

СИСТЕМА ЗА ИЗПИТВАНЕ НА МАТЕРИАЛИТЕ ПРИ ПОВИШЕНИ ТЕМПЕРАТУРИ И ЦИКЛИЧНО НАТОВАРВАНЕ

Веселин ЦОНЕВ

Катедра „Съпротивление на материалите”,
Технически университет – София, България
tzonev@tu-sofia.bg

Николай НИКОЛОВ

Катедра „Съпротивление на материалите”,
Технически университет – София, България
nyky@tu-sofia.bg

Биляна ДИМОВА

Катедра „Съпротивление на материалите”,
Технически университет – София, България
bdimova@tu-sofia.bg

Никола КУЗМАНОВ

Катедра „Съпротивление на материалите”,
Технически университет – София, България
nkuzmanov@tu-sofia.bg

Анотация:

Представена е новосъздадена комплексна система за изпитване на материали, работещи при едновременно въздействие на повишени температури и променливо натоварване. Описани са отделните модули на системата – изпитателна машина, нагревателно устройство, захващащи елементи, възприематели за сила, температура и деформации, система за управление на изпитването.

Ключови думи: *изпитване на материалите, пълзене, умора, циклично натоварване.*

1. Въведение

Редица детайли и съоръжения в енергетиката, химическата промишленост, както и отделни елементи от буталните и газотурбинни двигатели са подложени на продължителна работа при високи температури и променливи натоварвания. Когато даден материал работи при такива условия, в него едновременно протичат процеси на пълзене и умора, с което ресурсът му значително намалява. Едно от предизвикателствата пред съвременното машиностроене е правилно да бъде определен или прогнозиран ресурсът на тези детайли, за да могат те да бъдат конструирани с необходимата надеждност при минимален разход на материал.

Инженерният подход за якостно-деформационен анализ на конструкции, работещи при едновременно въздействие на повишени температури и променливо натоварване се основава на стандартни механични тестове. Техниката за изпитване е сложна, специфична и скъпа. Закупуването на готови изпитателни машини е неизгодно. Опитът показва, че в повечето случаи е целесъобразно купуването на отделни компоненти и собствено разработване на останалите елементи и софтуерни продукти, според целите на изследването. Така научноизследователският екип има възможност да поддържа и усъвършенства техниката в хода на продължителната работа, наложена от естеството на изпитванията. Освен това, изследователите могат по-добре да оценят въздействието на

изпитателната техника върху експерименталните резултати, което е предпоставка за по-точното им тълкуване.

Цел на настоящата разработка е да се създаде система за механично изпитване при повишени температури и променливо натоварване, като се използват съществуващи модули и се проектират, изработят и добавят необходимите допълнителни устройства.

2. Проектиране на системата

За да се реализира механично изпитване при променливо натоварване и повишени температури, със следене и записване на всички съществени величини, са необходими следните елементи:

2.1. Сервохидравлична изпитателна машина за реализиране на променливото натоварване. В катедра „Съпротивление на материалите” при Технически университет-София е налична такава машина (Schenck), описана по-долу.

2.2. Нагревателно устройство (пещ) за реализиране на хомогенно температурно поле с повишени температури. Налична е подходяща пещ, с работна температура до 1100 °С. Необходимо е обаче да се разработи нова система за надеждно и правилно позициониране на пещта спрямо изпитателната система. Пещта и системата за нейното позициониране са описани по-долу.

2.3. Захващащи елементи (захвати) за пробните тела, подходящи за работа при високи

температури. Пещта разполага със захвати, които са неподходящи за работа с машината Schenck. Машината Schenck разполага със захвати, които са непригодни за работа при високи температури. Налага се изработването на нови захвати, което е описано по-долу.

2.4. Екстензометър за измерване на надлъжна деформация. Към машината Schenck е наличен такъв, но той не е пригоден за работа при високи температури. Наличен е екстензометър за високи температури, но той трябва да се пригоди за работа с новата система, което е показано по-долу.

2.5. Система за управление на новия изпитателен комплекс. Ще включва електронните блокове за управление на сервохидравличната машина и на нагревателното устройство, както и персонален компютър. Системата е описана по-долу.

3. Изпитателна машина

На фиг.1 е показан 3D модел на сервохидравличната изпитателна машина Schenck. Машината е произведена от фирмата Instron (Германия) и е предназначена за изпитване на материалите при променливо натоварване. Тя се състои от:

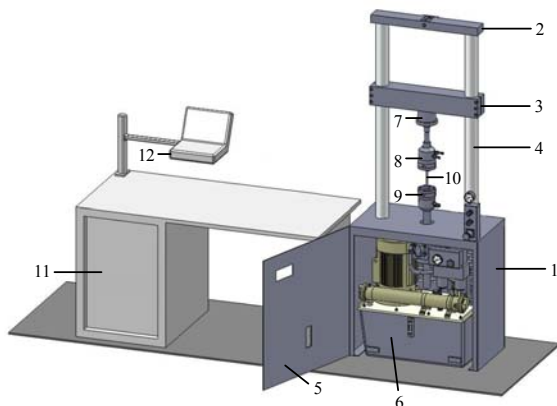
3.1. Корпус. Състои се от стойка 1, неподвижна траверса 2, подвижна траверса 3, две вертикални колони 4 и преден капак 5.

3.2. Хидравличен модул 6. Състои се от резервоар, помпа, електромотор, топлообменник, филтри, регулатор на налягане, сервовентил и др.

3.3. Силометр 7.

3.4. Хидравлични захвати – горен 8 и долен 9. Чрез тях се захваща пробното тяло 10. Горният захват е неподвижен, а долният е свързан с хидравличния модул и чрез него се осъществява натоварването на пробното тяло.

3.5. Електронен блок 11. Състои се от многоканален тензометричен усилвател, микропроцесорни контролери, интерфейсен адаптер и др. Параметрите на натоварване на пробното тяло се задават от клавиатура 12.

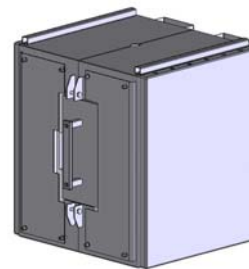


Фиг. 1. Изпитвателна машина Schenck. Основно предимство на машината е възмож-

ността да реализира натоварвания с амплитуди, изменящи се във времето. Възможно е управление по сила, по деформация или по преместване. Този тип изпитателни машини осигуряват надеждно центроване и захващане на пробното тяло, възможност за регулиране и поддържане на скоростта на преместване на подвижния захват в граници, определени от условията на изпитване. Машината създава в пробното тяло усилие или деформация, пропорционални на управляващия сигнал, т.е. системата за натоварване следи сигнала на зададената величина. Максималната сила на циклично натоварване е $F_{max} = 32 \text{ kN}$, а максимална честота на натоварване $f_{max} = 200 \text{ Hz}$. Машината отговаря на изискванията на стандарт EN 10002-2 [1].

4. Нагревателно устройство

Нагревателното устройство (пещ) представлява затворено топлоизолирано пространство, по стените на което са монтирани електрически нагреватели (фиг.2). Пещта има максимална работна температура 1100°C . По стените \square са разположени общо 16 електрически нагреватели, групирани по височината на пещта в две секции, всяка с активна мощност от 1500 W . За поддържане на работната температура в необходимите граници, всяка секция се управлява независимо от програмируем терморегулатор, който получава информация за температурата в работното пространство на съответната секция от специална термодвойка тип "К". Операторът има възможност да задава работната температура на изпитването, както и температурата на включване и изключване на нагревателите.



Фиг. 2. Нагревателно устройство.

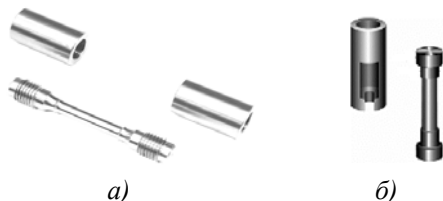
Работното пространство на пещта е с размери $170 \times 330 \times 230 \text{ mm}$. На задната стена има два цилиндрични отвора, през които преминават управляващите термодвойки. На горната и долната стена има по един цилиндричен отвор, през който преминават захващащите елементи. На предната стена има врата, която може да се отваря за поставяне и замяна на пробното тяло. До тази врата има правоъгълен отвор, през който преминават елементи от системата за измерване на деформации. Всички отвори на пещта се уплътняват с изолационна вата

за намаляване на топлинните загуби. Пещта отговаря на изискванията на стандарт EN 10291 [2].

5. Захващащи елементи

Захващащите елементи представляват детайли от високолегирана огнеупорна стомана, които осигуряват връзката между пробното тяло, разположено в средата на работното пространство на пещта и захватите на изпитателната машина.

Известни са два основни начина на захващане на пробното тяло – чрез резбово съединение (фиг.3а) и чрез захващане с глава, работеща на срязване при натоварване на опън (фиг.3б).



Фиг. 3. Захващащи елементи.

Първият начин на захващане е подходящ само за големи размери на пробното тяло, защото при температури от порядъка на 1000°C може да се получи заваряване на резбата. Недостатък на втората конструкция е, че е подходяща само за изпитвания само на опън.

Тъй като захватите на съществуващата машина не позволяват захващането на елементи с диаметър по-голям от 15 мм, е предпочетен вторият вариант. На фиг.4 е показано изработеното захващащо устройство.



Фиг. 4. Захващащо устройство.

Материалът от който са изработени захващащите елементи позволява максимална работна температура 1250°C при сравнително нисък коефициент на топлопроводност.

6. Количка

За да бъде вградена пещта в съществуващата машина, е проектирана и изработена специална количка – фиг.5. Тя представлява стойка на колела, която позволява лесно и точно позициониране на пещта в машината за изпитване.



Фиг. 5. Количка.

7. Екстензометър за надлъжна деформация

Екстензометрите за високи температури съществено се отличават от тези за изпитване при нормални температури. Техният еластичен елемент трябва да бъде изнесен извън зоната на висока температура. Контактът с пробното тяло се осъществява с пипала от материал, издържащ на високи температури. Това обикновено е алумина с висока чистота или алфа силикон-карбид.

На фиг.6 е показана снимка на наличния екстензометър на фирмата Epsilontech. Този екстензометър може да работи при температури до 1100°C и циклично натоварване с честота до 10 Hz. Той отговаря на изискванията на стандарт EN 10002-4 [3]. Друго негово предимство е, че е самозакрепващ се и не изисква допълнителна конструкция за закрепване към пещта. За да бъде използван в настоящия случай, беше необходимо единствено да бъде сменен крайникът на кабела, подаващ сигнал към електронния блок на машината Shenck.



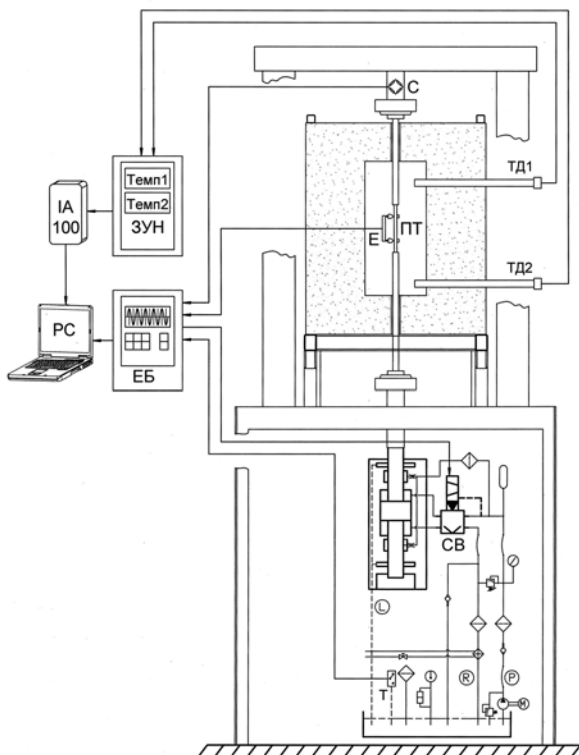
Model 3448-0050-020 with a 0.500" gage length and +20% strain range.

Фиг. 6. Самозакрепващ се екстензометър на фирмата Epsilontech.

8. Система за управление

Принципна схема на реализираното управление е показана на фиг.7. Захранването и управлението на нагряването са означени като един блок – ЗУН. Този блок отчита показанията на двете термодвойки в пещта (ТД1 и ТД2), и съответно управлява двете нагревателни секции за поддържане на зададената температура. Освен това, той визуализира отчетените температури чрез дисплеите на терморегулаторите и предава информацията към персонален компютър PC, посредством интерфейсен адаптер IA100. Информацията за стойностите на

температурите бива показвана и запомняна в персоналния компютър чрез специализирана програма, наречена „PolyMonitor“.



Фиг. 7. Принципно схема на реализираната система за управление.

Измервателните устройства за сила (С) и надлъжна деформация (Е) подават сигнал към електронния блок (ЕБ) на изпитателната машина. Този сигнал, заедно със зададените параметри на натоварване, се използват за управление на серво-вентила (СВ). Хидравличният модул на машината подава към ЕБ информация за температурата на маслото (Т). В ЕБ е вградена програма, която прекратява експеримента, ако температурата излезе извън зададените граници. Електронният блок разполага и със собствена памет, в която могат да се записват измерените стойности на сила и надлъжна деформация на пробното тяло (ПТ). Ако машината работи без връзка с компютър, данните се записват само в нея, като могат да се запазят до 1200 записа. Когато изпитването е с голяма продължителност или е необходимо данните да се записват с малка стъпка по време, ЕБ се свързва с компютър. В този случай данните се

предават към компютъра в реално време, където се обработват, визуализират и записват с помощта на специално създадена програма.

9. Заключение

Създадена е система за изпитване на материалите при повишени температури и циклично натоварване. Общият вид на системата е показан на фиг.8. Първоначалните тестове показаха, че системата може да бъде използвана за определянето на механичните характеристики на материалите при циклично натоварване на огън и работни температури до 1100°C.



Фиг. 8. Системата за изпитване на материалите при повишени температури и променливо натоварване.

Литература

- [1] EN 10002-2:1996, Metallic materials, Tensile test, Part 2: Verification of the force measuring system of the tensile testing machine.
- [2] EN 10291:2000, Metallic materials – Uniaxial creep testing in tension – Method of test.
- [3] EN 10002-4:1995, Metallic materials, Tensile test, Part 4: Verification of extensometers used in uniaxial testing.

SYSTEM FOR MATERIALS TESTING AT ELEVATED TEMPERATURES AND CYCLIC LOADING

V. Tsonev, N. Nikolov, B. Dimova, N. Kuzmanov