

ИНДУКЦИОННА КАНАЛНА ПЕЩ

INDUCTION CHANNEL FURNACE

Николай Христов Ненов

ТУ - Габрово

Петър Томчев Иванов

ТУ - Габрово

Райна Георгиева Иванова

ТУ - Габрово

Abstract

The present paper examines the channel induction furnace for melting aluminum using a direct power supply from the grid – 230 V; 50 Hz. The focus is on the principle of action and a methodology that has been developed for dimensioning and design. The methodology has been confirmed by means of a laboratory model produced and dimensioned through it.

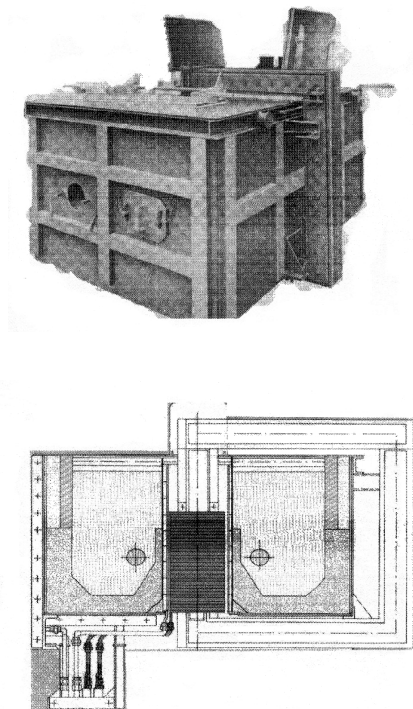
Keywords: channel furnace, methodology; sizing; induction heating, direct power supply

ВЪВЕДЕНИЕ

Индукционното нагряване (ИН) е широко разпространен технологичен процес, като едно от основните му направления е за топене и легиране на черни и цветни метали. При индукционните пещи обикновено се използва електроенергия с честота, по-висока от мрежовата. Това ги определя като относително сложни съоръжения, съдържащи два преобразувателя: изправител и високочестотен източник (тиристорен или транзисторен инвертор, лампов генератор). Високата работна честота е необходима, за да се създаде по-голяма гъстота (концентрация) на магнитните силови линии в зоната на индуктора, следователно и в нагрявания метал.

Освен това класическо приложение на високочестотното ИН, съществуват и други, макар и по-малко разпространени индукционни пещи, работещи на мрежова честота. Тези пещи са или с изключително големи габарити, обикновено миксери за сплавяне или температурна хомогенизация на метала за много големи отливки, или канални пещи. Характерна особеност на каналните пещи е използването на магнитопровод за постигане на голяма концентрация на магнитния поток в метала и при от-

носително ниската мрежова честота. Промислен вариант на канална пещ на фирмата AEG е показано на фиг. 1.



Фиг. 1. Канална пещ на AEG

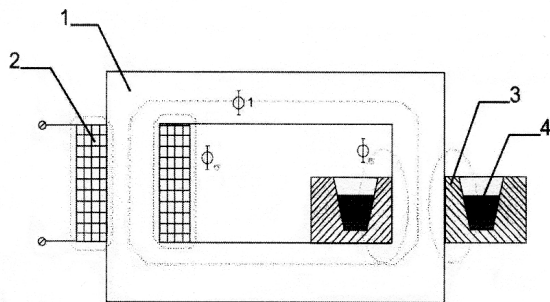
Обект на настоящия доклад е индукционна канална пещ с открит канал за топене на алуминий и методика за оразмеряване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Основните предимства на каналните пещи се свеждат до отсъствието на преобразуватели на електрическа енергия и произтичащите от това повишена надеждност, опростена схематехника, висок КПД и други. Въпреки тези предимства, те не намират много широко приложение поради сложната си и скъпа конструкция и най-вече поради задължителния режим на непрекъсната работа, подходящ за ограничено количество производствени процеси.

Принципът на действие на каналната пещ се свежда до работа на мрежов трансформатор с класическа първична намотка W1 и нахъсо съединена вторична намотка W2, представляваща самия стопен метал, образуващ затворен контур около ядрото на магнитопровода, разположен в подходящ керамичен канал.

Разбира се и при каналната пещ, както и при мрежовия трансформатор формата на магнитопровода може да бъде "Ш" или "П" образна, но поради големите размери и сложна конструкция много по-голямо приложение намира "П" образния реден магнитопровод от силициева ламарина. Общ вид на устройството е показан на фиг. 2.



Фиг. 2. Опростено представяне на канална пещ

където:

- 1 – магнитопровод.
- 2 – първична намотка W1.
- 3 – канал
- 4 – стопен метал W2.

От факта, че вторичната намотка на трансформатора е самия стопен метал следва, че активното съпротивление, пълният импеданс и всички останали параметри на вторичната страна на трансформатора се определят от формата, геометричните размери и вида на стопения метал.

Задължителният непрекъснат процес на работа на каналните пещи се обуславя от факта, че е недопустимо смръзването на стопилката (втвърдяване на метала), тъй като температурното му свиване при втвърдяване и охлаждане, и наличието на затворен контур в керамичния канал, неминуемо ще доведе до разрушаването на керамиката. От друга страна сложната форма и конструкция на канала, тежкия магнитопровод и съоръжение като цяло, не позволяват изливане на метала чрез класическото наклоняване на пещта. Всичко това изисква непрекъснато поддържане на стопен метал в канала, като леенето обикновено се постига чрез добавяне на студен метал в зоната на канала срещу леяка. Така, с повишаване нивото на стопения метал над леяка, се постига леене, а добавения в течната субстанция метал бързо се разтопява и хомогенизира. За това спомагат и действащите в метала динамични сили.

Тези пещи са особено удобни и ефективни за поточни линии, където лесно може да се постигне автоматизиране на металоподаването и леенето в непрекъснат или стъпков процес.

За разработка и оптимизация на канална пещ е важно да има методика за инженерно оразмеряване.

Методика за оразмеряване

1. Изходни данни

- геометрични размери на канала
- специфично съпротивление на метала в стопено състояние - ρ
- специфична топлемост - c
- температура на топене - t
- време за топене - τ - (производителност)

2. Изчисляване на необходимата мощност P

$$P = \frac{c \cdot (t - t_0) \cdot Q}{\eta_t \cdot \tau} \quad [\text{W}] \quad (1)$$

където:

- c – специфична топлемост на метала;
- t_0 – температура на околната среда;
- η_t – температурен коефициент на полезно действие;
- Q – маса на добавения метал

$$Q = \gamma \cdot V \quad [\text{kg}] \quad (2)$$

γ – плътност на метала;

V – чист обем на добавения метал.

3. Изчисляване на активното съпротивление на вторичната страна на трансформатора R

Използва се израз:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} \quad [\Omega] \quad (3)$$

където:

ρ – специфично съпротивление на метала в стопено състояние;

l – дължина на токовия контур;

s – сечение на токовия контур;

4. Изчисляване на напрежението на вторичната страна на трансформатора U2

Напрежението се определя от израз за пълната мощност:

$$S = \frac{U^2}{Z} \quad [\text{VA}] \quad (4)$$

Тъй като разполагаме с активната мощност и активното съпротивление, трябва да се използват зависимостите:

$$Z = \frac{R}{\cos \varphi} \quad \text{и} \quad S = \frac{P}{\cos \varphi}$$

След заместване във формула (4) за напрежението U2 се получава:

$$U2 = \frac{\sqrt{P \cdot R}}{\cos \varphi} \quad [\text{V}] \quad (5)$$

Стойността на $\cos \varphi$ за такъв трансформатор е в диапазона $0.4 \div 0.5$.

5. Изчисляване на броя на навивките на първичната намотка W1

$$W1 = \frac{U1}{U2} W2 \quad [\text{навивки}] \quad (6)$$

където:

$U1 = 230 \text{ V}$ – мрежово напрежение

$W2 = 1$ – токовия контур от стопен метал

Първичната намотка се реализира като една бобина, разположена на едното вертикално ядро на магнитопровода (фиг. 2)

6. Изчисляване на сечението на магнитопровода Sm

$$Sm = \frac{U1}{k \cdot B \cdot f \cdot W1} \quad [\text{m}^2] \quad (7)$$

където:

B – работна индукция;

f – мрежова честота, $f = 50 \text{ Hz}$

k – коефициент, за мрежов трансформатор $k = 4.44$

Избира се сечение по-голямо или равно на изчисленото. Като правило, най-вече за конструктивно улеснение се избира квадратно сечение.

7. Проверка за избраното сечение

7.1. Проверка по мощност [2]

$$Sm = c \sqrt{\frac{P \cdot \alpha}{f \cdot B \cdot \delta}} \quad (8)$$

където:

c – коефициент, за “П”-образен магнитопровод $c = 0.6$

$\alpha = Q_{\text{магнитопр}} / Q_{\text{намотка}} = 2 \div 6$

δ – плътност на тока в намотката.

8. Изчисляване на тока на първичната намотка I1

$$I1 = \frac{S}{U1} \quad [\text{A}] \quad (9)$$

9. Изчисляване на сечението на проводника на първичната намотка s1

$$s1 = \frac{I1}{\delta} \quad [\text{mm}^2] \quad (10)$$

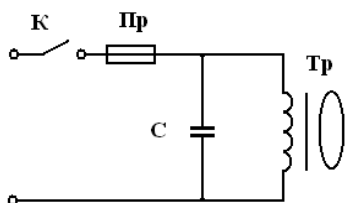
Тъй като съоръжението има непрекъснат режим на работа и ефект на допълнително загряване на магнитопровода и първичната намотка от стопения метал, плътността на тока в първичната намотка се приема да е по-малка отколкото в класическия мрежов трансформатор. В зависимост от мощността на съоръжението, приемливият диапазон е $\delta = 2 \div 3 \text{ A/mm}^2$

10. Определяне на дължината и височината на магнитопровода

Дължината и височината на магнитопровода се определят от геометричните размери на канала и габаритите на бобините на първичната намотка, като задължително трябва да се предвиди въздушна междина (разстояние) между бобината и разтопения метал.

11. Изчисляване на компенсиращия кондензатор C

Импедансът на каналната пещ има активно-индуктивен характер. Опростена принципна схема е показана на фиг. 3.



Фиг. 3. Опростена принципна схема

При RL характер на товара е желателно включване на компенсиращ кондензатор С, за да се консумира от мрежата само активна мощност.

Стойността на кондензатора се изчислява по формулата:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot R \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad [\mu\text{F}] \quad (11)$$

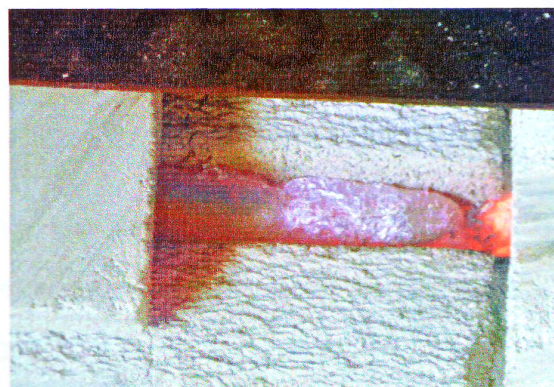
С това оразмеряването на каналната пещ е завършено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По описаната методика е проектиран и реализиран лабораторен макет на канална пещ с мрежова честота, за топене на алуминий. Лабораторният макет е показан на фиг. 4, а на фиг. 5 е показана снимка на разтопения в канала метал.



Фиг. 4. Лабораторен макет



Фиг. 5. Канал със стопен метал

Получени са резултати от експериментални изследвания потвърждаващи работоспособността и ефективността на каналната пещ и правилността на предложената методика за оразмеряване.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] AEG Elotherm - проспект
- [2] Симеонов М., Д. Данков, Конструирание и технология на електронна апаратура, Габрово, 2005.
- [3] Симеонов М., Конструирание и технология на електронна апаратура, Габрово, "Алматер интернационал", 2002.
- [4] <http://books.google.bg/books?id=vHn1ge59cZsC&lpg=PA12&ots=DMYtmhw6kB&dq=AEG%20melting%20channel%20furnace&pg=PA15#v=onepage&q=AEG%20melting%20channel%20furnace&f=false>