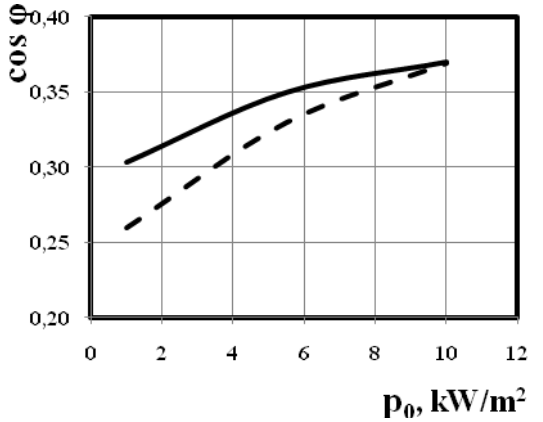
*Фиг. 2. Изменение електрическият коефициент на полезно действие – **η**, във функция от повърхностната мощност – **p_0**, при разстояние между индуктора и товара – **30mm***



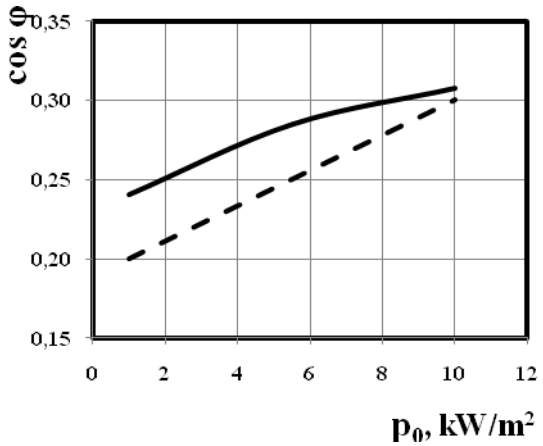
*Фиг. 3. Изменение електрическият коефициент на полезно действие – **η**, във функция от повърхностната мощност – **p_0**, при разстояние между индуктора и товара – **50mm***



*Фиг. 4. Изменение коефициента на мощност – **cos φ**, във функция от повърхностната мощност – **p_0**,при разстояние между индуктора и товара – **10mm***



*Фиг. 5. Изменение коефициента на мощност – **cos φ**, във функция от повърхностната мощност – **p_0**,при разстояние между индуктора и товара – **30mm***



*Фиг. 6. Изменение коефициента на мощност – **cos φ**, във функция от повърхностната мощност – **p_0**,при разстояние между индуктора и товара – **50mm***

На фигурите с пунктирана линия са показани стойностите за изследваните функции без използване на допълнително импулсно обработване, които са взети по литературни данни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От проведените изследвания и получените резултати могат да се формулират следните по-важни изводи:

- Проведена е оптимизация на основните технологични фактори – електрическият коефициент на полезно действие – **η** и коефициента на мощност на индуктора – **cosφ,** по метода на пълният факторен експеримент, като последният е разширен с квадратен член до композиционен план от втори род.
- При проведената оптимизация са изведени уравненията на регресия, като е доказано, че те са адекватни.
- Разработени са графични зависимости за изменението на оптимизираните технологични параметри в зависимост от двата основни варируеми фактора – повърхностна мощност и разстояние между индуктора и товара.
- Доказано е, че с нарастване разстоянието между индуктора и товара намаляват стойностите за оптимизираните фактори, като това намаляване е най-съществено при минимални стойности на повърхностната мощност на индуктора.
- Съпоставяйки стойностите за оптимизираните параметри на импулсно обработените детайли с тези на необработените по тази технология е констатирано, че импулсно обработените притежават по-добри технологични свойства. Това по-добре е изразено при по-малки стойности на повърхностната мощност. При нарастване на последната до стойности над $10kW/m^2$, стойностите на оптимизираните величини са приблизително еднакви, както при импулсно обработените детайли, така и при необработените такива

ЛИТЕРАТУРА

[1] Вучков, И., Ст.Стоянов, Математично моделиране и оптимизиране на технологични обекти, София, Техника, 1986, с.345.

[2] Головин Г. и др., Промышленное применение токов высокой частоты, Ленинград, Машиностроение, 19871 с.239.

[3] Динев П., Електротехнология, София, Технически университет, 2000, с.420.

[4] Кувалдин,А., Индукционный нагрев ферромагнитной стали, Москва, Енергоавтомаш, 1900,с.192

[5] Палатника Л. и др., Структура и физически свойства твердого тела, Киев, Выша школа, 1983, с. 254.

[6] Слуходски А., Применение токов высокой частоты в электротермии, Ленинград, Машиностроение, 1983, с.277.