

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ СЕГМЕНТОВ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Хусайнов М.А., Попов С.А., Малухина О. А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,

Великий Новгород.

Mikhail.Khusainov@novsu.ru

Одним из наиболее перспективных конструктивных элементов из сплавов с памятью формы является сферический сегмент, который на этапе фазового перехода *мартенсит* \rightarrow *аустенит* теряет устойчивость и прощёлкивает к исходной форме скачком, демонстрируя взрывной характер возврата термоупругой деформации памяти формы [1]. Показано, что сферические сегменты с заданной памятью формы, после их прогиба в мартенсите, зеркально исходному очертанию, при отогреве восстанавливают форму с хлопком. Если на пути возврата формы установить препятствие, в виде силоизмерителя, то при отогреве деформированный сегмент совершает удар о препятствующее тело с определенной силой.

Сплавы никелида титана Ti-50,0ат%Ni и Ti-50,4ат%Ni были получены на предприятии Промышленного Центра «МАТЭКС» (Москва) в виде листов толщиной 1,0 мм. Последующая прокатка до толщины 0,43–0,48 мм осуществлялась на двухвалковом стане с промежуточными отжигами при 600°C в течение 5 мин. Круглые пластинки диаметром $17^{0,2}$ мм вырезались по копиру на электроискровом станке. Затем они деформировались в пресс-форме с заданным радиусом кривизны и жестко заземлялись для придания сферической формы и задания памяти при температуре 420°, 1,5 ч. На рисунке 1 показан общий вид сферического сегмента и геометрические параметры.

Оценка силы удара осуществлялась с помощью разрывной машины FPZ-1.0. На нижней траверсе разрывной машины устанавливалось специальное нагревательное устройство в виде пресс-формы. Сферический сегмент, помещённый в пресс-форму, прогибался в мартенситном состоянии, а при отогреве совершал взрывной скачок с ударом о силоизмеритель.

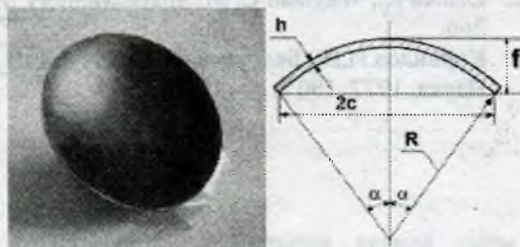


Рисунок 1. Общий вид сферического сегмента и его геометрические параметры.

Здесь представлены экспериментально полученные данные зависимости силы удара сферических сегментов от их геометрических размеров $H=0,37-0,48$ мм. и $R=19-32$ мм при $D=17^{-0.2}$ обрабатывались статистическим методом регрессионного анализа [2]. В качестве модели, описывающей зависимость силы удара сегмента о препятствующее тело (силоизмеритель) от соотношений геометрических параметров D/R и h/R , использовалась полная квадратичная модель в виде

$$P_y = b_0 + b_1 z_1 + b_2 z_2 + b_{12} z_1 z_2 + b_{11} z_1^2 + b_{22} z_2^2 \quad (1),$$

где z_1 и z_2 – независимые переменные, $z_1=D/R$ и $z_2=h/R$.

Коэффициенты модели $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}$ и b_{22} определялись методом наименьших квадратов, основанном на минимизировании суммы квадратов расхождения между значениями результатов эксперимента и найденных из модели (1).

Проверка значимости коэффициентов b_i осуществлялась по t-критерию Стьюдента. Значение t-критерия в эксперименте ($t_{\text{экс}}$) определялось по формуле

$$t_{\text{экс}} = \frac{|b_i|}{S(b_i)}, \text{ где } S(b_i) \text{ – стандартное отклонение коэффициента } b_i.$$

Рассчитанное значение $t_{\text{экс}}$ сравнилось с табличным ($t_{\text{таб}}$), для заданного числа степеней свободы $f=n-k$, где n – количество опытов, k – число коэффициентов в уравнении (1), при уровне значимости 0,05. Обычно используемый в технических задачах. Коэффициент b_i считается значимым, если найденное значение $t_{\text{экс}}$ по абсолютной величине превышает табличное значение критерия Стьюдента. В данном эксперименте $n=72, k=66$ и $t_{\text{таб}}=1,67$.

После подстановки рассчитанных коэффициентов в уравнение (2)

$$P_y = b_1 z_1 + b_2 z_2 + b_{12} z_1 z_2 + b_{11} z_1^2 + b_{22} z_2^2 \quad (2).$$

получено выражение в качестве модели, описывающей зависимость силы удара сферического сегмента о препятствующее тело, от соотношений геометрических параметров D/R и h/R , в виде

$$P_{\text{уд}} = -174 \cdot \frac{D}{R} + 6923 \frac{h}{R} - 316 \cdot 10^2 \frac{D}{R} \cdot \frac{h}{R} + 539 \cdot \left(\frac{D}{R}\right)^2 + 432 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{h}{R}\right)^2 \quad (3).$$

Анализ экспериментальных данных по величине силы удара в зависимости от соотношений D/R и h/R сегментов показал, что сегменты, прощелкивающие с хлопком и ударом о препятствующее тело (силоизмеритель), сосредоточены внутри некоторой замкнутой области (рис.2), а сегменты, восстанавливающие форму без удара, находятся за границей данной области.

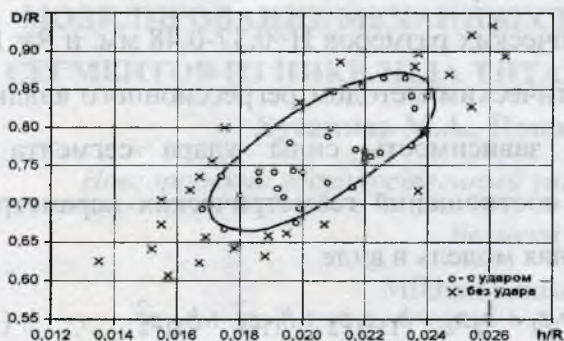


Рисунок 2. Поле рассеяния геометрических параметров сферических сегментов $D=17^{-0,2}$ мм

В экспериментах по поиску оптимальной геометрии сферических сегментов $D=17^{-0,2}$ мм, совершающих удар о препятствие, установленное на пути возврата формы, были приняты достаточно широкие интервалы по толщине и радиусу кривизны сегментов.. Поэтому значительное число сегментов генерировали слабый удар или не восстанавливали форму при больших значениях соотношений D/R и h/R . Этот опыт был учтен нами на сегментах $D=20^{-0,2}$ мм. Толщина пластинки сегментов изменялась в интервале 0,44- 0,49 мм. и радиус кривизны R изменялся от диаметра 22 до 28 мм. Что позволило построить поле рас-сеяния геометрических размеров для наиболее эффективных по величине силы удара, находящихся внутри замкнутой кривой (рис. 3).

Построена модель зависимости силы удара от определяющих соотношений D/R и h/R сферических сегментов, позволяющих прогнозировать силу удара о препятствующее тело. Данное обстоятельство представляются чрезвычайно важным с практической точки зрения, поскольку по известным значениям соотношений геометрических параметров, легко определить величину силы удара.

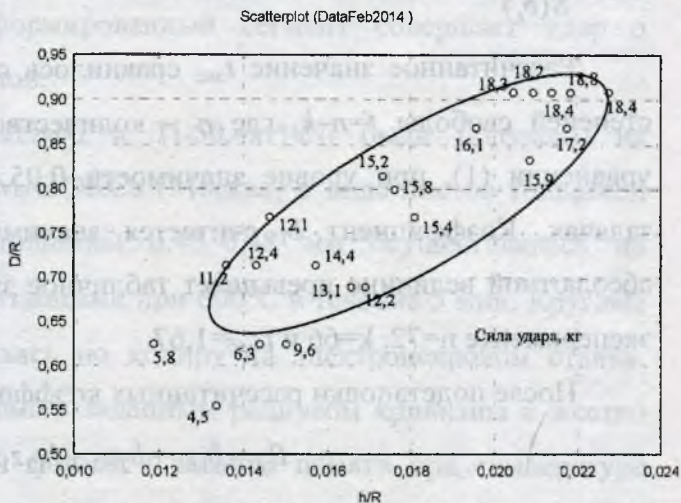


Рисунок 3. Поле рассеяния геометрических параметров сферических сегментов диаметром $20^{-0,2}$ мм

1. Хусаинов М.А., Пазгалов А.Ф., Беляков В.Н. // Исследование устойчивости мембран из никелида титана. Сб. «Материалы со сложными функциональными свойствами», Ом, 1994, ч.2. С.152–158.
2. Хартман Л. и др. Планирование экспериментов в исследовании технологических процессов. М., Мир, 1977. 552 с.