

ОБРАТИМАЯ ПАМЯТЬ ФОРМЫ В КОЛЬЦЕВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Вьюненко Ю.Н.¹, Белоусов Н.Н.²

¹ ООО "ОПТИМИКСТ ЛТД", Санкт-Петербург, Российская Федерация, 6840817@mail.ru

² Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина, Донецк

Применение кольцевых силовых пучковых элементов (КСПЭ, "металлические мышцы") в конструкциях Шеров показало эффективность работы такого привода [1]. Подготовка КСПЭ к работе проводится как активным деформированием "металлических мышц" в низкотемпературном состоянии, так и с использованием состояния пластичности превращения при их охлаждении под нагрузкой через интервал температур прямого превращения [2]. В настоящее время наряду с силовыми элементами выполненными в виде бухт из проволоки и ленточных колец из никелида титана можно изготавливать силовые элементы из сварных проволочных овалов. Наличие наборов замкнутых проволочных контуров позволяет варьировать возможности установок типа Шер изменением количества деталей в приводах в зависимости от технологической задачи. Однако в первую очередь, поскольку речь идет о силовых элементах, встает вопрос о прочности сварной конструкции. Для сравнения этой характеристики у образцов из исходной проволоки и сварного были получены зависимости их деформации от приложенной нагрузки до разрушения. Опыты проводили на разрывной машине 2167P-50. Скорость деформирования задавали равной 1мм/мин. Длина рабочей части образца была равна ~ 100мм. Проволока диаметром 2мм была изготовлена из никелида титана с содержанием Ni ~ 50,35ат. %.

Графики на рис.1 показывают изменение удлинения исходного (кривая 1) и сварного (кривая 2) образцов с нарастанием нагрузки. Испытания показали, что разрушение во втором случае произошло в зоне сварки. Удлинение до разрыва оказалось в 3 раза меньше, чем у исходного образца. Однако уровень разрушающей нагрузки превысил 60% от величины, соответствующей первой кривой. Это уже позволяет применить сварные кольца в конструкции КСПЭ.

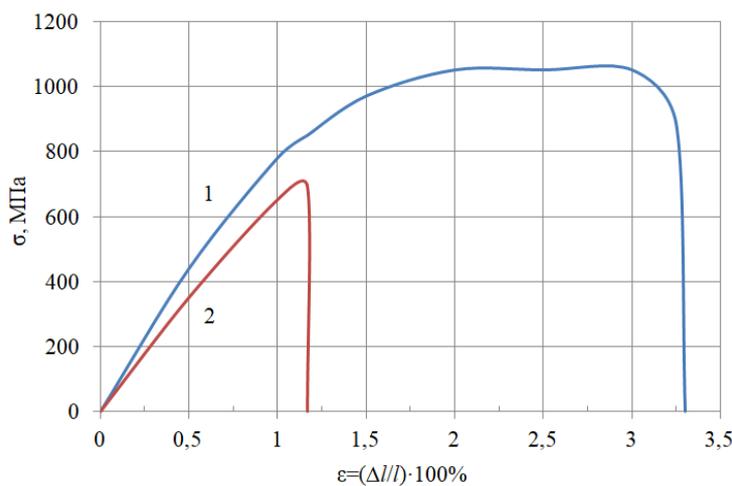


Рисунок 1 - Сравнение механических свойств исходных (1) и сваренных (2) образцов TiNi

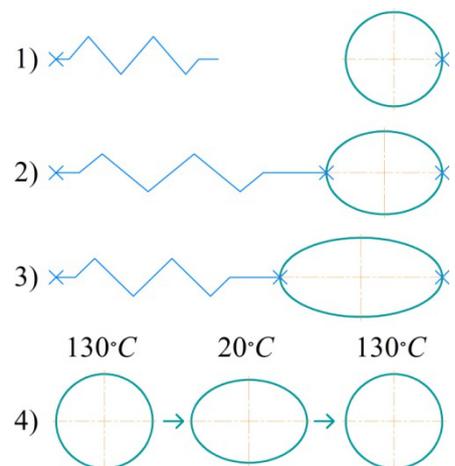


Рисунок 2- Схема наращивания обратимой памяти формы

Наличие сварных овалов дало возможность оценить применимость в "металлических мышцах" эффекта обратимой памяти формы (ОПФ). Для этого были

изготовлены сварные кольца диаметром ~ 62 мм. Деформирование образца в условиях пластичности превращения проводили с помощью спиральной пружины (рис.2). В исходном раздельном состоянии система пружина-кольцо нагревается в термостате до 130°C (рис.2, 1). При такой температуре материал овала полностью переходит в аустенитное состояние. Пружина растягивается и соединяется с кольцом. На кольцо начинает действовать усилие в 22.6Н. Диаметр, вдоль, которого действует сила, увеличивается на ~ 1 мм (рис.2, 2). В таком взаимодействии система пружина-кольцо охлаждается с термостатом. До 60°C форма кольца остается постоянной. В интервале температур $60 - 50^{\circ}\text{C}$ начинается процесс формоизменения (рис.3, кривая 1). Кольцо вытягивается в направлении действия силы на $\Delta d=13$ мм, приобретая "эллиптическую" форму (рис.2, 3). При этом сила, действующая на овал, уменьшается до ~ 15.6 Н. После разгрузки образца и нагрева первоначальная форма полностью восстановилась (рис.3, кривая 2). Во время повторного охлаждения в результате эффекта обратимой памяти формы максимальное увеличение диаметра образца $\Delta d_{\text{опф}}$ составило 2.3мм. Нагрев вернул кольцо в начальное состояние (рис.2, 4).

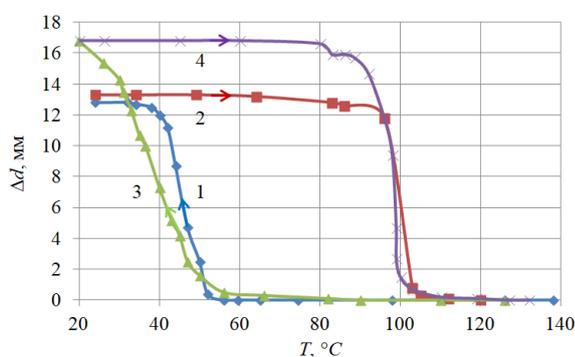


Рисунок 3- Температурная зависимость формоизменения сварного кольца в результате пластичности превращения и ЭПФ в 1 термоцикле (1, 2) и после 12 теплосмен (3, 4)

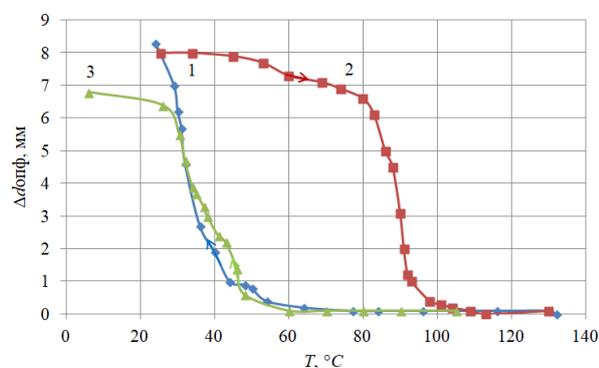


Рисунок 4- Температурная зависимость формоизменения сварного кольца в результате ОПФ после 12 термоциклов (1, 2) и с генерацией усилий при охлаждении (3)

В работе [3], исследуя явление обратимой памяти формы при активном деформировании материала в мартенситном состоянии, авторы отметили постепенный рост деформационного эффекта ОПФ при циклировании механического и теплового режимов воздействия на образец сплава TiNi. Поэтому с целью выяснения возможности увеличения формоизменения кольца было проведено многократное термоциклирование образца в заданном режиме. После 12 термоциклов Δd в условиях реализации пластичности превращения увеличилось до 15мм (рис.3, кривая 3). Нагрев восстанавливал первоначальную форму образца за счет эффекта памяти формы (ЭПФ) (рис.3, кривая 4). Деформационные эффекты ОПФ возросли более чем в 3 раза (рис.4) и Δd достигло 8мм. Температурные интервалы формоизменения сместились в сторону более низких температур на $\sim 10^{\circ}\text{C}$.

В течении следующих 20 термоциклов $\Delta d_{\text{опф}}$ превысило 12 мм и практически стабилизировалось (рис.5). Дальнейшее термоциклирование без охлаждения кольца под нагрузкой привело к уменьшению деформационного эффекта ОПФ на $\sim 20\%$. Но кольцевой силовой элемент сохраняет способность генерировать усилия как при нагреве, так и при охлаждении.

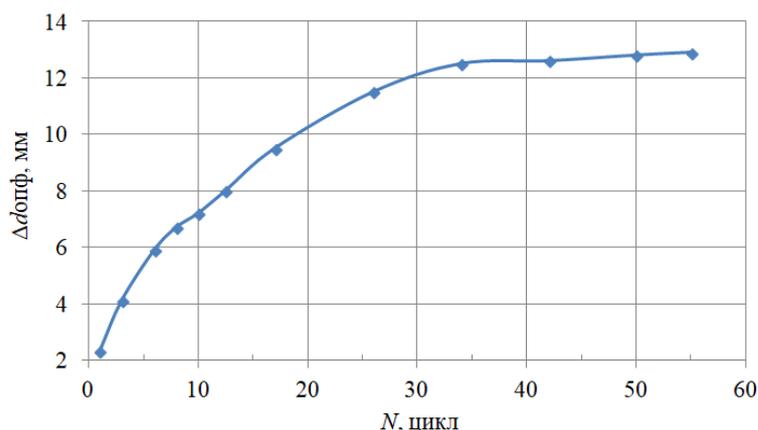


Рисунок 5 - Циклический рост обратимой памяти формы

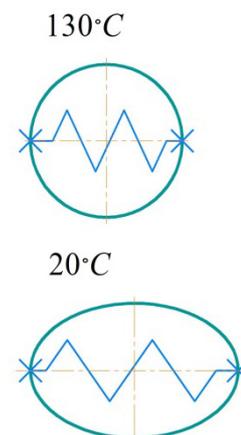


Рисунок 6 - Схема реализации обратимой памяти формы с генерацией усилий

На рис.6 приведена схема опыта. В аустенитном состоянии вдоль направления формоизменения кольца закрепляется пружина. Силовое воздействие на образец отсутствует. Во время остывания до 50°C форма овала постоянна. В интервале от 50°C до 25°C кольцо вытягивается и деформирует пружину (рис.4, кривая 3). Сила, действующая на образец со стороны упругого элемента, возрастает от 0 до ~ 3.7Н.

Полученные значения генерируемых усилий и деформационные характеристики ОПФ для кольца массой 5г говорят в пользу возможного использования в технологических устройствах аналогичных Шеру эффекта обратимой памяти формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вьюненко Ю.Н. Применение ЭПФ в производстве слоистых материалов / Перспективные материалы и технологии: сб. статей Междунар. науч. симпозиума – Витебск: УО «ВГТУ», 2011. – С.182-184.
2. Вьюненко Ю.Н., Хлопков Е.А., Волков Г.А. Механические свойства "металлических мышц" из материалов с эффектом памяти формы / Перспективные материалы и технологии: монография. В 2-х т. Т.1. Глава 25. / В.А. Андреев [и др.]; под ред. В.В. Клубовича. – Витебск: УО "ВГТУ", 2017. – С. 412-429.
3. Андронов И.Н., Вербаховская Р.А., Данилов А.Н., Корепанова В.С. Мартенситный тип обратимой памяти формы в устройстве для восстановления систолического размера кольца митрального клапана. / Заводская лаборатория –Т.76, №8, 2010. – С. 38-42.