

ОПТИМИЗИРАНЕ НА ИНДУКЦИОННИЯТ НАГРЕВ ЧРЕЗ ИМПУЛСНО ОБРАБОТВАНЕ - ЧАСТ I

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

Иван Митев

кат. "МТМ"

ТУ – Габрово

Иван Винеv

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

Методите за индукционно нагряване на феромагнитни стомани и сплави са перспективни от гледна точка на предимствата, които те притежават в сравнение с останалите конвенционални, методи за топене и термично обработване на феромагнитни стомани и сплави.

В най-общ вид предимствата на този тип технологии се свежда до [2, 3, 6]:

- ✓ висока концентрация на енергия в нагрявания материал;
- ✓ безконтактно нагряване;
- ✓ надеждна работа;
- ✓ удобство при регулиране;
- ✓ възможност за механизирани и автоматизирани процеси;
- ✓ добри условия на труд;
- ✓ отсъствие на замърсяване към околната среда и др.

Заедно с посочените по-горе предимства тези методи притежават и някои недостатъци, които са свързани с не дотам пълното изследване на поведението на магнитното поле в процеса на работа. Това налага по-подробното му изследване с цел оптимизиране на технологичните характеристики на

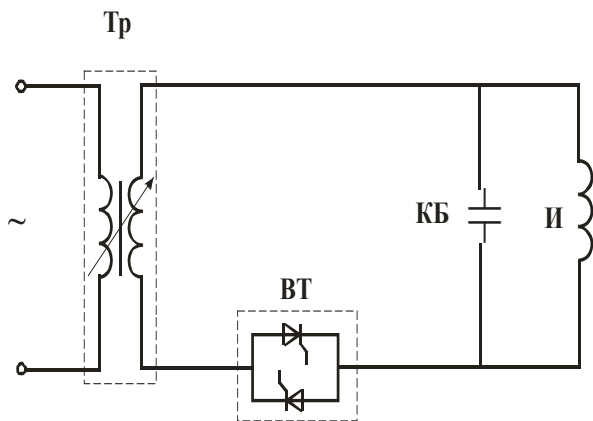
нагряването.

В тази връзка целта на настоящото изследване се свежда до проследяване влиянието от въвеждането на импулсния начин на нагряване върху интензифициране на технологичния процес при индукционно нагряване на феромагнитни материали.

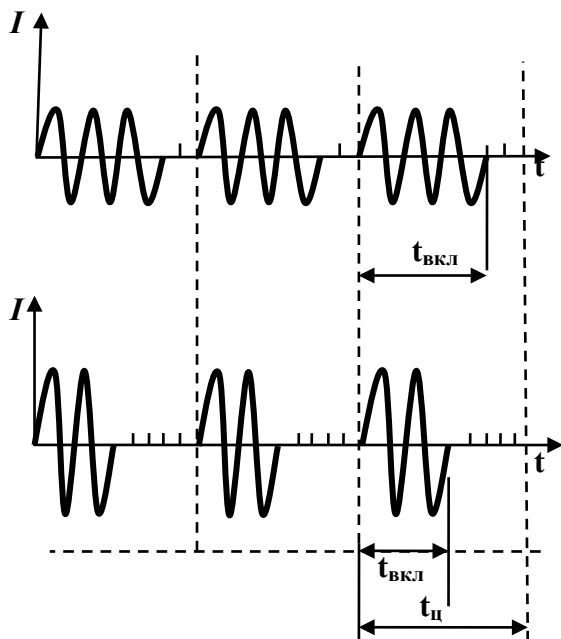
ИЗЛОЖЕНИЕ

Вибрациите на нагрявания ток по повърхността на детайла при честота на трептене 50Hz, често пъти се оказва недостатъчна със своя интензитет за успешно провеждане на технологичните процеси. В тези случаи по-ефективно се явява използването на импулсен режим на нагряване. Той се реализира чрез захранване на индуктора през тиристорен преобразувател, който позволява регулиране на импулсите в широк интервал.

Показаната на фиг. 1 система за регулиране позволява изменението дължината на импулса – $t_{\text{вкл}}$, и периода на следващия импулс – $t_{\text{ц}}$. Използването на трансформатор в схемата с регулиране на вторичните напрежения позволява да се изменя и амплитудата на тока съгласно графиките от фиг. 2.



Фиг. 1. Схема на устройство за регулиране дължината на импулсите при индукционно нагряване съдържаща: *Tr* – трансформатор; *КБ* – кондензаторен блок; *И* – индуктор; *BT* – устройство за регулиране на импулсите



Фиг. 2. Принципна зависимост на тока от големината и продължителността на импулсите

Използвайки разделното регулиране на дължината на импулсите и амплитудата на тока, може да се обезпечат постоянни стойности на мощността, която се изразходва за нагряване на товара, посредством управление на стойностите за силите и количеството вибрации.

Този метод за индукционно нагряване е особено ефективен в случаите, когато се на-

лага да се получат нискочестотни вибрации с цел снемане на значителни напрежения от детайла.

Прилагането на импулсното нагряване е свързан с два основни проблема:

- ✓ въздействие на захранващата мрежа;
- ✓ изменение на енергетичните показатели на системата.

За понижаване влиянието на мрежата е целесъобразно товара да се подключи към захранващия трансформатор посредством тиристорни включватели, няколко индуктора или различни сектори от един индуктор. По този начин се постигат минимални колебания към товара. Трябва да се отбележи, че индукционните установки за нагряване на феромагнитни сплави обикновено имат в запас голямо количество мощност, с помощта на която може съществено да се влияе върху качеството на електроенергийната мрежа.

Промяната в импулсите на тока при импулсно нагряване довежда до изменение напрегнатостта на магнитното поле и относителната магнитна проницаемост на стоманения товар. Всичко това влияе в значителна степен върху електрическия коефициент на полезно действие, а също така и върху коефициента на мощност на устройствата за индукционно нагряване на феромагнитни материали.

За оптимизирането на тези характеристики от технологичният процес е използван метода на пълния факторен експеримент.

При експерименталните изследвания съгласно схемата от фиг.1, е използван плосък индуктор за определяне на енергетичните характеристики при импулсен режим на работа. В процеса на оптимизиране като параметри на оптимизация в пълния факторен експеримент са използвани:

- ✓ U_1 - електрически коефициент на полезно действие – η ;
- ✓ U_2 – мощност на плоския индуктор – $\cos\varphi$.

В качеството на фактори, които оказват съществено влияние върху същността на протичащия технологичен процес са избрани:

- ✓ X_1 – средно значение на относителната повърхностна мощност – $p_0, kW/m^2$;

✓ $\tilde{x}_2$ – разстояние между индуктора и стоманените листове – δ , mm;

✓ $\tilde{x}_3$ – дълбочина на проникване на електромагнитното поле по повърхността на листа – ε , mm;

✓ $\tilde{x}_4$ – магнитна проницаемост на материала – μ ;

✓ $\tilde{x}_5$ – специфично съпротивление на материала – ρ , Ω/m^2 ;

✓ $\tilde{x}_6$ – температура на топене на материала – T , $^{\circ}C$, и др.

Тъй като факторите, които определят технологичния процес са повече от шест е необходимо детайлно да се разгледат един по един, с цел да се определят тези, които оказват най-съществено влияние върху протичането на процеса.

Съгласно разработената методика за аналитично-експериментално моделиране на изследвания технологичен процес оптимизацията ще се осъществи по метода на пълния факторен експеримент. В тази връзка броя на възможните комбинации се определя в зависимост от факторите влияещи върху технологичния процес по формула – 1 [1].

$$N = 2^m \quad (1)$$

където: N – броя на възможните комбинации при пълния факторен експеримент;

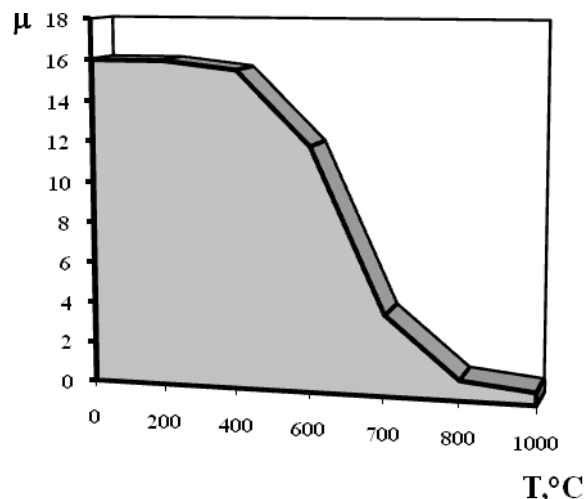
m – броя на изследваните фактори в процеса на оптимизация.

В провежданите от нас изследвания става въпрос за индукционно нагряване на феромагнитни материали. Тъй като нагряването се осъществява в твърда среда стойностите на относителната магнитна проницаемост и относителното съпротивление на материалите, съгласно проведените от нас предварителни изследвания – фиг.3 и 4, са почти еднакви.

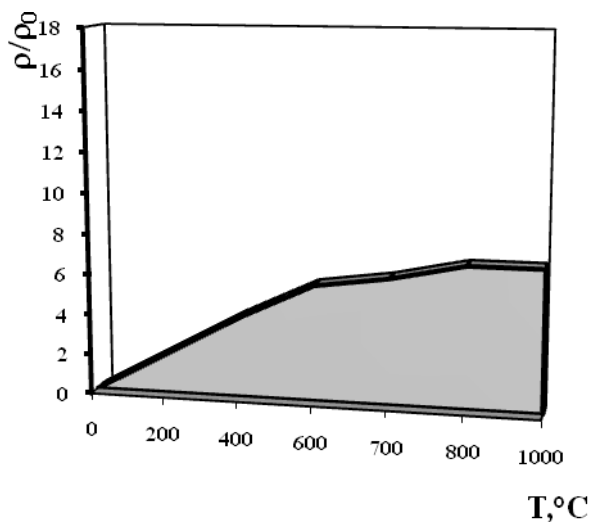
От фигурите е видно, че при изследваните от нас температури на нагряване – $800 \div 1000^{\circ}C$, стойностите на магнитната проницаемост са равни, и се доближават до тези на проницаемостта във вакуум – 1.

От графиките следва, че магнитната проницаемост като технологичен фактор ще

бъде постоянна и няма да оказва съществено влияние върху технологичния процес. Същото може да се каже за относителното електрическо съпротивление на изследваните феромагнитни стомани.



Фиг. 3. Зависимост на магнитната проницаемост от температурата на нагряване при стомана 45



Фиг. 4. Зависимост на относителното съпротивление от температурата на нагряване при стомана 45

За температурния интервал $800 \div 1000^{\circ}C$, стойностите му варират в границите 7-8, и също може да се приеме, че са постоянни.

От констатираното по горе се вижда, че основните фактори – магнитна проницаемост и специфичното електрическо съпро-

тивление не се променят съществено в работния температурен интервал. Това ни позволява да твърдим, че температурата няма да влияе съществено върху импулсната обработка на феромагнитните сплави.

Следващия основен фактор, оказващ влияние върху индукционното загряване на феромагнитните сплави е дълбочината на проникване на електромагнитните вълни по повърхността на нагряваните листове – ε . Съгласно литературните данни [2, 3, 5] тази дълбочина на проникване се определя по империчен закон, който се дава с израза 2.

$$\varepsilon = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{f \cdot \mu}} \quad (2)$$

където: ε – дълбочина на проникване – *см*;

ρ – специфично електрическо съпротивление – Ω/m ;

μ – относителна магнитна проницаемост;

f – честота на трептене – *Hz*.

Както се вижда от формула 2 дълбочината на проникване зависи основно от специфичното електросъпротивление и магнитната проницаемост на материала. Съгласно направените по-горе констатации, тези електромагнитни характеристики не оказват съществено влияние върху разглеждания технологичен процес, тъй като в изследвания температурен интервал те се приемат за константи. В тази връзка може да приемем, че и стойностите за дълбочинно проникване ще бъдат постоянни в процеса на изследване.

От направените разсъждения може да направим извода, че факторите, които влияят съществено върху оптимизираният процес са:

✓ p_0 – средно значение на относителната повърхностна мощност – kW/m^2 ;

✓ δ – разстояние между индуктора и стоманените листове – *mm*.

От проведените предварителни изследвания бе установено, че тези фактори варират в границите както следва:

✓ p_0 – $1 \div 10 kW/m^2$;

✓ δ – $10 \div 50 mm$.

Следователно базирайки се на граничните условия за p_0 и δ е съставена таблица №1 на интервалите за вариране на факторите:

Нива на вариране

Таблица №1

№ по ред	$\tilde{x}_i$	Основно ниво	Вариране	Размерност
----------	---------------	--------------	----------	------------

			Интервал	Долно ниво	Горно ниво	
			$X_i=0$	λ_i	$X_i=-1$	
1	2	3	4	5	6	7
1	$\widetilde{x}_1$	5,5	4,5	1	10	kW/m ²
2	$\widetilde{x}_2$	30	20	10	50	mm

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От проведените предварителни изследвания се констатира, че индукционното нагряване притежава редица предимства пред останалите технологии за топене и обемно нагряване на феромагнитни материали.

За подобряване на технологичният процес при индукционно нагряване на феромагнитни стомани и сплави е предложена оптимизация на процеса по метода на пълният факторен експеримент.

Определени са параметрите за оптимизация – електрически коефициент на полезно действие – η и мощност на плоския индуктор – $\cos\phi$, както и двата най-значими фактора влияещи върху процеса – повърхностна мощност на индуктора и разстоянието между индуктора и товара.

Определени са и нивата на вариране за основните фактори.

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, 1987 с.239.
- [3] Динев П., Електротехнология, София, Технически университет, 2000, с.420.
- [4] Кувалдин, А., Индукционный нагрев феромагнитной стали, Москва, Энергоавтомаш, 1900, с.192
- [5] Палатника Л. и др., Структура и физические свойства твердого тела, Киев, Выща школа, 1983, с. 254.
- [6] Слуходски А., Применение токов высокой частоты в электротермии, Ленинград, Машиностроение, 1983, с.277.