

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА СПЛАВИ С ПАМЕТ НА ФОРМАТА ЧРЕЗ СПЕЦИАЛИЗИРАН СТЕНД

Тодор ТОДОРОВ¹ Румен НИКОЛОВ² Янко РАЛЕВ³

¹катедра „Теория на механизмите и машините”, Технически университет - София, България,
e-mail: tst@tu-sofia.bg

²катедра „Прецизна техника и уредостроене”, Технически университет - София, България
e-mail: mick@tu-sofia.bg

³катедра „Теория на механизмите и машините”, Технически университет - София, България
e-mail: yralev@tu-sofia.bg

Резюме: В статията е описано експериментално изследване на образец от сплав с памет на формата чрез специално проектиран за целта стенд. Дадено е кратко описание на стенда и са разяснени неговите възможности. Описани са видовете сензори, които се използват за измерване на характеристиките на сплавите с памет на формата. Поместени са кратки сведения за начина на обработване на данните. Направена е демонстрация на възможностите на стенда чрез изпитване на жица от нитинол. Получени са в реално време характеристиките на температурата, преместването, силата и електрическото напрежение. След изключване на времето са построени графиките на хистерезисните зависимости преместване – температура, сила - температура и сила-преместване. Получените резултати и описаната опитна постановка са полезни за научноизследователски разработки, при които се използват сплави с памет на формата.

Ключови думи: сплави с памет на формата, еднопосочен ефект с памет на формата, супереластичност, стенд

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Сплавите с памет на формата (СПФ) се причисляват към групата на функционалните материали [1]. Характерно за тях е, че могат да реагират по някакъв начин на определен вид въздействие като например електрическо, магнитно поле, светлина, киселинност на разтвор. Сплавите с памет на формата след деформация възстановяват първоначалната си форма при загряване. Аналогични свойства притежават полимери и текстил с памет на формата. Понеже при СПФ в процеса на реакция освен размерите се променя и електрическото съпротивление, са възможни приложения за актуатори и сензори. Това дава основание на някои автори да ги класифицират като умни материали, които не само, че са способни да реагират на определено въздействие, но и да изработят съответна реакция [2]. Групата на така наречените интелигентни материали надхвърля изискванията по отношение на свойствата, които СПФ може да предоставят, тъй като на тези материали се вменят свойства близки до завършено устройство с автономно захранване [3].

В техниката СПФ са известни с еднопосочен и двупосочен ефект на памет на формата, ефект на супер еластичност и висока вибрационна абсорбция. Еднопосочният ефект с памет на формата се

изразява в голяма деформация в мартензитно състояние, достигаща до 8% при сплавите от Ni и Ti и до 50% при VO₂ в последните проучвания [4]. Тази деформация се възстановява чрез загряване, при което сплавта преминава от мартензитно в аустенитно състояние. При изстиване кристалната решетка на сплавта преминава в двойникуван мартензит като първоначално зададената форма се запазва. Двупосочният ефект с памет на формата се постига след специално топлинно „трениране“ на сплавта, при което тя може да заеме две различни геометрични форми при последователно загряване. Този ефект е недълготраен, за разлика от еднопосочния, при който чрез правилен подбор на параметрите се постига повторимост от милиони цикли. Ефектът на супер еластичност се проявява при постоянна температура, при която сплавта е близо над финалната аустенитна фазова трансформация. Поради наклона на линиите в равнината температура-напрежение, при деформиране сплавта минава през аустенитната фаза и след това при по-високи напрежения навлиза в мартензитна фаза, където се получава ефект на омекване, и деформацията се увеличава, а силата е остава постоянна [5].

Въпреки че СПФ са обект на непрекъснати изследвания в продължение на повече от 55 години и вече е натрупано голямо количество информация, не винаги може да се намерят някои специфични данни като например модул на Young, коефициент на Poisson за дадена температура или фазово състояние.

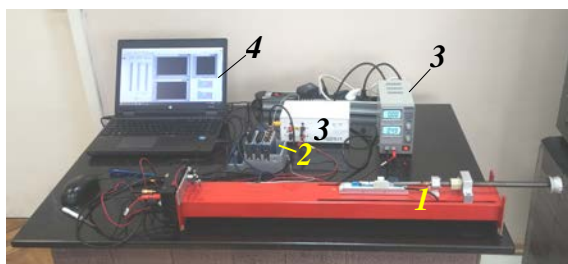
В настоящата статия авторите си поставят задачата да изследват влиянието на температурата върху механоелектричните свойства на жица от нитинол чрез специално проектиран и изработен за целта стенд. Така успоредно с определянето на свойствата на СПФ се цели на втори план да се разкрият и възможностите на ново-създадения стенд.

2. КРАТКО ОПИСАНИЕ НА ОПИТНАТА ПОСТАНОВКА

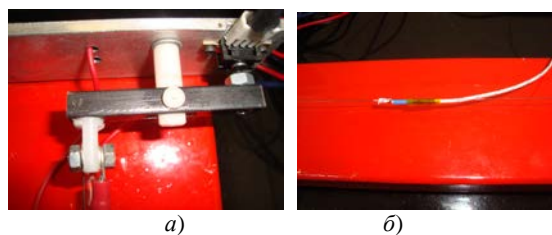
Подробно описание на създадения стенд за изследване на СПФ е направено в [6].

Общият вид на стенда е показан на фиг. 1. Основните модули, на които може да бъде разделен стендът са: измервателна система 1, система за събиране на данни 2, захранващи блокове 3 и лаптоп 4.

Измервателната система се състои от масивен корпус, върху който чрез ходов винт и съединител срещу усукване се задава опън на последователно свързани пружина и жица от СПФ. Единият край на жицата от СПФ е захванат чрез чувствителен елемент на безконтактен магнитен сензор за преместване към пружината, а другият край е закрепен към лост, чийто свободен край опира в силов сензор (фиг. 2а). Върху жицата от СПФ е закрепена подвижна термодвойка (фиг. 2б).



фиг. 1 Общ вид на стенда: 1. Измервателна система; 2. Система за събиране на данни; 3. Захранващи блокове; 4. Лаптоп.



фиг. 2 Сензори на стенда: а) лост и силов MEMC сензор тип FSG15N1A; б) термодвойка

Захранването на стенда се осъществява чрез три стабилизирани изправители и едно напрежение от USB порт на лаптопа.



фиг. 3 Магнитен безконтактен сензор за преместване тип АРО-075-001

Предвидени са входове за измерване на захранващото напрежение. За измерване на тока се използва специален сензор, базиран на ефекта на Hall. Захранването на жицата от СПФ е преведено да става програмно или ръчно чрез реле (фиг. 4). Системата за събиране на данни съдържа едно четири слотово шаси на National Instruments и три модула: два аналогови входа 8 канален ± 10 V, 4 канален ± 5 V и един модул специализиран за термодвойки.

Измерванията се управляват чрез програма на LabVIEW, която осигурява едновременно измерване на преместване, сила, температура, ток и напрежение с честота на дискретизация 1000 Sa/s. Данните от измерването се записват в програма на Excel.



Фиг. 4 Част от електрическият панел на стенда:
1. Сензор за измерване на ток ACS712;
2. Едноканално реле тип ISO9002.

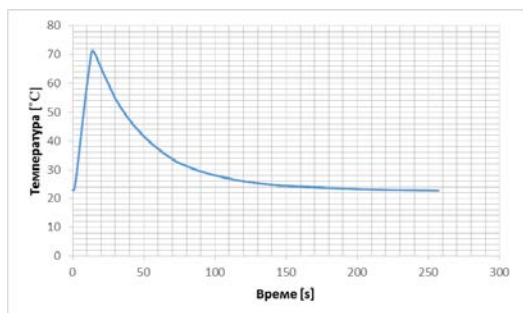
3. ИЗПИТВАНЕ НА ОБРАЗЕЦ ОТ СПФ

Проведено е изпитване на жица от СПФ – флексинол (търговско название на нитинол), производство на фирма *Dynalloy Inc* [7]. В каталога фирмата дава следните параметри: диаметър на жицата $d=0.38\text{ mm}$; съпротивление $\rho=8.3\ \Omega/\text{m}$; опънова сила $F=22,5\text{ N}$ за 172 MPa напрежение; приблизителен ток за свиване за 1 s $I=2.25\text{ A}$; време за охлаждане $t_c=10,5\text{ s}$; финална аустенитна температура $A_f=70^\circ\text{C}$. Избрана е недеформирана дължина на жицата $L=0.385\text{ m}$.

Чрез винтовия механизъм и позиционния сензор е зададена деформация на жицата $\Delta L=0.017\text{ m}$, което съответства на 4.4% относителна деформация. Чрез силовия сензор е отчетена начална сила $F=14\text{ N}$.

Напрежението е включено в продължение на 12 s , като захранващия блок се използва в режим на източник на ток с $I=2.25\text{ A}$. Получено е напрежение $U=6,28\text{ V}$.

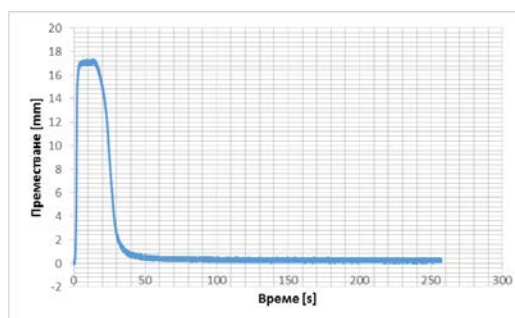
Част от графиките, записани в Excel файл са дадени на фигурите по-долу.



Фиг. 5 Температура на СПФ във функция на времето

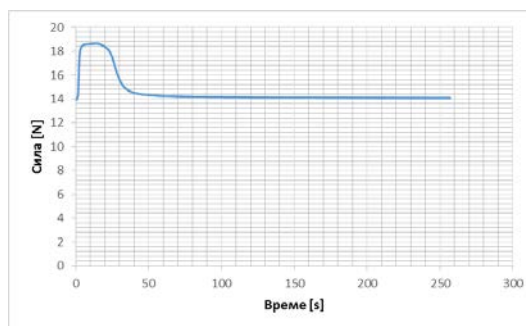
Изменението на температурата във функция на времето е показана на фиг. 5. За 17 s жицата достига финалната аустенитна температура и изстива за 240 s при температура на въздуха от 20°C .

На фиг. 6 е дадена графика на преместването на свързания с пружината край на жицата от СПФ във функция на времето. Прави впечатление, че целият ход се изминава в първите 3 секунди, но това опровергава каталожните данни за свиване в рамките на 1 s .



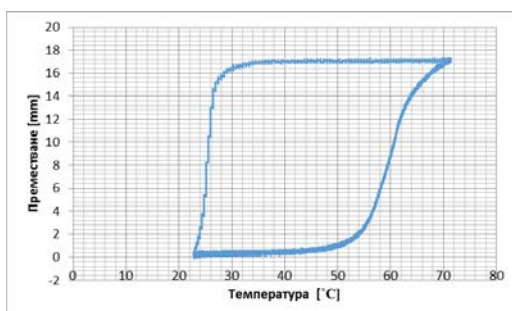
Фиг. 6 Преместване на свързания с пружината край на жицата от СПФ във функция на времето

Графиката на силата показана на фиг. 7 също се изменя стръмно в началото и достига максимум след 9 s .

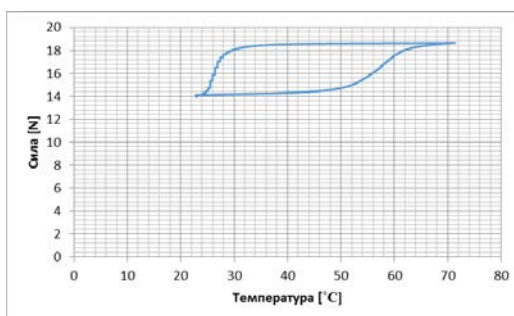


Фиг. 7 Сила във функция на времето

След изключване на времето от горните характеристики са получени хистерезисни зависимости. На фиг. 8 е показан хистерезиса между преместването и температурата, а на фиг. 9 между силата и температурата.

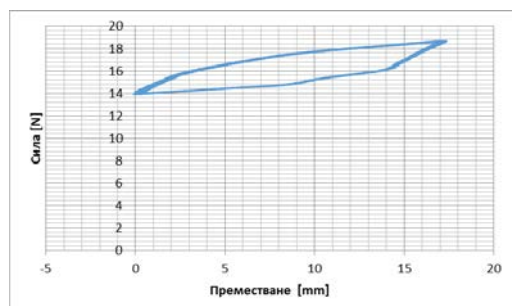


фиг. 8 Преместване във функция на температурата



фиг. 9 Хистерезис температура – сила

Механичният хистерезис, с помощта на които може да се определят загубите е показан на фиг. 10.



фиг. 9 Хистерезис температура – сила

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF SHAPE MEMORY ALLOYS BY SPECIALIZED EVALUATION SETUP

Todor TODOROV¹ Rumen NIKOLOV² Yanko RALEV³

¹Department of Theory of Mechanisms and Machines, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: tst@tu-sofia.bg

²Department of Precision Technique and Apparatus, Technical University-Sofia, Bulgaria

Създаден е напълно функционален стенд с възможности за измерване на механични и електрически параметри на сплави с памет на формата.

Чрез изпитване на образец от нитинол са доказани възможностите за едновременно изследване на няколко физични характеристики с достатъчно висока точност и честота на дискретизация.

Получените резултати може да бъдат полезни за определяне на специфични характеристики на СПФ, за създаване на модели и тяхното валидиране.

Създаденият стенд намира приложение за обучение на студенти и подпомагане на изследователската на докторанти и научни работници.

Първоначалните изводи по отношение на измерванията показват, че зададените каталожни данни не винаги съответстват на реалните.

Благодарности

Изследванията в настоящата публикация са финансирани по дог. No 152ПД00012-05 на НИС към ТУ-София.

Литература

1. Banerjee S., Tyagi A.K., Functional Materials: Preparation, Processing and Applications, Elsevier, 2016, p. 730.
2. Mel Schwartz, Smart Materials, Taylor&Francis Group, LLC, 2009.
3. Shahinpoor M., Intelligent Materials, RSC Publishing, 2007, 532 p. by Mohsen (Editor).
4. Liu K., Cheng C., Cheng Z, Wang K., Ramesh R. Wu J., Giant-Amplitude, High-Work Density Microactuators with Phase Transition Activated Nanolayer Bimorphs, Nano Letters, vol. 12, 2012, pp. 6302–6308.
5. Fernades F. M. B., Shape Memory Alloys – Processing, Characterization and Applications, InTech, 2013, p. 289.
6. Ралев Я., Тодоров Т., Стенд за изпитване на сплави с памет на формата, Българско списание за инженерно проектиране., бр. 27, 2015 стр. 5-10.
7. <http://www.dynalloy.com> посетена на 05.03. 2016.

e-mail: mic@tu-sofia.bg

³Department of Theory of Mechanisms and Machines, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: yrlev@tu-sofia.bg

Abstract: The paper deals with experimental investigation of a shape memory alloy by specially developed for this purpose evaluation setup. A brief description of the experimental setup properties is made. The all types of sensors which are used for measuring of the features of the shape memory alloys are explained. Some brief knowledge for the data acquisition system is disclosed. A demonstration of the evaluation setup capabilities is made by investigation of shape memory alloy wire of nitinol. The graphical relationships of temperature, displacement, force, and voltage vs. time are found. By eliminating the time the hysteresis graphs displacement – temperature, force – temperature, and force - displacement are worked out. The so obtained results should be useful for research concerning shape memory alloys.

Keywords: shape memory alloys, one way shape memory effect, supper elasticity, evaluation setup