

©Journal of the Technical University Sofia, branch Plovdiv
“Fundamental Sciences and Applications”, Vol. 14, 2009
International Conference Engineering, Technologies and Systems
TechSys '2009
BULGARIA

RECONSTRUCTION OF A HEATING DEVICE FOR BRIEF MATERIAL TESTING AT HIGH TEMPERATURE

NIKOLAY NIKOLOV, VESELIN TSONEV

Abstract. This article presents an analysis of the possibilities for increasing the existing heating device work temperature. The aim is to make possible the implement of brief experimental studies using the device at high temperatures (up to 1100°C). Numerical experiments with different configurations of the heating device are carried out and the taken decision allows achieving the desired work temperature.

Key words: furnace, material testing, numerical modeling, temperature field.

РЕКОНСТРУКЦИЯ НА НАГРЕВАТЕЛЕН МОДУЛ ЗА ИЗПИТВАНЕ НА МАТЕРИАЛИТЕ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННО НАТОВАРВАНЕ В УСЛОВИЯТА НА ВИСОКИ ТЕМПЕРАТУРИ

1. Въведение

Изследването на поведението на материалите при температури, надвишаващи 650°C, е свързано с преодоляването на значителни трудности. Те са свързани с надеждността на използваните средства и подържането на постоянни условия по време на изпитването. Задачата допълнително се усложнява при температури над 900°C [1]. При такива температури значително нарастват топлинните загуби и се затруднява осигуряването на хомогенно температурно поле в околност на изпитваното пробно тяло. Налага се да се използват материали с повишени огнеупорни и изолационни качества, което оскъпява конструкцията.

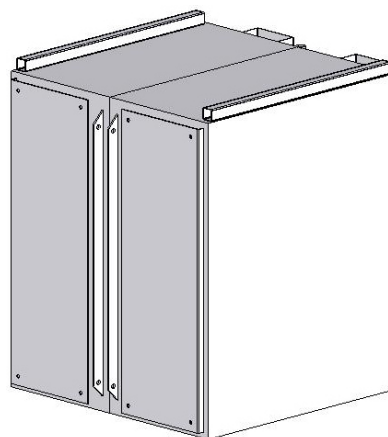
Апаратурата за изпитване поведението на материалите при високи температури е сложна, специфична и скъпо струваща. Затова, в някои случаи, вместо закупуването на готови специализирани устройства, е по-целесъобразно проектирането и изработването им да стане в рамките на изследователската лаборатория. При това могат да се използват редица налични компоненти и да се закупят само необходимите допълнителни елементи. В случая е целесъобразно да се повиши работната температура на съществуващ нагревателен модул, като се вземат следните мерки:

- подмяна на компоненти, които са непригодни за работа при по-високи температури - нагреватели, термодвойки и други;

- повишаване мощността на модула и подмяна на свързаните с това елементи – нагреватели, проводници, трансформатори и други;
- намаляване на топлинните загуби - в случая създаване на нова конструкция на захватите, които осигуряват връзката между пробното тяло и натоварващата уредба (фиг.1).



Фиг. 1. Стенд за кратковременно изпитване при високи температури



Фиг. 2. Нагревателен модул



Фиг. 3. Електрически нагревател

Численото моделиране на температурното поле в нагревателния модул значително подпомага процеса на реконструиране. Компютърната симулация позволява да се визуализира циркулацията на флуида в нагревателната камера и разпределението на температурата по отделните детайли на модула. Анализът на тези визуализации дава възможност да се открият слабите места в конструкцията и да се направи оценка на предприетите мерки за нейното подобряване.

2. Особенности на нагревателния модул

Общият вид на съществуващия нагревателен модул е показан на фиг.2. Работното пространство на модула е 170x330x230mm. Теплоизолацията е от алуминоокисна огнеупорна вата ($Al_2O_3 - SiO_2$ - използва се до 1300°C). От външната страна има метална обшивка от стоманени листи с дебелина 2 mm. Нагревателната система се състои от две секции, разположени една над друга. Всяка секция има по осем нагревателя, с обща активната мощност от 800 W. Нагревателите са спираловидни (фиг.3), с диаметър на телта 2 mm, разположени в специални канали на лявата и дясната стена на модула. Те са изработени от константан, с работна температура до 500°C. Всяка секция се управлява от отделна термодвойка, отделен трансформатор и терморегулатор.

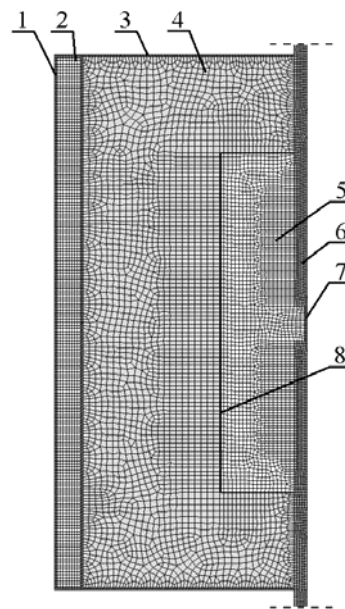
Решено е да се запази изолацията и обшивката на модула, и да се добавят следните нови компоненти:

- Термодвойки тип К (NiCrNi, с работна температура до 1100 °C) - 2 броя;
- Програмируеми електронни терморегулатори с LED-дисплей - 2 броя;
- Нагреватели, изработени от фехрал (сплав от желязо с 12÷30% хром и 2,5÷6,0% алуминий). Работната им температура е 1150÷1350°C;
- Активна мощност на нагревателната система 3000 W;
- Номинално захранващо напрежение на нагревателите – 17 V.

3. Числено моделиране на температурното поле в нагревателния модул

Температурното поле представлява съвкупността от стойностите на температурата във всяка точка на разглежданото пространство. Пренасянето на топлина в пространството е сложен процес, който в най-общия случай се дължи на топлопроводност (кондукция), топлопредаване (конвекция) и излъчване (радиация) [2]. При добро познаване на свойствата на материалите, от които е изработен нагревателния модул, всички тези топлинни процеси могат да бъдат успешно моделирани.

Численото моделиране на температурното поле е осъществено с помощта на ANSYS – универсален софтуерен продукт за инженерни анализи по метод на крайните елементи [3]. Използван е двумерен модел, чиято мрежа от крайни елементи е показана на фиг.4. Тъй като нагревателния модул е симетричен спрямо оста на захватите и образца, изчисленията са направени само за едната половина. Моделът освен вата (4), обшивка (3), работно пространство (5), захвати (6) и образец (7), съдържа странични капаци (1), добавени в крайния вариант на конструкцията, и въздушна междина между капациите и обшивката (2).



Фиг. 4. Мрежа от крайни елементи

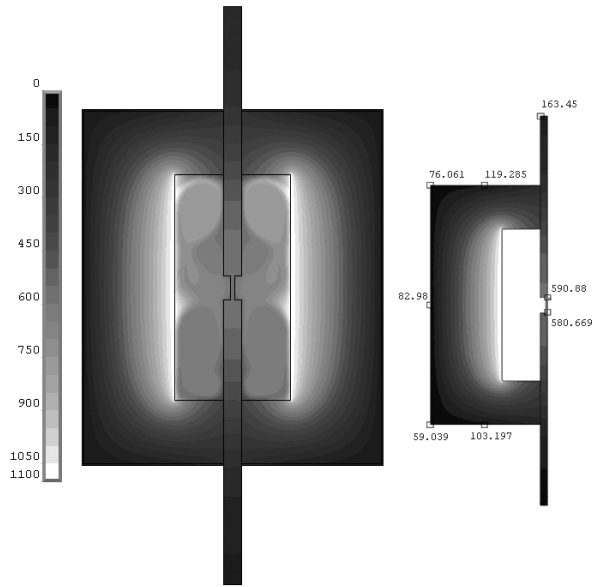
Създаденият модел съдържа два вида крайни елементи – флуидни и термични, както и четири вида материали: стомана 3, от която са изработени обшивката и капациите; огнеупорна стомана, от която са изработени захватите и изпитвания образец; изолационен материал (огнеупорна вата); въздух – в обема и под страничните капаци.

Флуидните крайни елементи, позволяват едновременно пресмятане на температура, налягане и скорост във възлите. Така се получава информация не само за температурата във възлите на мрежата, но и за движението на газа, който има различна плътност и маса в различно нагнетите зони.

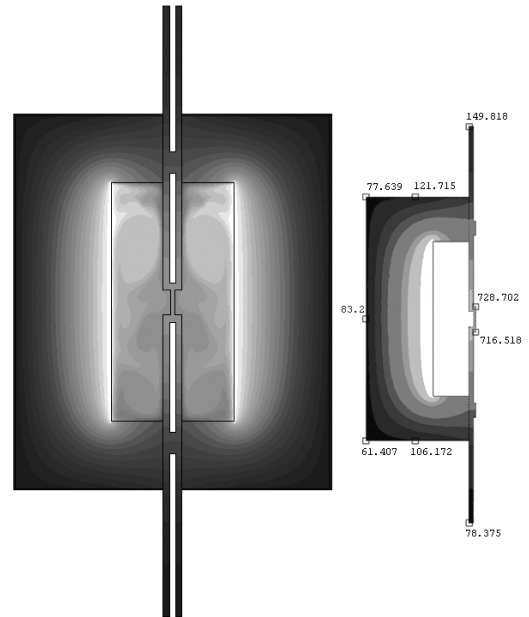
В модела са заложили следните начални и гранични условия, съобразени с особеностите на променената конструкция:

- свойства на материалите – плътност, специфична топлина, топлопроводност, вискозитет (за въздуха);
- нулева скорост на въздуха при стените;
- температура на нагревателите 1200°C (позиция 8 на фиг.4). Обикновено работната температура на нагревателите е с 50÷100°C по-висока от температурата на модула;
- топлинен поток към повърхностите в работното пространство, който включва компонентите кондукция, конвекция и радиация;
- коефициенти на топлопредаване от външните повърхности към околната среда. Те са съобразени с ориентацията на повърхностите в пространството [4].

На фиг.5 е показан резултатът от симулацията при използване на плътни захвати. Температурата на въздуха в областта на опитния образец е около 600°C. Температурата на образца е около 580°C, а в горния край на захвата - 163°C. Ниската температура в центъра на работното пространство и високата температура в краищата на захватите се дължи на голямото топлоотвеждане през масивните захвати. Вижда се, че за постигане на по-висока температура на опитния образец е необходимо да се използват по-малко масивни захвати. Подходящо за случая е тръбното напречно сечение.



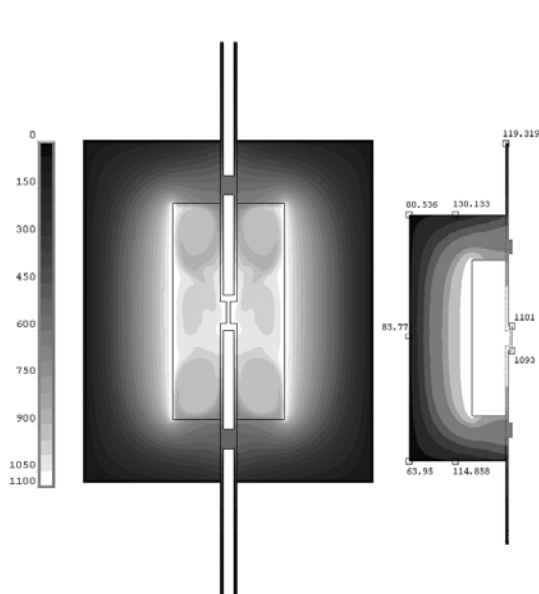
Фиг. 5. Температурно поле при използване на плътни захвати



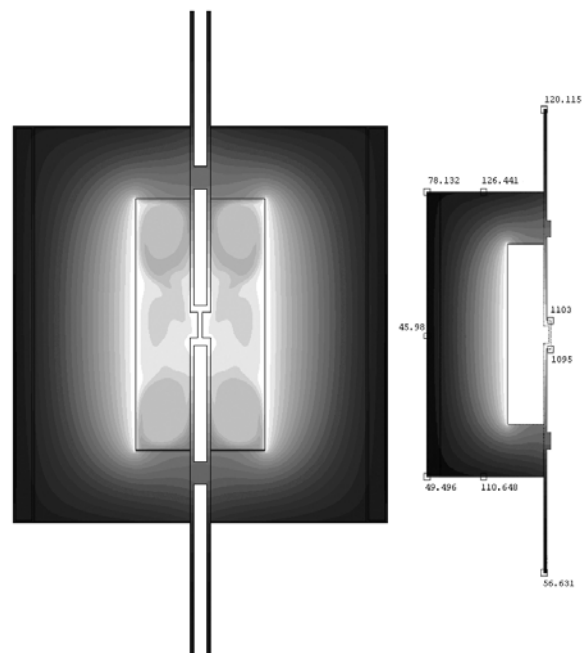
Фиг. 6. Температурно поле при използване на тръбни захвати

На фиг.6 е показан резултатът от симулацията при използване на дебелостенни тръбни захвати. Температурата на въздуха в областта на опитния образец е около 720°C – със 140°C повече, отколкото при предишното решение. Ефектът от използването на тръбно напречно сечение на захватите е значителен. Желателно е допълнително да се оптимизират напречните му размери, така че да имат минимални стойности от якостна гледна точка.

На фиг.7 е показан резултатът от симулацията при използване на тънкостенни захвати. Температурата на въздуха в областта на опитния образец е около 1100°C – с 380°C повече, отколкото при използване на дебелостенни захвати.



Фиг. 7. Температурно поле при използване на тънкостенни захвати



Фиг. 8. Температурно поле при използване на странични капаци

От фиг.7 се вижда, че температурата по външната повърхност на лявата стена на нагревателния модул е около 84°C. Електрическите съпротивителни пещи с работни температури до 1000–1100°C трябва да се проектират така, че температурата по външните им повърхности да не бъде по-висока от 40–60°C. Ето защо е взето решение да се използват капаци за страничните стени под които да има въздушна междина.

На фиг.8 е показан резултатът от симулацията при използване на тънкостенни захвати и наличие на странични капаци. От фигурата се вижда, че температурата по повърхността на лявата стена пада до 46°C. Температурното поле в работното пространство е задоволително хомогенно (градиент в зоната на опитния образец от порядъка на 10°C). Съществена неравномерност възниква само в близост до горната и долната стена на пещта.

4. Изводи

1. За намаляване на топлинните загуби и постигане на желаната работна температура в работното пространство е необходимо да се използват тънкостенни захвати с тръбно напречно сечение.

2. Увеличението на работната температура води до нарастване на температурата по външните стени на модула над допустимите граници. Този проблем се решава успешно с добавяне на стоманени капаци.

3. Създаденият двумерен модел е удобен за добиване на ориентировъчна представа за температурно поле в работното пространство на нагревателния модул и разпределението на температурата в основните детайли от нейната конструкция. Тази информация може да се използва успешно в началните етапи от проектиране на нови или при реконструкция на съществуващи пещи. В описания модел обаче има сериозни геометрични, енергетични и материални опростявания. За получаване по-детайлни и прецизни резултати е желателно да се използва тримерна симулация.

5. Заключение

Въз основа на проведените числени експерименти е установено, че е възможно успешно да се реконструира съществуващ нагревателен модул, с цел повишаване на работната му температура до 1100°C. Реконструируваният модул ще бъде подходящ за изпитване на материалите при кратковременно натоварване в условията на високи температури.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pint B. A., R. W. Swindeman, L. K. More and P.F. Tortorelli. Materials Selection for High Temperature (750°-1000°C), Report Oak Ridge National Laboratory, 2001.
- [2] Сендов С., Топло- и масопренасяне. Техника, София, 1993.
- [3] ANSYS Realease 9.0 Docomentation, 2004
- [4] Левченко П. В., Расчеты печей и сушил силикатной промышленности, Высшая школа, Москва, 1968.

Department "Strength of Materials"
Technical University–Sofia
8 Kliment Ohridski St.
1000 Sofia, BULGARIA
E-mail: nyky@tu-sofia.bg