SAT-9.2-1-HT-08

# Calculation of chamber electric resistance furnace for sintering powder metallurgy materials

Krastin Yordanov

# Изчисляване на камерна електросъпротивителна пещ за спичане на прахово металургични материали

Кръстин Йорданов

***Calculation of chamber electric resistance furnace for sintering powder metallurgy materials:*** *The sequence design methodologies in electric resistance furnace may be conditionally divided into two parts - thermal and electrical. Practical calculations are performed independently of one another, with the introduction of certain compromises and simplifications. The unification of the two parts is carried out using a mathematical model of transient heat transfer with Autodesk Simulation CFD 2017, which verifies the correctness of the task.*

***Key words:*** *Calculating, CFD software, chamber furnace, Joule Heating, temperature, time.*

## ВЪВЕДЕНИЕ

Разработените методи при проектирането на процесите в електросъпротивителни пещи се отнася основно до оценка на нагряването на обработваните детайли, но не могат да покажат развитието на процеса. В съвременните условия при наличието на по-съвършени системи за регулиране и управление, както и на материали със специфични изисквания се налага допълване на проектирането с числени резултати при протичане на цялостния процес на нагряване – изменение на температурите в електросъпротивителна пещ, големина и разпределение на загубите. Съвременното ниво на изчислителната техника предоставя по-големи възможности за предварително оценяване на качествата и преходните процеси в тях – получаване на резултати непосредствено след проектирането [3].

Принципно са възможни два подхода при решаване на задачата:

- използване на готови програмни продукти с универсално предназначение, в което се задават параметрите на обекта;
- разработване на математични модели и използване на изчислителни процедури за конкретни приложения.

В настоящата статия е разгледан първия подход за проектиране на електросъпротивителна пещ.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

### 1. Разработване на методика за изчисляване на камерна електросъпротивителна пещ за спичане на праховометалургични материали

#### *1.1. Цел на методиката*

Целта е създаване на методика за изчисляване на камерна електросъпротивителна пещ за спичане на праховометалургични материали, която да е опростена и относително вярна с получените от нея резултати сравнени с такива, получени при използване на програмен продукт с универсално предназначение – Autodesk Simulation CFD 2017.

#### *1.2. Обект на изследване*

Обект на изследване се явява камерна електросъпротивителна пещ за нагряване в режим на празен ход, която ще послужи за спичане на детайли с различни размери за бъдещи изследвания на праховометалургични материали и други за термообработка.

### *1.3. Входни параметри и формули за изчисляване*

От литературни източници [1,2,3] предварително е събрана информация за изчисляването и проектирането на камерни пещи, като са разгледани изчислителната част за нуждите на поставената цел. Представената методика по – долу е представена по начин, колкото да реши задачата.

Изчисляване времето за разгряване на камерна електросъпротивителна пещ на празен ход:

1. Размери на работното пространство - L – дълбочина, m; B – ширина, m; H – височина, m.

2. Температури на пещта

Работна температура на пещта- $t_{рп}$, $^oC$; повърхностна температура на нагревателите- $t_{пн}$, $^oC$; повърхностна температура на стена – вътре- $t_{СтВт}$, $^oC$; повърхностна температура на стена – отвън- $t_{СтВн}$, $^oC$; температура на околната среда- $t_{ос}$, $^oC$; температура между първите два слоя от вътре навън- $t_м$, $^oC$; коефициент на топлоотдаване – отвън- $\alpha_{вн}$, W/(m².K).

3. Пресмятане топлинни съпротивления отвътре навън и температурите между слоевете.

Избор на изолационни материали за пещта - дебелина на изолационните материали- $\delta_i$, m; коефициент на топлопроводност за материалите- $\lambda_i$, W/(m.K); плътност на материалите- $\rho_i$, kg/m$^3$;

Изчисляване на околната повърхност на материалите, както следва:

$$S_i = 2.\big((2\delta_i + B).(2\delta_i + H) + (2\delta_i + B).(2\delta_i + L) + (2\delta_i + H).(2\delta_i + L)\big), m^2 \quad (1)$$

- Изчисляване на топлинните съпротивления:

$$R_i = \delta_i/\big(\lambda_i.\sqrt{S_i.S_o}\big), K/W, \quad (2)$$

където: $S_o$ - пълна вътрешна повърхност на работното пространство, m².

- Изчисляване на сумарно съпротивление:

$$R_T = \sum R_i\ , K/W \quad (3)$$

- Определяне на температурите между слоевете:

$$t_i = t_{СтВт} - (P_{пх}.R_i), ^oC \quad (4)$$

4. Пресмятане мощността на празен ход на пещта

- Изчисляване мощността на празен ход:

$$P_{пх} = (t_{СтВт} - t_{ос})/R_т\ , ^oC \quad (5)$$

- Изчисляване на мощността на празен ход със запас:

$$P_{пхз} = ((t_{СтВт} - t_{ос})/R_т).k_з, ^oC, \quad (6)$$

където: $k_з$ - коефициент на запас от неточности до 10%.

5. Пресмятане полезната мощност на пещта.

- Определяне на количеството материал в пещта:

$$G_п = V_п.(k_п/100).\rho_м, kg, \quad (7)$$

където: $V_п$ – обем на пещното пространство, m³; $k_п$ - коефициент на запълване на пещта, %; $\rho_м$- плътност на материала в пещта, kg/m³.

- Изчисляване на полезната мощност:

$$P_{пол} = (G_п/(\tau_п.3600)).Cp.\big(t_{рп} - t_{ос}\big), W, \quad (8)$$

където:

$Cp$ - специфичен топлинен капацитет на материала в пещта, J/(kg.K); $\tau_п$ - време за задържане на материала в пещта, h.

6. Пресмятане пълната мощност на пещта:

$$P_п = k_з.(P_{пкз} + P_{пол}), W \quad (9)$$

7. Пресмятане дължината на електросъпротивителния проводник на пещта.

- Изчисляване съпротивлението на проводника за един линеен метър:

$$R_l = \rho_c/((\pi.d^2)/4), \Omega/m, \quad (10)$$

където: $d$ - диаметър на проводника, mm; $\rho_c$ -специфично електрическо съпротивление на материала на нагревателя, Ω.mm²/m.

- Изчисляване на тока през електросъпротивителния проводник:

$$I = P_п/U, A, \quad (11)$$

където:
$U$ – напрежение, V;

- -Изчисляване дължина на проводника:

$$l = U/I.R_l, m \quad (12)$$

8. Продължителност на разгряване на камерната пещ на празен ход.

- Акумулирано количество топлина в конструктивните части:

$$Q_{акум} = (V_И.\rho_{iИ}.Cp_И.t_И) + (V_B.\rho_{iB}.Cp_B.t_B) + (V_o.\rho_{iст}.Cp_o.t_o), J, \quad (13)$$

където: $Cp_И$ - специфичен топлинен капацитет на изолацията, J/(kg.K); $Cp_B$ - специфичен топлинен капацитет на ватата, J/(kg.K); $Cp_o$ - специфичен топлинен капацитет на обшивката (ламарина), J/(kg.K); $t_И$ - средна температура на изолацията, °C; $t_B$ - средна температура на ватата; $t_o$ - средната температура на обшивката (ламарина); $V_И$ - обем на изолацията; $V_B$ - обем на ватата; $V_o$ - обема на обшивката (ламарина).

- -Изчисляване продължителността на разгряване на пещта:

$$t_{разг} = 1{,}25.(Q_{акум}/P_п), s \quad (14)$$

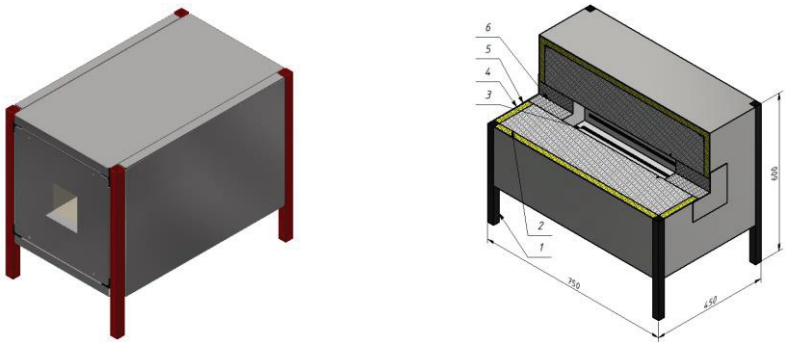
### *1.4. Входни данни и резултати от прилагане на методиката*

Входни данни за пресмятането са: работното пространство на пещта L x B x H – 400mmx100mmx100mm; температура на пещното пространство-1250°C; повърхностна температура отвън на пещта-60°C; температура на околната среда-20°C.

След използване на методиката от 1 до 14 се получават следните резултати: дебелина на изолационния слой-175mm; пълната мощност със запас $P_п$=2094W; ток I=9,5A; дължина на електросъпротивителния проводник l=12,520m; акумулирано количество топлина в конструктивните части $Q_{акум}$=4245kJ; време за разгряване на пещта $t_{разг}$=2536s≈42min.

### *1.5. Описание на конструкцията*

От получените резултати е изградена конструкцията на камерната пещ за спичане на праховометалургични материали, показана на фиг. 1 б).



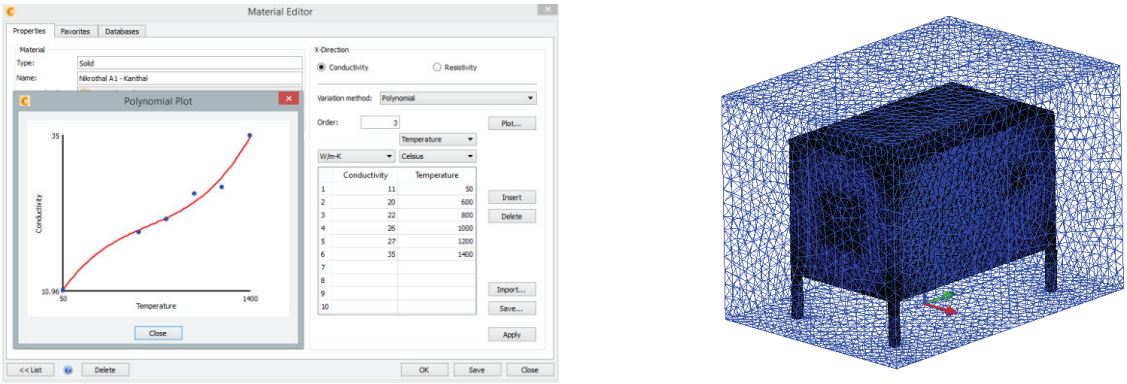

а) б)

***Фиг.1. Общ изглед на пещта***
***а) Изглед на пещта за конструктивна изработка;***
***б) Изглед на пещта подготвена за симулация***

Изградена е от вътре навън от 3 слоя влакнесто керамични плочи с дебелина $\delta = 50mm$ – поз. 1. Около слоевете са поставено панели от ламарина $\delta = 1mm$ – поз. 5, в които има одеяло от керамични влакна с $\delta = 25mm$ – поз. 4. Нагревателите (поз. 3) са свързани последователно с Ød=1mm. Цялата конструкция се поддържа от стоманена рамка от профили. Габаритни размери на пещта L,mm x B,mm x H,mm – 750x450x600. Сглобките са създадени с помощта на софтуерен продукт Autodesk Inventor Profesional 2017.

### *1.6. Компютърно симулационен модел на камерна пещ за спичане на праховометалургични материали*

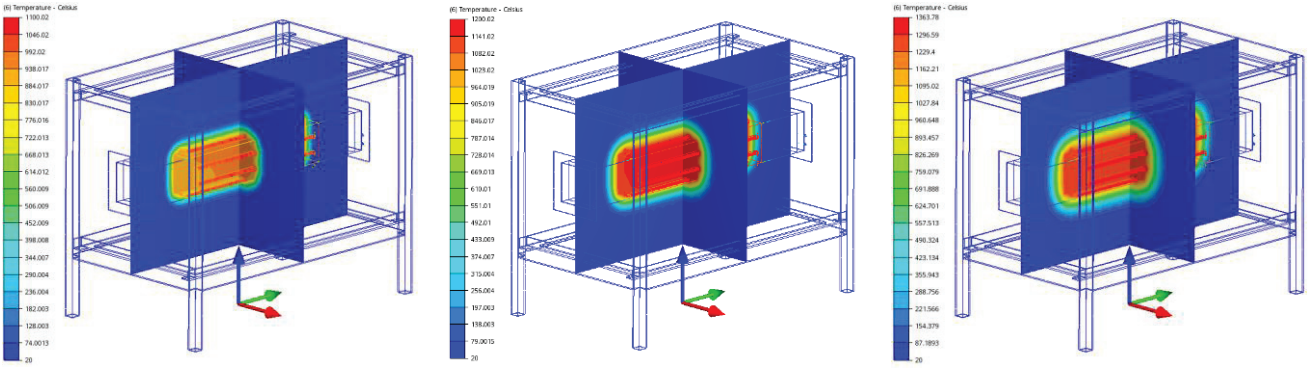
Сглобката от фиг. 1 б) е прехвърлена в софтуерен продукт с универсално предназначение Autodesk Simulation CFD 2017. Зададени са материалите във функция от температурата – фиг.2 а). Моделът е дискретизиран с тетраедърни елементи, от които: 820127 флуидни елемента и 928441 елемента от тип „SOLID“ – фиг.2 б). Времето, за което се извършва анализа е 2700s, т.к. по изчисление е 2536s.




а) б)

***Фиг.2: а) материал на електросъпротивителния проводник във функция от температурата с полином; б) дискретизиран модел на камерната пещ***

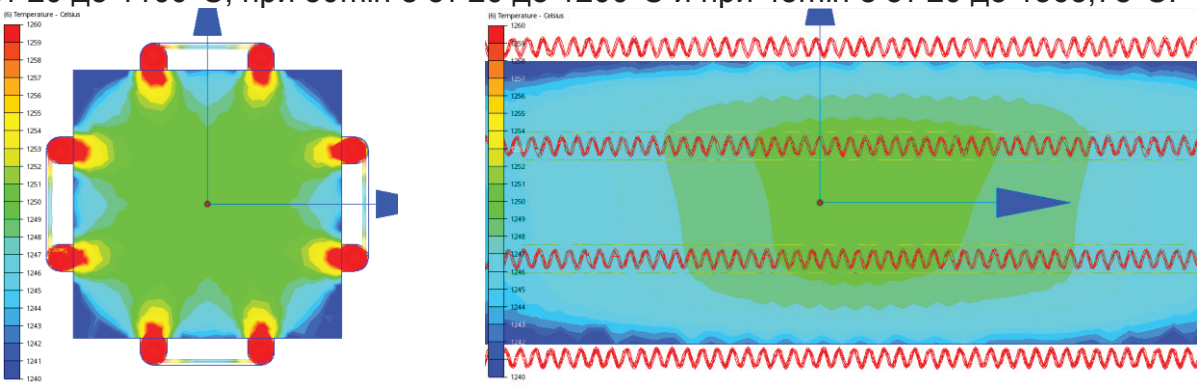
Изпълнението на симулацията се извършва в нестационарен режим в случая за процес на топлинно нагряване, известно още като съпротивително нагряване, чрез който преминаването на електрически ток през проводник освобождава топлина и е известно като първи закон на Джаул (закон на Джаул-Ленц).



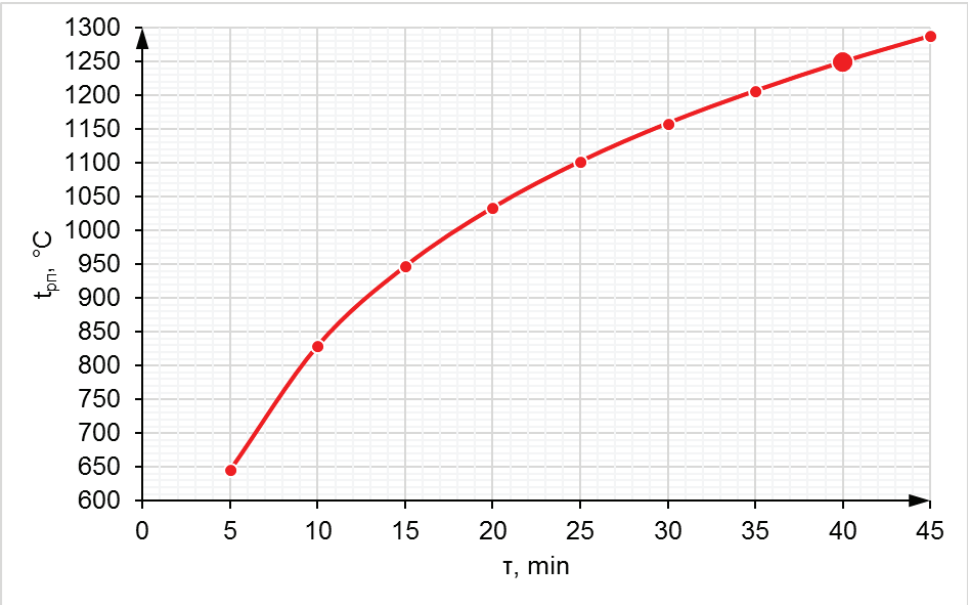
а) 15min б) 30min в) 45min

***Фиг.3. Разпределение на температурите във времето в камерната пещ***

На фиг.3 са представени резултатите от направения анализ на камерната пещ за спичане на преховометалургични материали с работна температура в пещното пространство $t_{рп}$=1250°C, нужни за извършване на технологичния процес. Цветната легенда в ляво на всеки резултат е в различен температурен интервал. При 15min е от 20 до 1100°C, при 30min е от 20 до 1200°C и при 45min е от 20 до 1363,78°C.



***Фиг.4. Разпределение на температурите в интервала от 1240 до 1260°C в 40min и точката на измерване в средата на пещта***




***Фиг.5. Времетемпературна крива в точката на измерване в средата на пещта***

На фиг.4 е представен резултатът при достигането на желаната температурата от 1250°C и нейното детайлно разпределение от нагревателите към центъра на пещното пространство. Точното време за достигане на работната температура

(фиг.5) е 2406s≈40min, а изчисленото време по методиката, представена по-горе е 2536s≈42min. Разликата от 130s е в границите на грешката, т.к. методиката използва осреднени температури, а софтуерният продукт интерполирани спрямо температурния интервал.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на проведените по-горе получените резултати от методиката и компютърно симулационен модел могат да бъдат направени следните изводи:

1. От поставената цел може да се каже, че условието при изчисляване по методиката и използването на универсален софтуерен продукт Autodesk Simulation CFD 2017 за флуиден и термичен анализ дават резултати с грешка до 5%. Следователно съвкупността от написаното по-горе може да се използва за изграждането на реална пещ за спичане на праховометалургични материали.
2. За управлението на процеса нагряване, термодвойката трябва да се постави в пространството, където температурата е 1250°C, което се онагледява от показаното на фиг.4. Това ще гарантира точността при контролирането на процеса и технологията за спичане на праховометалургични материали.
3. Посочената методика и съвкупното моделно решение със софтуерни продукти за термичен и флуиден анализ, улесняват значително процеса на проектиране и изпитване на електросъпротивителни пещи, като по този начин се създава възможност за подобряване разработването на такъв тип проекти.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Ковачев Г., Електротермия и електрозаварявена, Техника, София, 1965.
[2] Ковачев Г.,Прангов.Л, Електротермия, Техника, София, 1982.
[3] Тахрилов Х., Контров. С., Панайотов М., Електротермия Част II, БПС, Технически университет Варна, 2003.

**За контакти:**
инж. Кръстин Йорданов, Катедра “Топлотехника”, ТУ-Варна, тел.: 052-383 341, e-mail: krystinkr@gmail.com

Докладът е рецензиран.