

Изпитвателна машина за експериментални изследвания в условията на високи температури

Веселин Цонев^{1*}, Борис Борисов¹, Иван Мухтаров² и Никола Кузманов¹

¹Технически университет – София, катедра „Съпротивление на материалите”

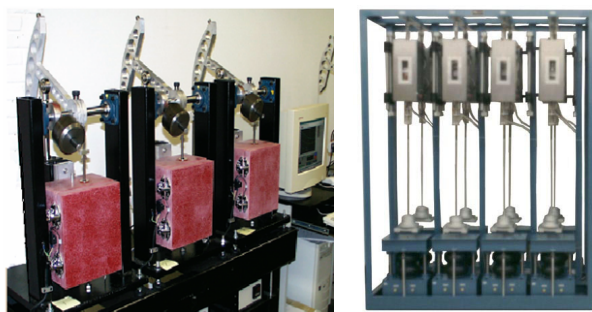
²Вистеон Електроникс България

Резюме. В статията е описана конструкцията на изпитвателна машина за изследване поведението на материалите в условията на високи температури. При проектирането и са използвани съвременни софтуерни продукти, позволяващи оптимизиране на конструкцията. С помощта на числени симулации и натрупан опит от предишни разработки е направен проект и е изработена изпитвателната машина. Установено е, че тя отговаря на заложените в проекта параметри.

1 Въведение

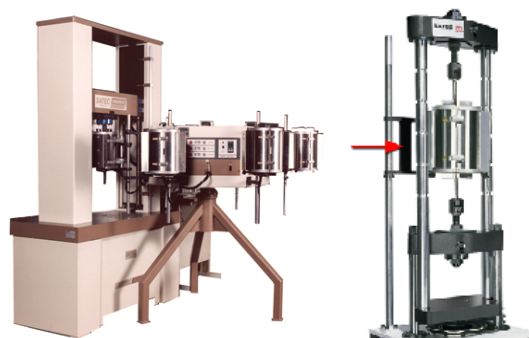
Изпитването на материалите на опън при повишени температури изисква специализирана апаратура включваща: машина за изпитване; устройства за измерване на деформации; нагревателно устройство и система за управление, регистриране и запис на измерваните величини. Специализирани фирми предлагат такава апаратура, но техните цени са високи, което ги прави недостъпни за малките и средни предприятия. Познаването на техните възможности обаче ще подпомогне опита за изграждане на изпитвателни системи на по-достъпна цена.

На Фиг. 1 са показани многопозиционни изпитвателни машини с директно натоварване чрез тежести. Когато, трябва да се поддържа постоянно напрежение се въвежда подвижна тежест, с която се коригира силата в зависимост от протеклите деформации. Директното натоварване осигурява проста схема на реализиране. Негови недостатъци са: ограничена стойност на прилаганата сила, което не позволява да се изпитват пробни тела с нормален диаметър от високо яки стомани; физическо натоварване на провеждащия експерименталните изследвания и др.



Фиг. 1. Изпитвателни системи с директно натоварване чрез тежести.

За провеждане на експерименти с поддържане на постоянна стойност на напрежението, в съвременните лаборатории се използват изпитвателни машини със сервоуправляеми натоварващи механизми, които позволяват чрез цифрово управление да се осигурява прецизно натоварване (Фиг. 2).



Фиг. 2. Изпитвателни системи със сервоуправляеми натоварващи механизми.

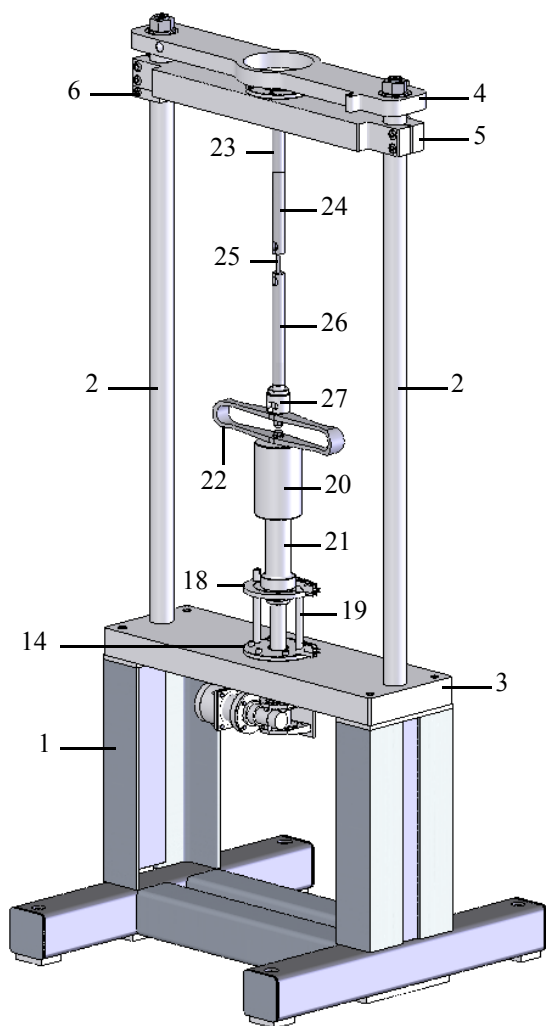
Изпитвателната машина трябва да бъде проверена и да има клас на точност поне 1 в съответствие със стандарт БДС EN ISO 7500-2 [1]. Машината трябва да бъде изолирана от външни вибрации и удари. Натоварването се прилага по оста на пробното тяло, така че да се получи минимално огъване или усукване на работната му част. Силата трябва да бъде приложена без удар. Машината трябва да бъде снабдена с устройство, което да минимизира удара при разрушаване на пробното тяло. Типът на машината се отбелязва в протокола на изпитването.

Поставя се задачата да се проектира и изработи изпитвателна машина, осигуряваща прецизно натоварване до 10 KN, която да се използва за експериментални изследвания в условията на високи температури.

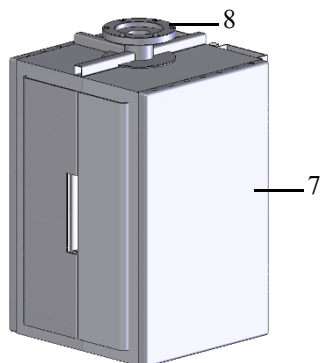
* Лице за кореспонденция: tzonev@tu-sofia.bg

2 Конструирание на изпитвателната машина

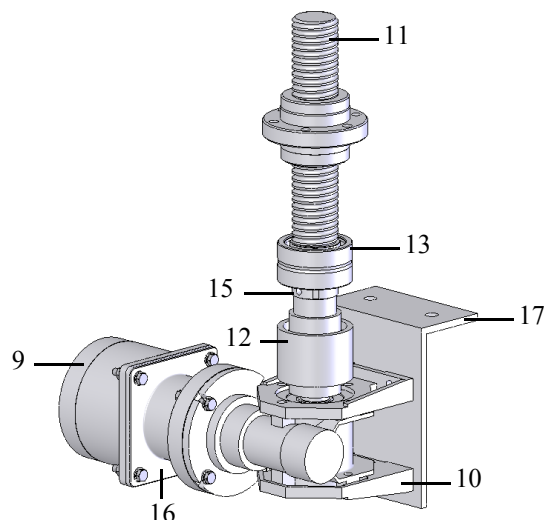
На базата на опита на катедра „Съпротивление на материалите“ към ТУ-София и данни от специализираната литература е избрана конструкцията, показана на Фиг. 3. На Фиг. 4 е показан нагревателният модул [2], който се вгражда в машината, а на Фиг. 5 е показан натоварващият модул на машината.



Фиг. 3. Изпитвателна машина.



Фиг. 4. Нагревателен модул.



Фиг. 5. Натоварващ модул.

За машината е характерно следното:

• Рамата на изпитвателната машина се състои от стойка 1, две колони 2 и три траверси 3,4,5. Стойката е от валцовани профили, свързани чрез заварени съединения. Нивелирането става с помощта на специални винтове, разположени в четирите опори. В горната част на стойката с помощта на винтове се присъединява метална плоча – долна траверса 3. Тя служи за захващане на водещите колони на изпитвателната машина. В горния край двете колони се свързват чрез стабилизираща плоча – горна траверса 4. Сглобяването на колоните и плочите става чрез пасващи повърхнини и винтови съединения. Върху колоните се плъзга специална плоча – средна траверса 5. В зависимост от дължината на изпитваното пробно тяло тя се позиционира в определено положение и се законтря с винтове и допълнителна скоба 6, осигуряваща неподвижност на връзката. Разстоянието между колоните е съобразено с габаритите на нагревателния модул 7, който се вгражда в изпитвателната машина с помощта на специален фланец 8, заварен от горната му страна. Този фланец с помощта на болтове се захваща към подвижната траверса. Рамата е изработена от стомана Ст. 45;

• Натоварващ модул – изграден е на база стъпков електродвигател 9, редуктор 10 и сачмено-винтова двойка 11. Избрана е сачмено-винтова двойка със стъпка 5 mm. Нейният ход е съобразен с очакваното линейно удължение на пробното тяло в резултат на повишаването на температурата и протичащите деформации от натоварването. За плавно и прецизно прилагане на силата от сачмено-винтовата двойка са избрани червячен редуктор с голямо предавателно отношение (50) и стъпков електродвигател с голям брой стъпки (200) за 1 оборот. Необходимият момент за задвижване на сачмено-винтовата двойка е пресметнат за максимално натоварване 10 KN. Стъпковият електродвигател и редукторът, както и редукторът и сачмено-винтовата двойка са свързани чрез зъбни съединители 12. Сачмено-винтовата двойка се върти в аксиално-радиален лагер 13, който посредством фланец 14 и лагерна капачка се монтира в

долната траверса. Осигуряването срещу приплъзване на вътрешната гривна на лагера се осъществява от специалната гайка 15. Конструктивно връзката между стъпковия електродвигател и редуктора се извършва посредством фланец 16, а редукторът се закрепва към долната траверса чрез специална Г-образна планка 17. Осигуряването на линейно движение на винта на сачмено-винтовата двойка се постига с помощта на диск 18, който се плъзга по два водача 19, захванати за долната траверса;

- Силомер 20, чийто електрически сигнал служи за обратна връзка с управлението на стъпковия двигател. Измервателното устройство за сила е изработено на принципа на преобразуване на механичната деформация в пропорционален електрически сигнал – пълномостова тензометрична схема. Връзката между натоварващия модул и силомера се осъществява с помощта на фланец 21, чиято дължина е съобразена с хода на винта на сачмено-винтовата двойка;

- Еластичен елемент 22 – въвежда се с цел да осигури безударно натоварване и да минимизира удара при разрушаване на пробното тяло. Връзката между него и силомера става с помощта на винтово съединение. Еластичният елемент е изработен от стомана Ст. 65 Г (ЗМ-810, ОМ-400);

- Захващащо устройство, състоящо се от горен захват 23, удължен с помощта на стебло 24, пробно тяло 25 и долен захват 26. Захватите и стеблото са изработени от топлоустойчива стомана с висока якост на опън. За да се осигури съосност на горния захват с отвора в средната траверса (към която той се захваща с помощта на гайка), е монтирано сферично носещо съединение. Връзката между захващащото устройство и еластичния елемент става с помощта на самонагаждащата се гайка 27 и сферичен болт.

При проектирането на изпитвателната машина е използван софтуерен продукт SOLID WORKS [3]. Чрез числени симулации на напреженията и деформациите са оптимизирани размерите на рамата и еластичният елемент на изпитвателната машина.

3 Якостно-деформационен анализ

Якостно-деформационният анализ на рамата и еластичния елемент на машината е направен по метода на крайните елементи с програмата COSMOSWORKS.

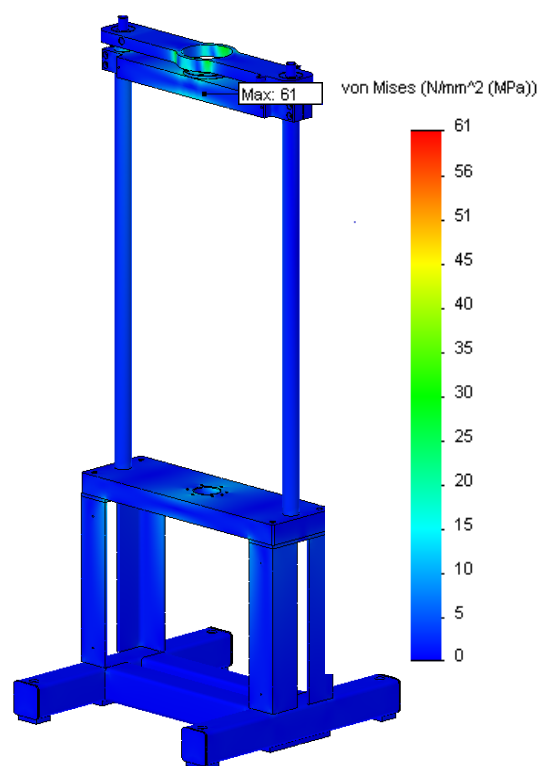
На Фиг. 6 е показана мрежата от крайни елементи и наложените гранични условия на рамата. Изчисленията са направени за осова сила 10 kN. Натоварването е в мястото на опорите на долната и средната траверса. Основата на рамата е фиксирана.

На Фиг. 7 са показани еквивалентните напрежения в рамата. Поради изискванията за по-голяма коравина на конструкцията, получените напрежения в колоните и траверсите са ниски.

На Фиг. 8 са показани преместванията по ос у (осово направление) в рамата на машината. Предимство на тази конструкция е, че деформирането при натоварване не измества пробното тяло странично по отношение на корпуса на нагревателния модул.

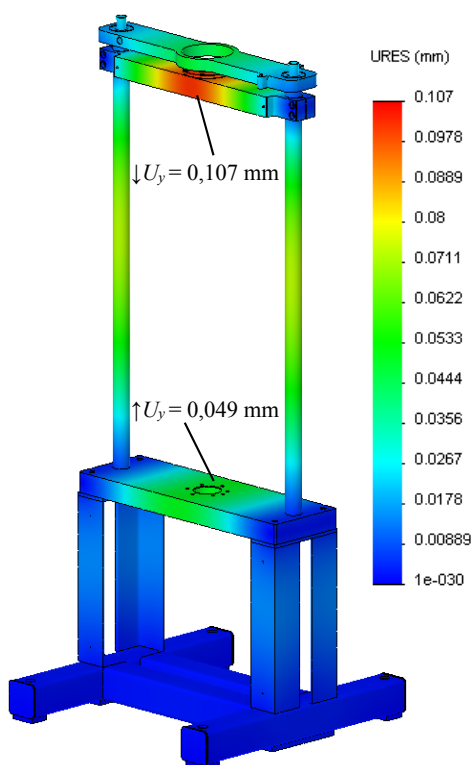


Фиг. 6. Мрежа и гранични условия.

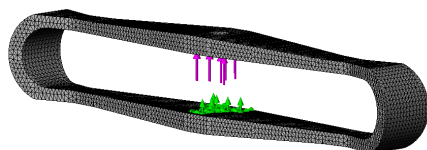


Фиг. 7. Еквивалентни напрежения.

На Фиг. 9 е показана мрежата от крайни елементи и наложените гранични условия за окончателния вариант на еластичния елемент. Изчисленията са направени за осова сила 10 kN. Натоварването е в мястото на захващане на еластичния елемент към долния захват на пробното тяло, а фиксирането му е в мястото на захващане към силомера на изпитвателната машина.

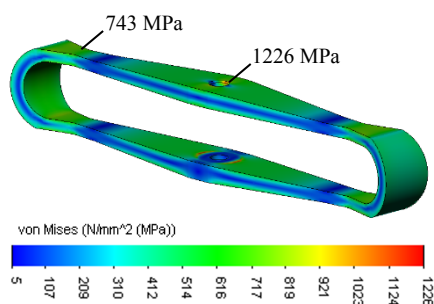


Фиг. 8. Премествания по осево направление.



Фиг. 9. Мрежа и гранични условия.

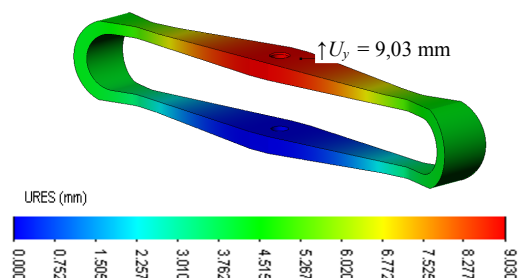
На Фиг. 10 са показани еквивалентните напрежения в еластичния елемент. Напреженията в зоната на захващане на еластичния елемент реално ще бъдат по-ниски поради вкоравяването от свързването със силомера от едната страна и със долния захват на пробното тяло от другата страна. Необичайно високите напрежения не могат да се избегнат, поради изискването за по-висока еластична константа. Благоприятно обстоятелство е, че еластичният елемент ще работи при статично натоварване.



Фиг. 10. Еквивалентни напрежения.

На Фиг. 11 е показана картина на преместванията по направление y (осово направление) в еластичния елемент. Максималното взаимно преместване на точките на захващане на еластичния елемент е

$U_y = 9,03 \text{ mm}$, което определя и еластичната константа $C \approx 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}$.



Фиг. 11. Премествания по осево направление.

4 Изработване на изпитвателната машина

След като с помощта на компютърни симулации са доуточнени формата и размерите на рамата и еластичния елемент на изпитвателната машина, тя е изработена.

На Фиг. 12 е показано захващащото устройство, а на Фиг. 13 е показана обща снимка на изпитвателната машина и вграденият в нея нагревателен модул. Виждат се стъпковият електродвигател, редукторът, сачмено-винтовата двойка, силомерът и еластичният елемент.



Фиг. 12. Снимка на изработеното захващащо устройство.



Фиг. 13. Снимка на изработената изпитвателна машина.

5 Заключение

Изработена е изпитвателна машина за изпитване на материалите в условията на високи температури. Тя е със сервоуправляем натоварващ механизъм, който позволява чрез цифрово управление да се осигурява прецизно натоварване. Първоначалните тестове показват, че изпитвателната машина отговаря на изискванията на стандарт БДС EN ISO 7500-2.

Авторите на статията благодарят на доц. Ленин Лазов и доц. Георги Стойчев за ценните съвети и оказаната помощ при проектирането и изработването на изпитвателната машина.

References

1. БДС EN ISO 7500-2, Метални материали. Проверка на машини за изпитване на статично едноосово натоварване. Част 2: Машини за изпитване на пълзене при опън. Проверка на прилаганото натоварване.
2. N. Nikolov, V. Tsonev, L. Lazov, V. Georgiev, Design of a heating device for long material testing at high temperature, *International Scientific Conference of the Faculty of Machine and Power Engineering*, Sozopol, 17 September 2009, 1, 187-192, (2009)
3. SOLID WORKS Documentation, (2016)

Testing machine for experimental investigation in high temperature conditions

Veselin Tsonev¹, Boris Borisov¹, Ivan Muhtarov², and Nikola Kuzmanov¹

¹Technical university - Sofia, „Strength of materials“ department

²Visteon Electronics Bulgaria

Abstract. In this paper is described the design of testing machine for experimental investigation in high temperature conditions. during its design state of the art CAD/CAM software was used witch allow its optimization. Using FEM and previous experience a project was mage and machine was build. It was determined that it met the conditions stipulated in the project.