

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКТИВНЫХ УСИЛИЙ В  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИНАХ В ПРОЦЕССЕ ИХ  
ФОРМОВОССТАНОВЛЕНИЯ**

**АБДРАХМАНОВ С.А. А., КОЖОШОВ Т.Т., ДОТАЛИЕВА Ж.Ж.**

*КГТУ им. И Раззакова  
Тел. 0312545171, 0312545150*

[abdrahmanov7@rambler.ru](mailto:abdrahmanov7@rambler.ru), [talant71965@mail.ru](mailto:talant71965@mail.ru)

*В данной работе экспериментально определяются реактивные усилия для цилиндрических пружин, обладающих эффектом памяти формы*

Известно [1,2], что для проявления памяти формы и генерации реактивных усилий в материале с такими эффектами необходимо наличие в нем неупругих деформаций мартенситной природы, а также контртел, препятствующих свободному формовосстановлению в процессе обратного мартенситного превращения при нагреве. В данной работе приводится способ экспериментального определения реактивных усилий в образцах цилиндрических пружин растяжения, изготовленных из материала, обладающего эффектом памяти формы, в процессе их формовосстановления.

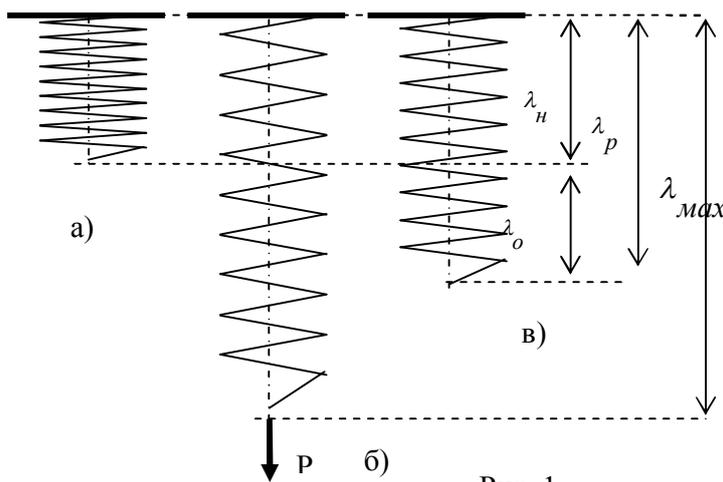


Рис. 1

На рис.1. обозначения  $\lambda_n$  – первоначальная длина пружины,  $\lambda_{max}$  – максимальная длина пружины после деформации,  $\lambda_n$  – длина пружины после разгрузки.

Рассмотрим процесс нагружения за упругую область и разгрузки пружины растяжения в мартенситном состоянии со следующими основными параметрами: пружины изготовлены из TiNi сплава с модулями упругости [3,4]  $E=8,5 \cdot 10^{10}$  Па,  $G=1,4 \cdot 10^{10}$  Па и с коэффициентом Пуассона  $\mu=0,35$ , первоначальный диаметр  $D_0=0,009$  м, диаметр прутка  $d=0,001$  м, число витков  $i_0=10$ , начальный угол подъёма  $\alpha_0=1,5$  градуса.

Испытываемая пружина прикрепляется одним концом жестко, а к свободному концу пружины прикладывается нагрузка  $P$  от величины  $P=0$  до

нагрузки  $P_k$ . С каждым шагом увеличения нагрузки измеряются изменения длины пружины, её диаметра и угла поворота свободного конца пружины. При этом результаты замеров записываются на магнитофон, а образец фотографируется цифровым фотоаппаратом.

После активной нагрузки пружины до  $P_k$  производится пассивная нагрузка (разгрузка) поэтапно до нуля. После каждого этапа уменьшения нагрузки измеряются длина, диаметр и угол поворота. Результаты записываются на магнитофон и образец фотографируется.

Такие эксперименты проводятся несколько раз с разными образцами, имеющими одинаковые параметры, но отличающимися конечными нагрузками  $P_k$ . Соответственно при этом имеющими различные остаточные удлинения. По полученным данным построены графики  $P \sim \Delta H$  (рис. 3, кривые – 1 и 2)

Пружина, подверженная испытанию, получившая неупругие деформации, растянутая до длины  $\lambda_{max}$ , после разгрузки будет иметь длину  $\lambda_n + \lambda_o$ , как показано на рис. 1в).

Наличие остаточных удлинений  $\lambda_o$  обуславливает генерацию реактивных усилий при термосиловом воздействии. Причем чем больше остаточное удлинение, тем больше будет генерироваться реактивное усилие.

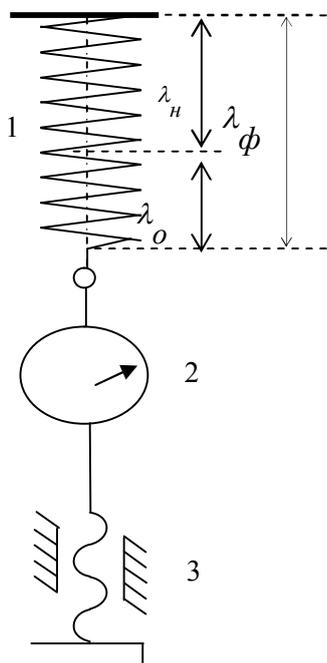


Рис.2.

1 – образец пружины после разгрузки, 2 – динамометр часового типа, 3 – регулируемый винт.

**Реактивное усилие.**

Для определения реактивных усилий образец пружины после разгрузки закрепляется, как показано на рис. 2, т. е. один конец жестко, а другой – фиксируется натяжителем.

Образец постепенно нагревается в интервале фазовых превращений, т.е. от температуры начала возникновения аустенитной фазы  $A_n$  до конца температуры превращений  $A_k$ . При этом за счет эффекта памяти формы в пружине будут генерироваться реактивные усилия ( $R$ ), которые будут стремиться вернуть пружине первоначальную длину. Так как один конец пружины жестко прикреплен, а другой конец удерживается так, чтобы пружина имела постоянную фиксированную длину  $\lambda_\phi$  с помощью вращения рукоятки 3 (рис.2.), динамометр 2 будет показывать реактивное усилие, генерируемое образцом в процессе обратного мартенситного превращения.

Такие эксперименты повторялись несколько раз с образцами, имеющими с различные остаточными удлинения.

По показанию динамометра с приращением температуры в 5 градусов построен график  $R \sim T$

(рис. 4).

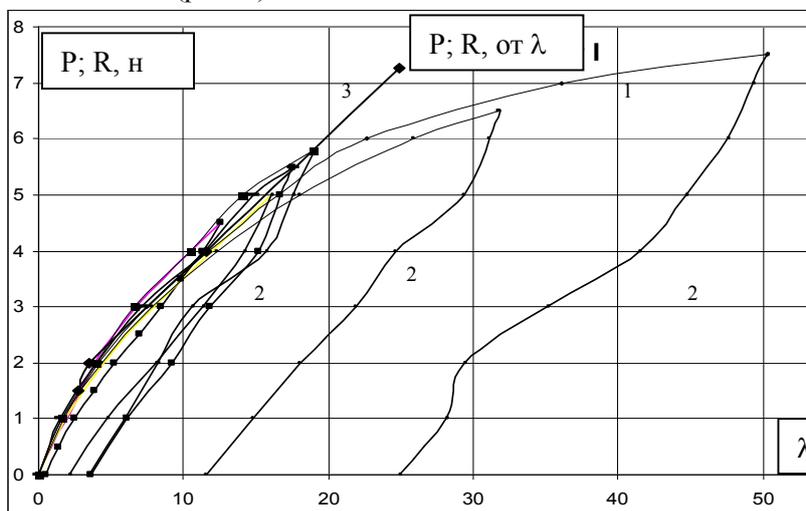


Рис.3. Зависимость нагрузки от удлинения пружины (кривые 1), разгрузки (кривые 2) и реактивные усилия от остаточных удлинений (кривая 3).

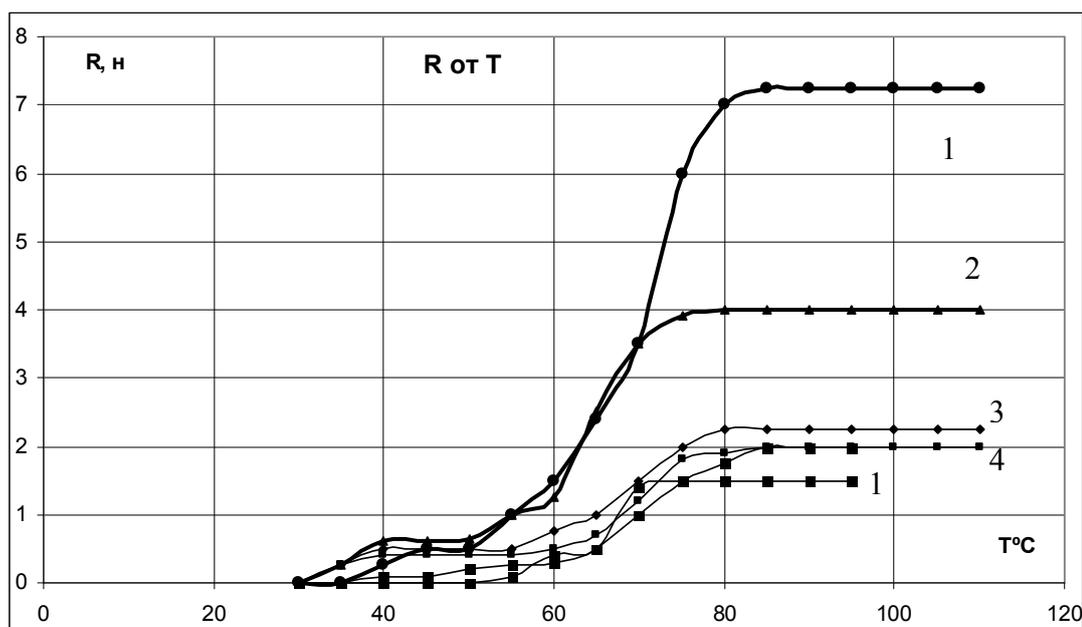


Рис. 4. Кривые зависимости реактивного усилия от температуры при различных остаточных удлинениях ( кривые 1,2,3,4 и 5 соответствуют  $\lambda_o$  , равным: 0,025; 0,0115; 0,0036; 0,002 и 0,0005 м).

Полученные фотографии и магнитофонные записи обрабатывались на компьютере с использованием программы CorelDraw 11. По фотографиям получены точные значения линейного перемещения длины и диаметра, углового перемещения испытываемой пружины в зависимости от нагрузки. При нагреве термокамеры, температура образца контролировалась термоэлектрической термопарой хромель - копель.

Из рис. 3 видно, что величина максимальной упругой деформации очень слабо зависит от температуры и практически остается постоянной в интервале температур мартенситных превращений.

### Литература

1. Материалы с эффектом памяти формы. Т.4 Справочное издание/Под общей ред. Лихачева В.А. – СПб., 1998. 268 с.
2. Абдрахманов С.А. Деформация материалов с памятью формы при термосиловом воздействии. – Бишкек: Илим, 1991.116 с.