

ИЗБОР НА РАБОТНА ЧЕСТОТА ПРИ ИНДУКЦИОННО НАГРЯВАНЕ ЗА АЗОТИРАНЕ НА МЕТАЛИ И СПЛАВИ В ТВЪРДО СЪСТОЯНИЕ

Марин Димитров, Павел Минчев
Институт по металознание - БАН

CHOISE OF WORKING FREQUENCY IN INDUCTION HEATING FOR SOLID-STATE NITRIDING OF METALS AND ALLOYS

Marin Dimitrov, Pavel Minthchev
Institute of Metal Science - Bulgarian Academy of Sciences

Abstract

In solid-state nitriding of metals and alloys the material is crushed into grains with average diameter of up to 1-2 mm. Indirect heating methods are usually applied for treatment of the broken material. The thermal conductivity of the broken material is much smaller than that of the compact one. This determines the big duration of the process. An induction heater for solid state nitriding of high melting point metals is investigated in the present work. The technological process is performed at a temperature between 1150-1250°C and a pressure between 1.0-1.5 MPa. The treated material is placed in special containers made of thermo-resisting steel. Two-dimensional finite element numerical analysis of the electromagnetic and thermal processes in the heater at middle and mains frequencies is carried out. It is established that at mains frequency the time necessary for heating and equalizing of the temperature is shorter. This can be explained with the increased electromagnetic skin depth of the container material.

УВОД

При азотиране на метали и сплави в твърдо състояние материалът се надробява до едрина на зърната 1-2 мм. За обработка на надробения материал обикновено се използва косвен метод на нагриване.

Топлопроводността на надробения материал е с един порядък по-ниска от тази на плътния. Това определя голямата продължителност на процеса.

В настоящата работа се разглежда индукционен нагревател за азотиране в твърдо състояние на трудно топими метали, фиг. 1. Технологичният процес се осъществява при температура 1150-1250 °C и газово налягане 1.0 -1.5 MPa. Материалът 1 се поставя в специални съдове 2 от термически устойчива стомана. Топлообмяната 3 е извършена от шамотни тухли и фасонни съставки. Индукторът 4 и магнитният екран 5 са закрепени към вътрешен кожух 6, който е поставен в херметичен съд 7.

Правилният избор на работна честота за нагревател от разглеждания тип е от съществено значение.

Предимство на повишената честота е малкият обем на компенсиращите кондензатори и по-малката площ, необходима за разполагане на оборудването. Като недостатък може да се отбележи това, че енергията се отделя само във външните стени на съдовете и топлопредаването става предимно в радиално направление.

При използване на промишлена честота се увеличава електромагнитна дълбочина на проникване в материала на съдовете. Голяма част от енергията се отделя в дъната и се увеличава топлопредаването в осово направление. Това води до намаляване на времето за нагриване и изравняване на температурата, тъй като височината на съдовете е много по-малка от радиуса им.

Целта на настоящата работа е да се направи количествена оценка на времената за нагриване и изравняване на температурата в нагревател за твърдо азотиране при повишена и промишлена честота. Геометрията на изследвания нагревател позволява това да стане чрез двумерен числен анализ на електромагнитните и топлинните процеси по метода с крайни елементи.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИНДУКЦИОНЕН НАГРЕВАТЕЛ ЗА АЗОТИРАНЕ

За решаване на поставената задача е достатъчно да се изследва областта, ограничена от равнините Γ_1 и Γ_2 , фиг. 1.

Прието е, че обработваният материал е хром, като коефициентът на запълване на раздробения материал е 0,5.

Съдовете са изготвени от стомана 4X18H25C2.

Зависимостите на физическите свойства на материалите за съдовете и топлоизолацията от температурата са взети от [1].

Топлоемкостта и плътността на раздробения материал са определени по данни от [2] с отчитане на коефициента на запълване.

Топлопроводността на раздробения материал не може да се изчисли и е определена въз основа на публикувани експериментални данни. В [3] е изследвана топлопроводността на раздробен графит в атмосфери от аргон, азот и хелий при налягане до 10 МПа и температури до 320 °С. Установено е, че наляганя до 5 МПа не оказват влияние върху топлопроводността. В [4] са изследвани различни комбинации твърд материал - газ. Интерес представляват данните за топлопроводността на раздробен силиций с едрина 1-2 mm във въздушна атмосфера, тъй като въздухът и азотът имат практически еднакви толофизически свойства. Сравнението на резултатите, представени в двете публикации показва, че при температура 320 °С топлопроводността на раздробеният графит в атмосфера от азот и налягане 4,92 МПа е равна на тази на раздробен силиций във въздушна среда при налягане 0,1 МПа. Вижда се, че топлопроводността зависи главно от свойствата на газа и в много малка степен от тези на основния материал. Това дава основание при изчисленията да се използва получената в [4] експериментална

зависимост на топлопроводността λ от температурата t за раздробен силиций във въздушна атмосфера, която може да се представи аналитично като

$$\lambda = 0,324 + 0,001178t, \quad \frac{W}{m \cdot \text{deg}}$$

Процесът на нагряване в нагревател от разглеждания тип може да се раздели на три етапа:

- работа при максимална мощност докато външните стени на съдовете достигнат работната температура;

- поддържане температурата на външните стени на съдовете равна на работната до изравняване с температурата по оста. За изравняване се счита температурна разлика не по-голяма от 50 °С;

- поддържане температурата на обработвания материал равна на работната до постигане необходимата степен на азотиране.

Продължителността на последния етап се определя от технологията и не зависи от избраната работна честота. Ето защо в настоящето изследване се разглеждат само първите два периода.

За определение продължителността на първия период се използват алгоритъм и компютърна програма за двумерен числен анализ на електромагнитните и топлинни процеси в индукционни нагреватели при зададен график на изменение на мощността [5]. Продължителността на втория период се определя посредством алгоритъм и програма за двумерен числен анализ при зададен график на изменение на температурата в избрана контролна точка [6].

Изчисленията са извършени при следните изходни данни:

- работна температура - 1200 °С;

- външен диаметър на съдовете - 0,85 m;

- височина на съдовете - 0,13 m;

- дебелина на стената и гъното на съдовете - 0,02 m;

- общ брой на съдовете - 10;

- вътрешен диаметър на индуктора 1,1 m;

- максимална мощност на печта - 250 kW, съответно максимална мощност в областта на интегриране, фиг. 1 - 12,5 kW;

- работни честоти - 50 Hz и 2500 Hz.

На фиг. 2 са представени резултатите от моделирането. С t_1 е означена температурата на външните стени, а с t_2 - температурата по оста. Сумарното време на първия и втория етапи при повишена честота е 18 часа, а при промишлена честота - 12,6 часа. Вижда се, че ефектът от използването на промишлена честота е съществен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

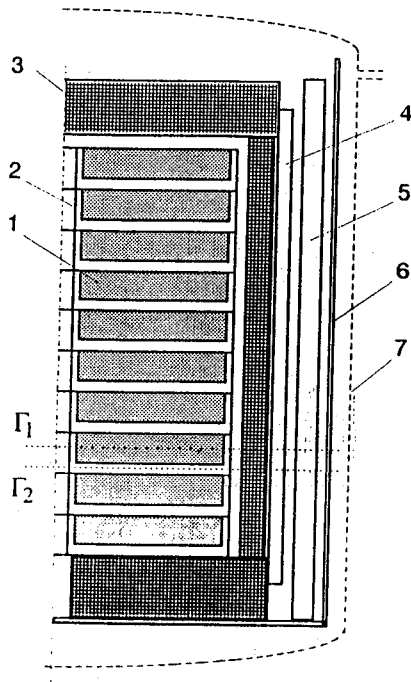
При числен анализ на електромагнитните и топлинните процеси в индукционни нагреватели, предназначени за обработка на материали в надробено състояние основна трудност е определянето на коефициента на топлопроводност на нагрявания материал. Може да

се препоръча използването на експериментални данни за решаване на тази задача.

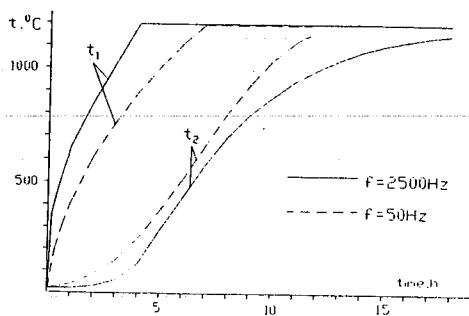
Наличието на плътни стоманени детайли, които секционират нагрявания обем ускорява процеса на нагряване и изравняване на температурата. Ефектът от използването на такива детайли се повишава когато съществена част от електромагнитната енергия се отдели непосредствено в тях. Това може да се постигне както чрез подходящи конструктивни решения, така и чрез рационален избор на работната честота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свенчанский, А. Электрические промышленные печи. М., "Энергия", 1975.
2. Kreith, F., W. Black. Basic Heat Transfer. Harper and Row, New York, 1980.
3. Мальтер, В., В. Морозов, А. Пушкин, О. Костенко. Расчет конвективного теплопереноса в футеровках печей с использованием коэффициента газопроницаемости. "Электротехническая промышленность", серия "Электротермия", вып. 7(143), 1974.
4. Костенко, О. Расчет эффективной теплопроводности насыпных материалов. "Электротехническая промышленность", серия "Электротермия", вып. 1(209), 1980.
5. Димитров М., П. Минчев, Н. Семерджиев, А. Петров. Числен анализ на електромагнитните и топлинните процеси в индукционен нагревател за дифузионно заваряване. Техническа мисъл, No 1, 1997.
6. Димитров М., П. Минчев, Н. Семерджиев. Изследване на електромагнитните и топлинните процеси в индукционен нагревател за дифузионно заваряване с програмно регулиране на температурата. Техническа мисъл, No 2, 1997.



Фиг. 1



Фиг. 2