

**ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА. МЕХАНИКА И ФИЗИКА**

УДК 539.47

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОНИЧЕСКИХ ПРУЖИН, ОБЛАДАЮЩИХ ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ**

*Абдрахманов Сарбагыш Абдрахманович - д.ф.-м.н., проф., КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, 720044, Кыргызстан, [abdrahmanov7@rambler.ru](mailto:abdrahmanov7@rambler.ru)*

*Кожошов Талантбек Тынымсеитович, - к.ф.-м.н., доцент, КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, 720044, Кыргызстан, [tkojoshov7@gmail.com](mailto:tkojoshov7@gmail.com)*

*Сатыбалдиев Темирболот Абдиевич, соискатель КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, 720044, Кыргызстан*

Экспериментально исследуется деформирование конических пружин растяжения в упругой области и за её пределом, а также определяются реактивные усилия, возникающие при термосиловом воздействии на них.

**Ключевые слова:** коническая пружина, осевое удлинение, кручение, изотермическое нагружение, память формы, реактивные усилия.

**FEATURES OF DEFORMATION OF CONICAL SPRINGS WITH SHAPE MEMORY EFFECT**

*Abdrachmanov Sarbagysh Abdrachmanovich - d.ph.m.s., prof., KS T Unamed by I. Razzakov, Bishkek, 720044, Kyrgyzstan, [abdrahmanov7@rambler.ru](mailto:abdrahmanov7@rambler.ru)*

*Kojoshov Talantbek Tynymseyitovich - c.ph.m.s., ass. prof., KS T Unamed by I. Razzakov, Bishkek, 720044, Kyrgyzstan, [tkojoshov7@gmail.com](mailto:tkojoshov7@gmail.com)*

*Satybaldiev Temibolot Abdievich, applicant, KS T Unamed by I. Razzakov, Bishkek, 720044, Kyrgyzstan*

Experimentally investigated the deformation of the conical tension spring in the elastic and elastic limit, and is determined by the recovery force arising from thermal and force effects.

**Keywords:** conic spring, axial lengthening, torsion, isothermal loading, shape memory, jet efforts.

В последние годы широкое практическое применение находят сплавы с нетрадиционными свойствами, например, проявляющие эффект памяти формы. Огромные перспективы открываются при проектировании и создании мартенситных двигателей различных конструкций. Многообразие всевозможных вариантов использования материалов с памятью формы в бытовой технике, медицине, энергетике, машиностроении, транспорте и др. даёт возможность говорить об актуальности проектирования, изготовления и исследования таких изделий [3, 4 и 5].

В лаборатории «Память металлов» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова были изготовлены конические пружины и проведены эксперименты на: деформирование образцов пружин в упругой области и за её пределом; определение реактивных усилий конических пружин в зависимости от остаточных удлинений при термосиловом воздействии на них; свободное формовосстановление при термосиловом воздействии; экспериментальное определение модуля упругости материала на примере деформирования конической пружины и т.д. [1, 2].

Для экспериментального исследования фасонных, а также цилиндрических пружин были сконструированы и изготовлены:

- универсальный стенд-приспособление с вертикальной установкой на растяжение, сжатие и кручение;

- образцы конических пружин с постоянным шагом.

Экспериментально исследована деформация конических пружин из сплава ТН-20 при растяжении и разгрузке за пределом фазовой текучести, а также определены реактивные усилия в зависимости от остаточных удлинений.

Рассмотрим процесс нагружения за упругую область деформирования конической пружины растяжения в мартенситном и в аустенитном состояниях со следующими

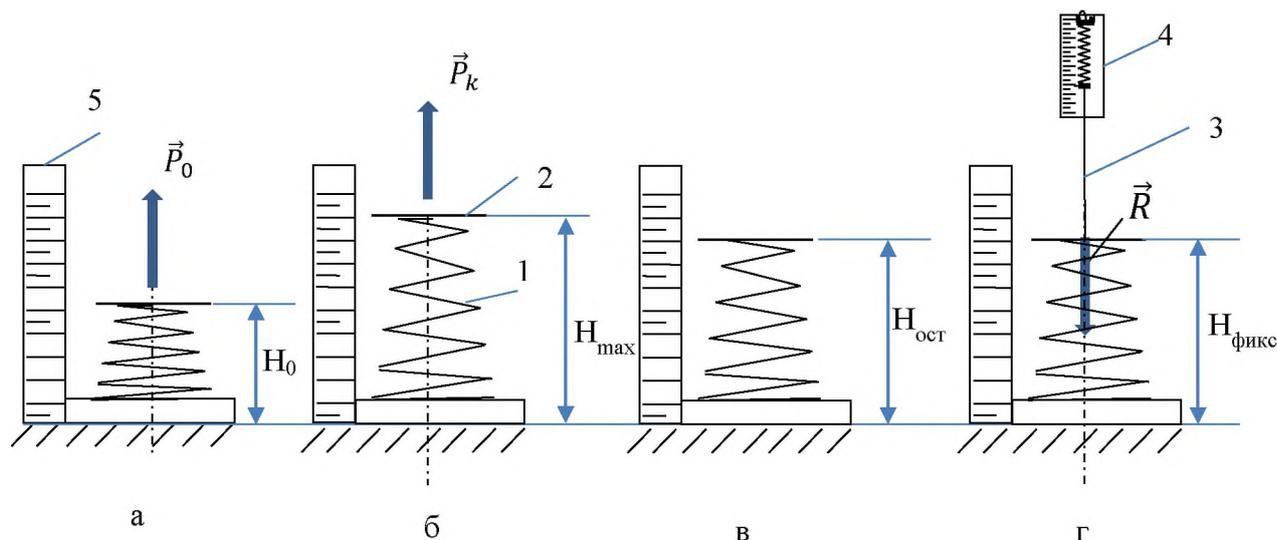


Рис. 1. Процесс деформирования пружины на растяжение (а, б), после разгрузки (в) и термосиловое воздействие на неё (г) (определение реактивного усилия).

Выносы: 1- испытываемая пружина на растяжение; 2- лимб для определения угловых перемещений пружины; 3-нерастяжимая нить; 4- динамометр; 5 - линейная шкала.

основными параметрами:

- наибольший радиус  $r_2=0,018$  м, наименьший радиус  $r_1=0,014$  м, диаметр прутка  $d=0,002$  м, число витков  $i=6$ .

Испытываемая пружина прикрепляется одним концом жестко, а к свободному концу пружины прикладывается нагрузка  $P$ , от величины  $P=0$  до нагрузки  $P_k$ , как показано на (рис.1, а и б). При этом с каждым шагом увеличения нагрузки  $P$  измеряются изменения длины и угол поворота свободного конца образца.

Определение реактивных усилий пружин осуществлялось следующим образом. После разгрузки деформированного образца за пределом его фазовой текучести в мартенситном состоянии остаётся остаточное удлинение (рис.1 в), наличие которого обуславливает величину реактивных усилий при термосиловом воздействии на неё. Свободный конец пружины фиксировался, и повышалась температура в печи, начиная от комнатной температуры до  $A_k$ . Образец, вспоминая свою первоначальную форму, старается сжаться, поэтому удерживали фиксированный размер, при этом снимали показания динамометра (реактивное усилие) и угла поворота свободного конца пружины на лимбе (рис. 1, г).

При проведении экспериментов фиксировались следующие значения:

- на динамометре 4- показание величины нагрузки,
- на лимбе 2- угол поворота (угловое перемещение) свободного конца пружины,

- по линейке 5-осадка (удлинение) пружины.

**Точность измерений:**

- цена делений динамометра 0,2 Н (20 грамм);
- осадка (удлинение) измерялась с точностью  $10^{-4}$  м.;
- угловое перемещение (угол поворота свободного конца пружин) 5 градусов;
- изменение температуры 5 °С.

По полученным данным построены графики (рис. 2 - 9).

Диаграмма деформирования конических пружин при растяжении показаны на рис.2 и рис.3. построены по экспериментальным данным: кривые 1 и 2 – нагрузка и разгрузка в мартенситном состоянии; кривые 3 и 4 – в аустенитном состоянии, соответственно, нагрузка и разгрузка; 5- максимальное реактивное усилие.

При растяжении образцов в аустенитном состоянии, свободный конец образца сперва вращается в сторону раскручивания витков пружины до 10 градусов, а затем, в сторону закручивания почти до 40 градусов (рис. 4). При разгрузке возвращается в пределах 10-градусов.

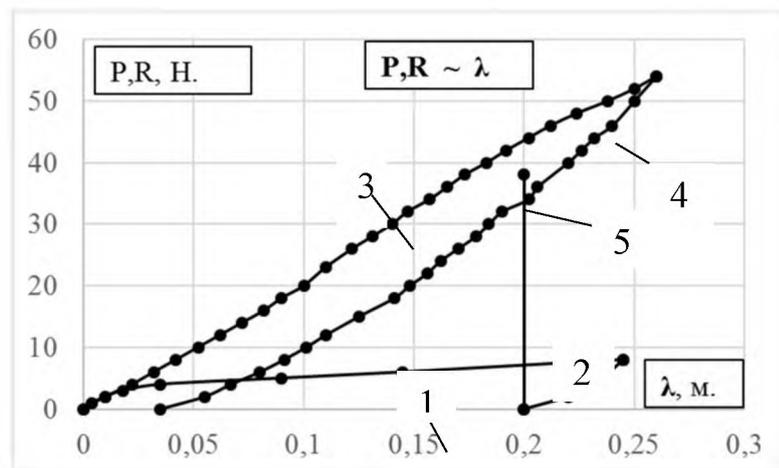


Рис. 2. Диаграмма  $P$  от  $\lambda$  в мартенситном и в аустенитном состояниях, максимальное реактивное усилие.

Выносы: кривые 1 и 2-нагрузка и разгрузка в мартенситном состоянии. Кривые 3 и 4 - нагрузка и разгрузка в аустенитном состоянии. 5- максимальное реактивное усилие.

Реактивные усилия возникающие в образцах при термосиловом воздействии в заневоленном состоянии показана на рис. 3. На даграмме видно что, один и тот же абразец, при аналогичном деформировании за предел фазовой текучести в мартенситном состоянии с одинаковыми остаточными удлинениями после разгрузки, при термосиловом воздействии реактивные усилия возрастают.

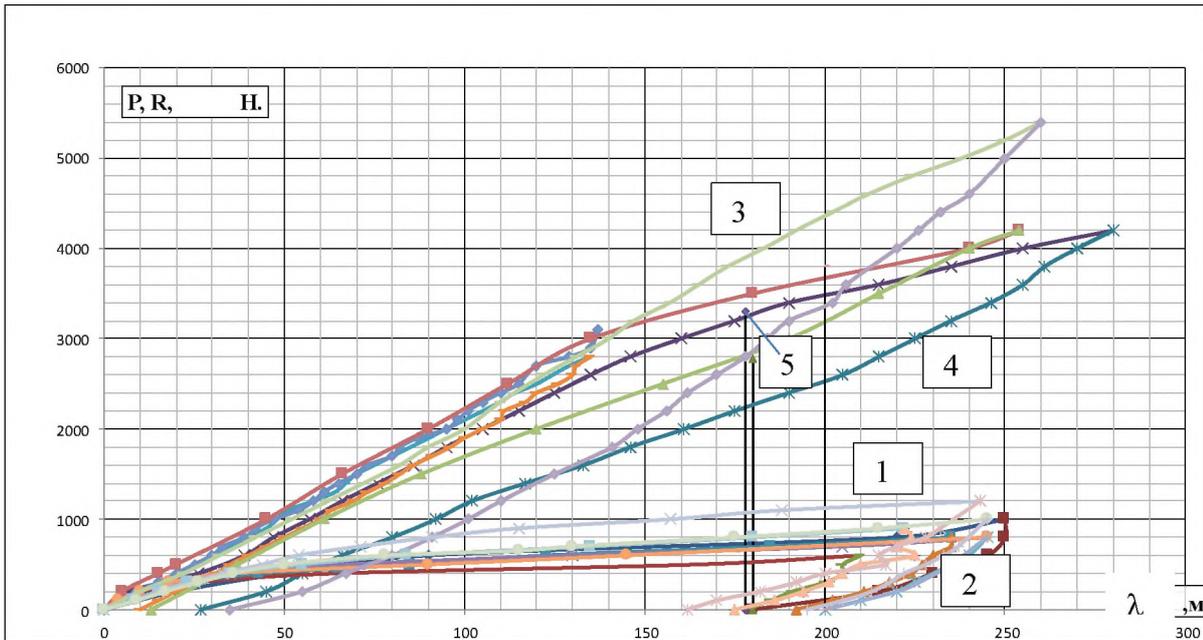


Рис. 3. Диаграмма  $P$  от  $\lambda$  в мартенситном и в аустенитном состояниях, максимальное реактивное усилие. Выносы: кривые 1 и 2 - активное и пассивное нагружение в мартенситном состоянии. Кривые 3 и 4 - активное и пассивное нагружение в аустенитном состоянии. 5- максимальное реактивное усилие.

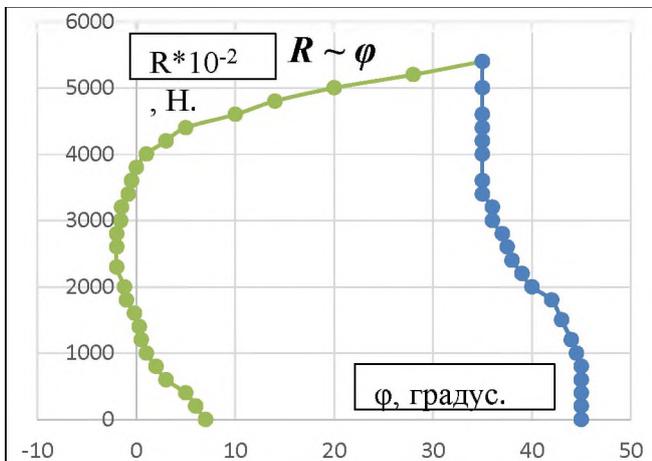


Рис. 4. Диаграмма  $R \sim \phi$ . Выносы: Кривая 1- при нагрузке. Кривая 2- при разгрузке.

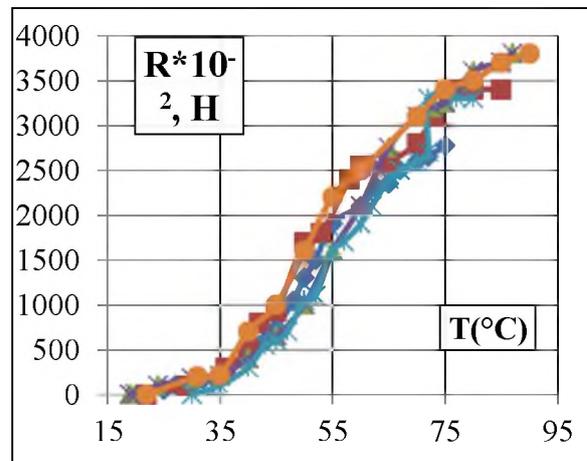


Рис. 5. Диаграмма  $R \sim T$ .

На рис. 6. показана диаграмма свободного формовосстановления продеформированных образцов в мартенситном состоянии за предел фазовой текучести.

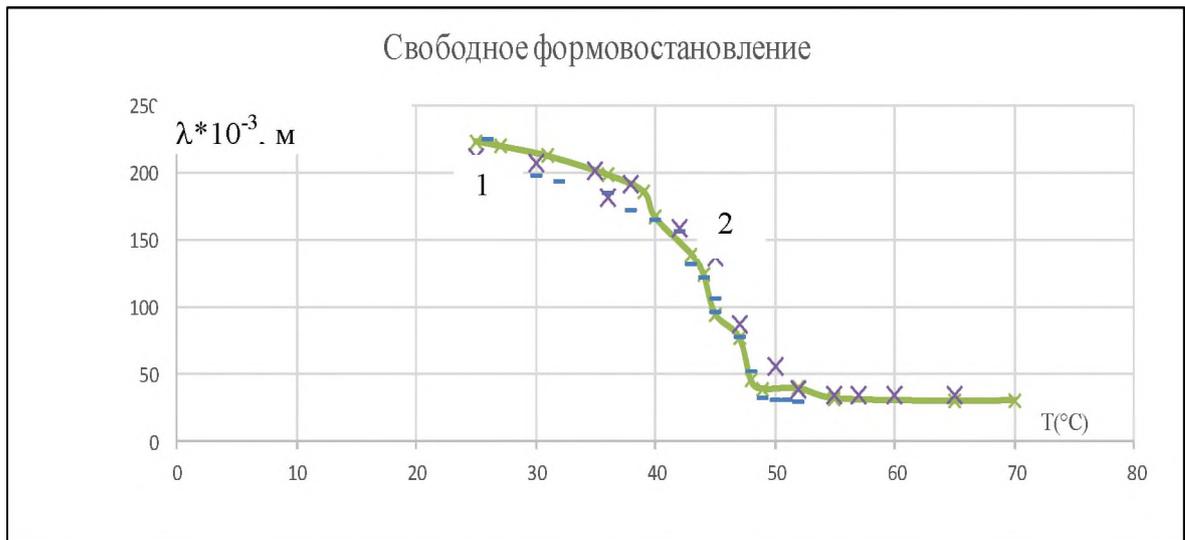


Рис. 6. Свободное формовосстановление.

Зависимость реактивных усилий от остаточных углов поворота свободного конца пружин при термосиловом воздействии показана рис. 7.

На рис. 8. показана зависимость угла поворота свободного конца продеформированного (кривая 1) и недеформированного (кривая 2) образцов от повышения температуры в свободном состоянии.

Осадка пружин от повышения температуры в свободном состоянии предварительно недеформированного (кривая-1) и деформированного (кривая-2) образцов показан на рис.9.

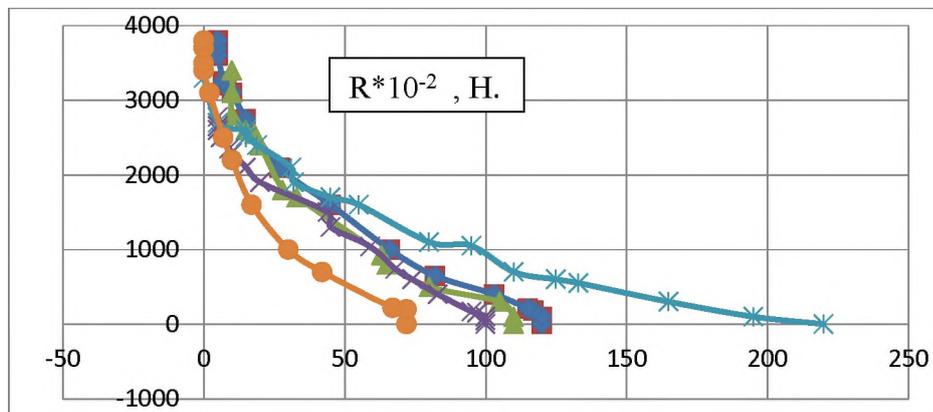


Рис.7. Диаграмма  $R \sim \varphi$ .

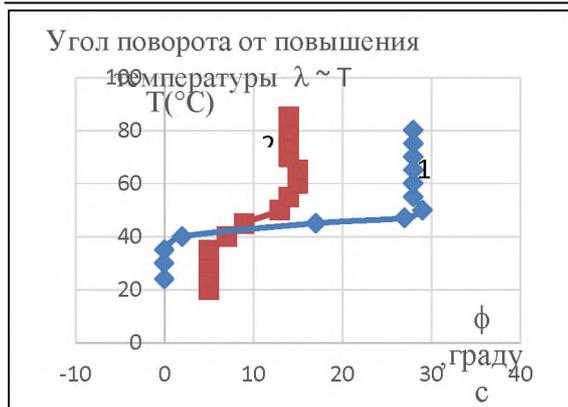


Рис.8. Угол поворота от повышения температуры. Выносы: Кривая 1- предварительно деформированный образец. Кривая 2- недеформированная.

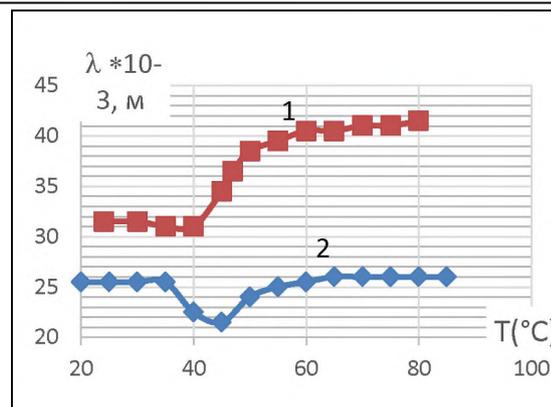


Рис.9. Диаграмма  $\lambda \sim T$ . Выносы: Кривая 1- предварительно деформированный образец. Кривая 2- недеформированная.

**Выводы.** Результаты эксперимента показали, что реактивные усилия в 2 – 6 раз и более превышают усилия, затраченные на деформирование образца в мартенситном состоянии. При термосиловом воздействии на образец в задеформированном состоянии, свободный конец образца вращается в сторону раскручивания витков пружины, а затем, в сторону закручивания. Замечено, что при циклировании эксперимента, характеристические температуры  $A_k$ , так и  $M_n$  возрастают. Пружины, деформированные в интервале температур  $M_n < T < A_n$  после охлаждения и последующего нагревания, удлиняются, а образцы, деформированные в аустенитном состоянии за пределы фазовой текучести и затем охлажденные, при нагреве сжимаются виток к витку.

### Список литературы

1. Абдрахманов С.А. Деформация материалов с памятью формы при термосиловом воздействии. Бишкек, Илим, 1991,-116с.
2. Курдюмов Г.В., Хандрос Л.Г. О термоупругом равновесии при мартенситных превращениях. //ДАН СССР, 1949, т. 66, № 2, с. 211 - 217.
3. Лихачёв В.А. и др. Эффект памяти формы. Из-во ЛГУ, 1987. – 216 с.
4. Материалы с эффектом памяти формы. Т.4 Справочное издание под общей ред. Лихачева В.А., Санкт-Петербург, 1998,- 268с.
5. Ооцука К., Симидзу К., Судзуки Ю. Сплавы с памяти формы. /Под ред. Фунакубо Х. /Пер. с японск. – М.: Металлургия. 1990. -224 с.