

плотности также уменьшается. Однако характер зависимости кривых зависит от времени плакирования. При времени плакирования 15 минут кривая зависимости изменяется по экспоненциальному закону. При временах плакирования 30 и 45 минут наблюдается скачкообразное уменьшение удельного сопротивления, обусловленное перколяционным переходом. Удельное сопротивление уменьшается на три порядка с изменением плотности от $1,65 \text{ г/см}^3$ до $1,85 \text{ г/см}^3$.

Список литературы

1. Бальшин М.Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. М.: Металлургия, 1972. С.93-97.
2. Пористые проницаемые материалы. Справочник / Под ред. С.В. Белова. М.: Металлургия, 1987. -С.77, 173.
3. Хоперия Т.Н. Химическое никелирование неметаллических материалов.- М.: Металлургия, 1982. -144 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЬЦЕВЫХ ПУЧКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ МАТЕРИАЛОВ С ЭПФ

Артемьев И. В.¹, Вьюненко Ю. Н.², Тихомиров А. А.³

¹ ООО «Оптимикст Лтд», Санкт-Петербург, Россия,

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,

vjunenko@smel.math.spbu.ru

³ ОАО Концерн НПО «Аврора»

Применение материалов с ЭПФ в медицине приобрело широкую практику в настоящее время. В технологических производственных процессах использование эффекта памяти формы до сих пор событие весьма редкое. Поэтому опыт разработки и применения кольцевых силовых пучковых элементов (КСПЭ) в производстве слоистых материалов для изготовления антивибрационных средств защиты представляет определенный интерес. В результате анализа этой работы, возможно, будут найдены способы применения ЭПФ в решении новых технологических задач.

Первоначально для получения специальных слоистых материалов использовали нагрев необходимых композиций с одновременным сжимающим силовым воздействием, которое обеспечивалось тяжестью массивных стальных дисков. Для использования ЭПФ в этом технологическом процессе было разработано устройство ШЕР (рис. 1).

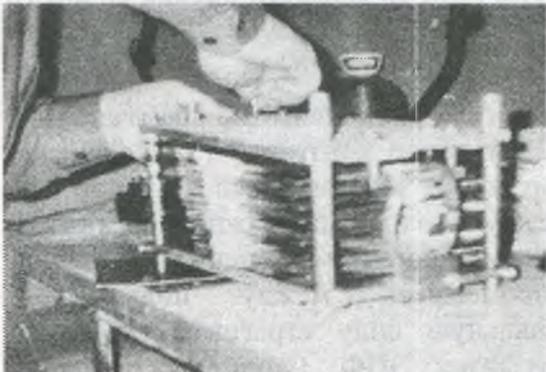


Рисунок 1 – Устройство ШЕР.

Пакет композиций размещался между неподвижным основанием и подвижной пластиной соединенных двумя продеформированными в процессе установки КСПЭ. Во время нагрева в силовых элементах развивается эффект памяти формы, в результате которого пакет подготовленных заготовок сжимается. В зависимости от начальной температуры печи процесс сжатия идёт по-разному.

На рис. 2 показано, как изменяется расстояние между точками закрепления силовых элементов при помещении ШЕРов в печь в момент начала нагрева. Кривая 1 показывает, как смещается положение подвижной пластины в результате действие пары КСПЭ, изготовленных из проволоки с температурой $A_k \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Деформационный процесс начинается на 20–25 минуте. Скорость его почти

пропорциональна скорости прироста температуры. Через 5–10 минут скорость деформирования КСПЭ заметно снижается. Через 2 часа прирост смещения постепенно прекращается. Третья стадия длится около часа.

Существенно позже начинается работа пары КСПЭ с температурой $A_k \sim 70^\circ\text{C}$ (кривая 2). Эффект памяти формы начинает действовать через 60 – 70 минут. Скорость смещения сжимающей пластины соответствует скорости второй стадии работы первой пары КСПЭ и продолжается около двух часов. Далее в течение примерно 30 минут прирост смещения прекращается.

При помещении ШЕРов в разогретую печь (температура термостата 138°C) преимущество первой пары «металлических мышц» в скорости развития эффекта памяти формы остаётся существенным (рис. 3).

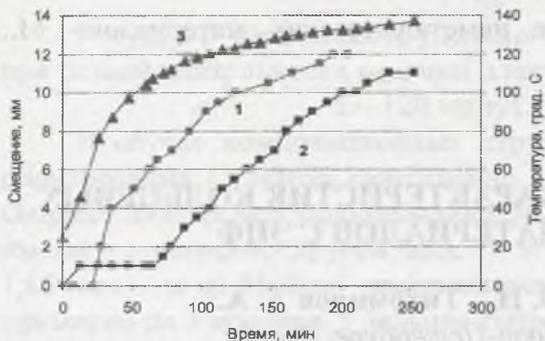


Рисунок 2 – Изменение расстояния между точками закрепления КСПЭ от времени при использовании силовых элементов с $A_k \sim 30$ (1) и 70°C (2) и временная зависимость температуры термостата (3).

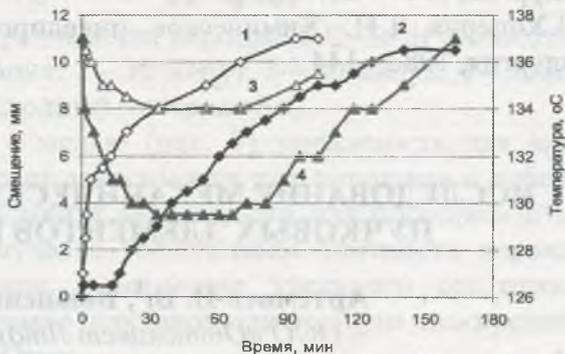


Рисунок 3 – Изменение расстояния между точками закрепления КСПЭ от времени при использовании силовых элементов с $A_k \sim 30$ (1) и 70°C (2) при помещении ШЕРа в разогретый до 138°C термостат и временные зависимости температуры термостата в первом (3) и втором (4) случаях.

Первая пара КСПЭ начинает работать мгновенно (кривая 1). Вторая пара «металлических мышц» начинает срабатывать через 15 минут (кривая 2). В обоих случаях максимальное смещение достигается за половинные временные интервалы относительно случая установки ШЕРов в холодные печи. Кривые 3 и 4 показывают изменение во времени температуры в термостатах после установки первого и второго ШЕРов, соответственно основной проблемой в анализе работы ШЕРов является оценка силового воздействия на обрабатываемый материал. Решить эту задачу представляется возможным с помощью устройства ЛИНД (схема на рис. 4).

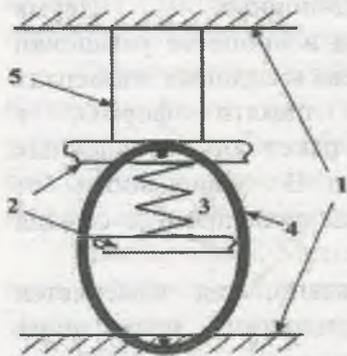


Рисунок 4 – Принципиальная схема устройства ЛИНД.

Конструкция включает две неподвижные пластины (1), подвижные пластины (2), упругое контртело (3), кольцевой силовой пучковый элемент (4) и стопорный цилиндр (5). Изменяя расстояние между верхней подвижной и нижней неподвижной пластинами, мы изменяем степень деформации КСПЭ. Регулируя промежуток между подвижными пластинами, задаём начальную силу страгивания верхней пластины с началом развития ЭПФ. Стопорный цилиндр обеспечивает постоянство формы низкотемпературного состояния КСПЭ при термоциклировании через интервалы обратного и прямого превращения, т.к. при охлаждении за счет пластичности превращения восстанавливается низкотемпературная форма силового элемента.

На рис. 5 показано, как растет смещение верхней пластины при работе ЭПФ в первой паре КСПЭ при помещении ЛИНДа в термостат, разогретый до $138\text{ }^{\circ}\text{C}$. Начальные силы страгивания соответствовали 490 (1), 637 (2), 784 (3) и 931 Н (4). Предварительно КСПЭ были вытянуты вдоль диаметра от 63 до 85 мм. Из приведенных кривых видно, что чем выше сила страгивания, тем меньше смещение. Таким образом, развитие деформационных процессов ЭПФ можно рассматривать как механизм релаксации напряжений возникающих в «металлических мышцах».

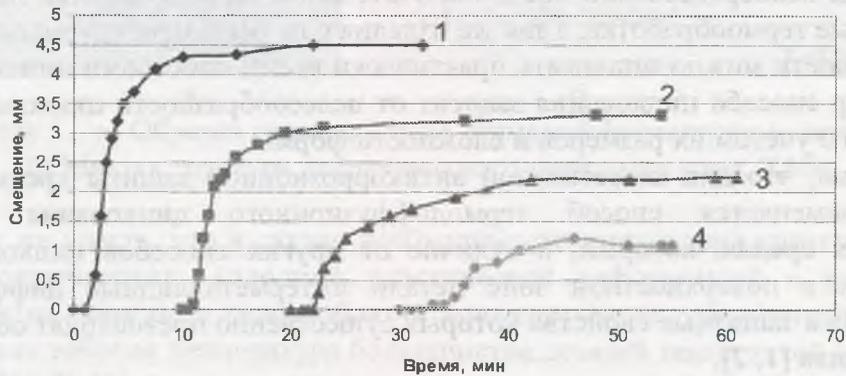


Рисунок 5 – Изменение расстояния между подвижными пластинами от времени при постоянной форме КСПЭ.

Возможно, именно снижение усилий сдавливающих пакет обрабатываемого материала одновременно с падением механических характеристик «сэндвичей» в результате нагрева обеспечивают почти постоянную скорость роста смещения на второй стадии (рис. 2).

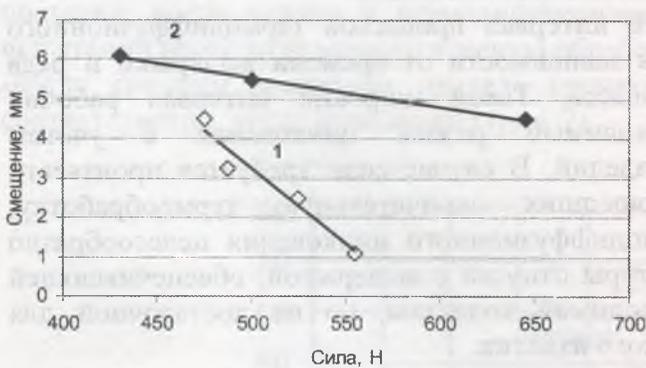


Рисунок 6 – Взаимозависимость смещения, развиваемого ЭПФ, и генерируемой силы в КСПЭ с 5-ю витками проволоки с $A_k \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1) и с 4-мя витками проволоки с $A_k \sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2).

Соотношение между смещением и развиваемыми усилиями дают графики на рис. 6. Для рассмотренных случаев деформаций КСТЭ получены линейные зависимости. Первая кривая показывает соотношения смещения и сил, развиваемых первой парой «металлических мышц». Третья пара КСПЭ, для дальнейшего исследования, была изготовленная, в отличие от двухмиллиметровой проволоки первой и второй пар, из проволоки диаметром 2,5 мм. Если силовые элементы в первой и второй парах состояли из пяти витков, то в третьей их было четыре. Температура A_k сплава данной пары находится вблизи $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эти КСПЭ были продеформированы с 63 до 73 мм при установке в «ЛИНД». Вторая кривая на рис. 6 даёт взаимозависимость между силой и смещением для представленной пары «металлических мышц». Обращает на себя внимание тот факт, что при малых смещениях сила, развиваемая в этом случае, заметно больше соответствующих характеристик первой пары. Это обусловлено большей степенью деформации проволоки в наружных волокнах за счет большего диаметра.

Приведенные результаты показывают, что использование ЛИНДов дает возможность подбирать режимы деформирования КСПЭ так, чтобы в технологических процессах получать детерминированное силовое воздействие на обрабатываемый материал в установках, аналогичных ШеРу.