

ДЕФОРМАЦИОННО–СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВЫХ СИЛОВЫХ ПУЧКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ НА ЭФФЕКТЕ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Вьюненко Ю.Н.

ООО «Оптимикст Лтд»
[vjunencko@smel.math.spbu.ru](mailto:vjunenko@smel.math.spbu.ru)

Изучение работы ШеРов [1] выявило значительные преимущества использования эффекта памяти формы в технологии получения слоистых конструкций. В 1,5–2 раза сократилось время изготовления единицы продукции. Было увеличено в два раза количество одновременно загружаемых в печь изделий. Возможно, использование эффекта памяти формы (ЭПФ) и в других технологиях позволит повысить производительность производства и качество продукции. Но для этого необходимо тщательным образом исследовать особенности деформационно-силового поведения «металлических мышц», выполненных в виде кольцевых силовых пучковых элементов (КСПЭ) [2], реализующих ЭПФ в работе ШеРов. В первую очередь, это касается немонотонности процессов формоизменения и способов управления деформационно-силовыми характеристиками КСПЭ. Поскольку в технологических устройствах вести указанные исследования затруднительно, был сконструирован специальный динамометр ЛИНД [3]. Принципиальная схема устройства приведена на рис.1.

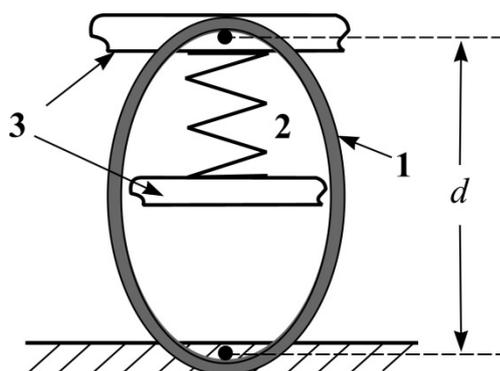
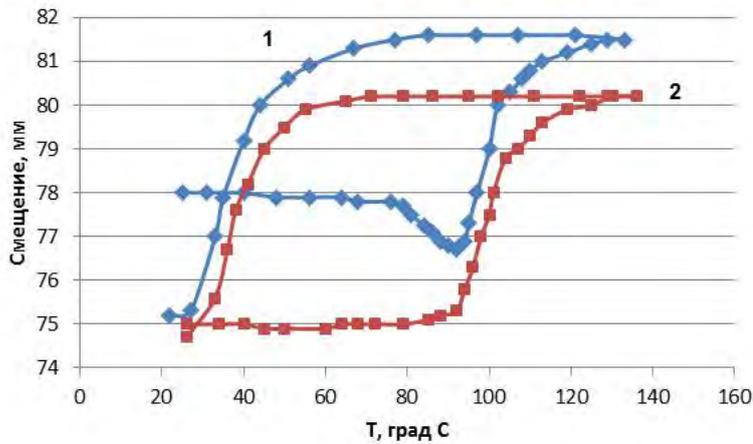


Рис.1. Принципиальная схема эксперимента

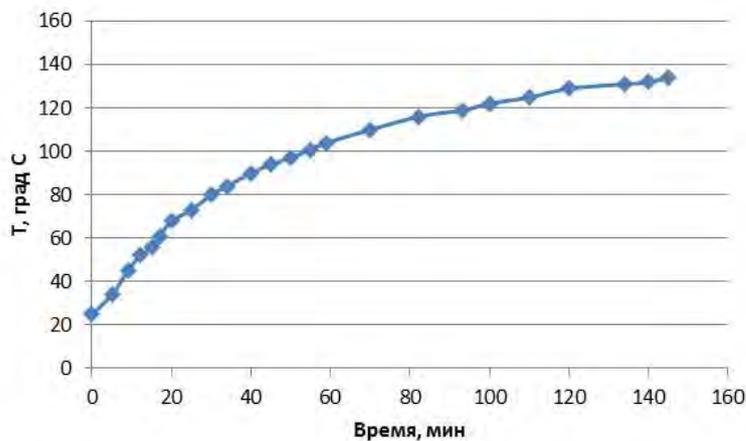
Два силовых элемента 1 установлены в параллельных плоскостях на одинаковом расстоянии от контртела 2, в качестве которого использована спиральная пружина. Для изготовления «металлических мышц» использовали проволоку сплава TiNi диаметром 2,5 мм. КСПЭ состоит из 4 витков диаметром 63 мм и деформируется за счет контртела как в низкотемпературном состоянии, так и за время охлаждения, когда материал проволоки находится в состоянии пластичности превращения. Сплав TiNi в исходном состоянии (до волочения) претерпевал обратное мартенситное превращение в температурном интервале от 60 до 80 °С. Степень силового воздействия на «металлические мышцы» регулируется расстоянием между стопорными плоскостями 3 контртела. Моделируя технологическое использование силовых элементов, нагрев ЛИНДа производится в термостате. Изменение параметра d использовали в качестве индикатора деформационных процессов.

На рис.2а (кривая 1) показано изменение положения контрольной точки при нагреве ЛИНДа после активного деформирования пары КСПЭ при комнатной температуре. Начальная сила взаимодействия «металлических мышц» с контртелом составляла 490 Н. При достижении температуры 70 °С начинается процесс роста параметра d . Обусловлено это, видимо, снижением упругих характеристик TiNi в предпереходном состоянии. Нельзя

исключить также возможность развития деформационных процессов превращения, стимулируемых силовым воздействием контртела на материал силовых элементов. К 90 °С удлинение «металлических мышц» достигает 1,3 мм. Сила взаимодействия КСПЭ со спиральной пружиной уменьшается до 363 Н.



а



б

Рис.2. Температурные зависимости положения контрольной точки, являющейся индикатором формоизменения КСПЭ (а), и зависимость температуры термостата от времени при нагреве (б)

сокращение величины d на 5,2 мм. Сила взаимодействия «металлических мышц» и спиральной пружины приближается к 1000 Н. Работа, совершенная КСПЭ во время второго нагрева, превышает первый термоцикл более чем на 50%. Полученные результаты указывают на возможность существенного различия в механизмах реализации ЭПФ после активного деформирования материала и использования пластичности превращения.

Деформация силовых элементов при температурах прямого мартенситного превращения оказалась не единственным способом избежать предпереходных процессов формоизменения, отраженных кривой 1 на рис.2а. Не наблюдался эффект удлинения «металлических мышц» и при быстром нагреве ЛИНДа. После помещения динамометра в печь, разогретую до 120 °С, после активной деформации КСПЭ при комнатной температуре отмечено развитие лишь деформационных процессов ЭПФ (кривая 1, рис.3а).

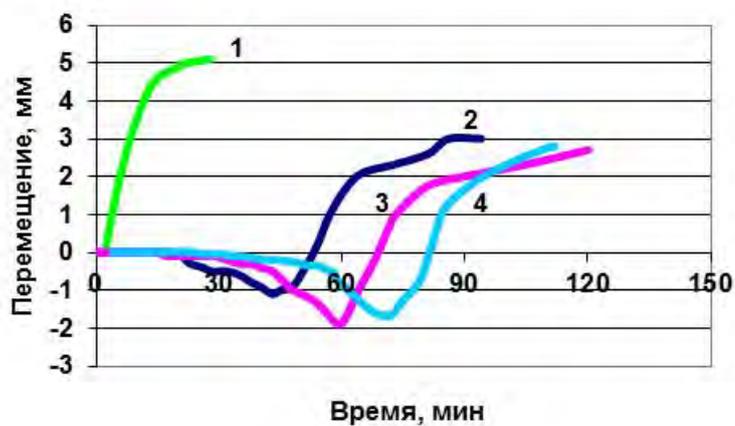
Выбор различных режимов нагрева ЛИНДа (рис. 3б) приводит к значительному изменению величины предпереходного удлинения силовых элементов. При этом максимальный эффект (кривая 3, рис. 3а) требует выбора оптимального режима нагрева. Расчеты в рамках математической модели механизма остаточных напряжений [4] показали, что

Дальнейший нагрев до 135 °С привел в действие эффект памяти формы, и в процессе сжатия контртела параметр d уменьшился на 4,8 мм. Силовое взаимодействие пружины и «металлических мышц» достигло 833 Н.

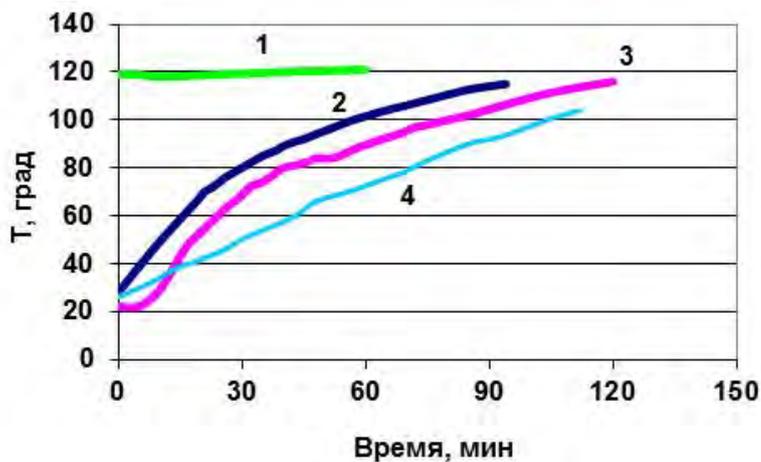
После охлаждения с термостатом в результате пластичности превращения в интервале температур прямого мартенситного превращения параметр d увеличился на 2,8 мм. Силовое взаимодействие с контртелом уменьшается до 216 Н. Меняя положение пластин 3, изображенных на рис.1, поднимаем уровень силового взаимодействия до 490 Н. При этом незначительно увеличивается значение d (на 0,2 мм).

Во время повторного нагрева (кривая 2 на рис.2а) мы наблюдаем в интервале температур 70–85 °С стабильность формы силовых элементов. Затем с ростом температуры и развитием деформационных процессов ЭПФ к 130 °С происходит

характер деформационных процессов, возможно, связан с шириной гетерофазной зоны материала. При помещении КСПЭ в разогретый термостат материал проволоки прогревается до температур превращения очень быстро. Ширина гетерофазного слоя оказывается в несколько раз тоньше, чем при скорости нагрева поверхности 1–2 град/мин, и этот слой быстро продвигается к центру проволоки.



a



б

Рис.3. Временная зависимость деформационных явлений при нагреве «металлических мышц» (*a*) и температурно-временная зависимость четырех режимов нагрева термостата (*б*)

Таким образом, предпереходное состояние охватывает очень малый объем материала «металлических мышц», и деформационные процессы, приводящие к удлинению силовых элементов, не получают заметного развития

Список литературы

1. Вьюненко Ю.Н. Применение ЭПФ в производстве слоистых материалов // в сб. «Перспективные материалы и технологии», Витебск, Беларусь, 2011. – С. 182-184
2. Вьюненко Ю.Н. Математическое моделирование деформационных процессов и опыт технологического применения ЭПФ - ФПСМ, 2010, - № 3. – С.28-31
3. Ю.Н.Вьюненко. Исследование механических характеристик силовых элементов из материалов с ЭПФ// Вестник ТГУ, 2013. - Т.18, вып. 4. – С. 2023-2024
4. Вьюненко Ю.Н. Механизм эффекта памяти формы, обусловленный эволюцией поля остаточных напряжений. Материаловедение.№12, 2003 , С. 2-6.