Энергосбережение и энергоэффективность

УДК 608

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-100-104

© А. В. Патрин, студент

© A. V. Patrin, student

© Т. С. Рогожина, канд. физ.-мат. наук, доцент

© T. S. Rogozhina, PhD in Sci. Phys.-Math., Associate Professor

(Санкт-Петербургский государственный

(Saint Petersburg State University

архитектурно-строительный университет,

of Architecture and Civil Engineering,

Санкт-Петербург, Россия)

St. Petersburg, Russia)

E-mail: kappafamily@mail.ru, tatiana1703t@mail.ru

E-mail: kappafamily@mail.ru, tatiana1703t@mail.ru

ТЕРМОДАТЧИК ДЛЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

HEAT SENSOR FOR VENTILATION SYSTEMS

На основании экспериментальных результатов авторы предлагают устройство для поддержания температуры в теплице или помещении, принцип работы которого основан на изменении длины термоприводного волокна от воздействия температуры. Описан способ изготовления термоприводного волокна из капроновой нити и методика термообработки для улучшения его деформативных свойств. Получена зависимость продольного усилия термоприводного волокна от температуры.

Ключевые слова: термоприводное волокно, полимеры, капрон, регулятор температуры, строительство, нагрев.

Based on the experimental results, the authors propose a heat sensor design intended for maintaining the temperature in a greenhouse or a premise, the principle of operation of such device being based on the fiber changing the length as affected by the temperature. There is described a method for manufacturing a thermal drive fiber from a nylon thread and a method of heat treatment to improve its deformation properties. The dependence of the longitudinal force of the thermal drive fiber on the temperature has been obtained.

Keywords: thermal drive fiber, polymers, nylon, temperature controller, construction, heating.

За последнее десятилетие наблюдается увеличение количества исследований в области создания многофункциональных материалов, применяемых в качестве доступных и компактных приводов. Капроновые волокна, полученные путем скручивания монопнити, служат безопасными и мощными приводами для различных технических устройств, в том числе для автономных вентиляционных систем. Основным достоинством данного волокна является его способность изменять размер под температурным воздействием.

В 2014 г. в литературе появилась информация о способе создания термоактивируемых приводов из обычной нейлоновой лески. Группа исследователей предложила использовать в качестве недорогих и эффективных термоприводов спира-

ли, свитые из обычной рыболовной лески [1–4]. Также важно исследовать термоприводные волокна, полученные из других полиамидов, в связи с чем было решено использовать капрон, так как он более распространен в Российской Федерации. Анализ известных работ по созданию термоприводных волокон из полимеров выявил следующие их недостатки:

- разрыв плетеной нити, состоящей из множества волокон, соединенных между собой путем сплетения;
- разрыв полимерного волокна при полном скручивании;
- скручивание волокна относительно оси, перпендикулярной вертикали, происходящее из-за колебаний груза.

Данные недостатки были учтены при создании установки для изготовления полимерного волокна с применением мононити. На рис. 1 представлена схема устройства для создания капронового термоприводного волокна. Установка оборудована инфракрасным датчиком движения TCRT5000, модулем одноканального электрического реле KY-019, подключенного к электродвигателю Maktec MT-690 Makita, и микроконтроллером Arduino Uno, подключенным к реле и датчику, а также включает в себя нагревательное устройство для снятия остаточных напряжений, состоящее из нихромовой проволоки, по которой проводится ток, и защитного стеклянного корпуса. Нагревательное устройство было добавлено с целью ввода волокон в рабочее состояние, так как им необходимо три цикла нагревания-остывания [4]. Капроновая мононить прикрепляется одним концом к электродвигателю, ко второму концу подвешивается груз, закрепленный на подвижной в вертикальном направлении рейке, что исключает раскручивание и позволяет создать натяжение нити. Мононить при накоплении определенного количества деформаций теряет устойчивость и образует виток. Количество витков постепенно увеличивается, пока витки не дойдут до верхнего конца нити. Полученный образец является термоприводным волокном. После скручивания образец крепится к фиксирующей раме в непосредственной близости от нагревательного элемента, после этого волокно проходит три цикла нагревания с целью снятия остаточных напряжений.

При изготовлении данной конструкции опытным путем были решены следующие проблемы: подбор мощности электродвигателя; нахождение подходящего диаметра лески; подбор массы груза; выбор мощности нагревательного элемента.

Для изготовления образца использовалась клинковая полиамидная (капроновая) леска диаметром 1,00 мм, длиной 1,5 м, нагруженная грузом массой 0,7 кг, с первоначальным напряжением 25,9 МПа.

При полном скручивании мононити и дальнейших трех циклах пятиминутного нагрева и охлаждения нагревательным элементом мощностью 700 Вт, при которых максимальная температура лески достигала 63 °С, были получены образцы длиной в среднем 35,7 см. Длина по-

Рис. 1. Схема устройства для изготовления термоприводных волокон из полимеров: 1 — деревянный корпус; 2 — направляющая рейка; 3 — груз; 4 — инфракрасный датчик движения; 5 — нагревательный элемент; 6 — полученное волокно; 7 — микроконтроллер; 8 — модуль одноканального электрического реле; 9 — электродвигатель

лученного волокна примерно в 4,2 раза меньше длины первоначальной (до скручивания) нити. Согласно [5] полученная спираль является гомохиральной, то есть скрученность нити в волокне и само термоприводное волокно обладают одинаковой хиральностью.

Для проведения дальнейших изометрических исследований использовалось устройство, схема которого представлена на рис. 2.

Устройство включает датчик силы DT272, датчик температуры Фурье ИНТ029Nova, подключенные к регистратору данных NOVA5000, что позволяет получить зависимость создаваемого продольного усилия от температуры образца. Проволока подключается к сетевому адаптеру ЯТП 220/24 В 250 Вт, что позволяет подключать данный макет к сети 220 В. Применение в качестве нагревательного элемента проволоки, внедренной в середину волокна, позволяет получить более равномерный прогрев, что повысит точность результатов.

При нагревании волокно, закрепленное при помощи крепежной планки к крюку датчика силы с одного конца и к корпусу при помощи крепежной планки — с другого, сокращается и создает продольное усилие без изменения длины.

Рис. 2. Схема устройства для проведения изометрических исследований: 1 — опорный зажим; 2 — каркас; 3 — подвижная губа; 4 — датчик силы; 5 — крепежная планка; 6 — термоприводное волокно; 7 — датчик температуры; 8 — нагревательный элемент; 9 — сетевой адаптер

Изометрические испытания с использованием макета проводились при первоначальном нулевом удлинении образцов. Длина испытуемых образцов составляла 35,7 см. Исследование проводилось в температурном интервале 22–52 °С

при нагревании одного образца, одновременном нагреве двух и трех образцов с целью нахождения закономерности. Полученные в ходе исследования данные приведены на рис. 3, где зеленым показаны результаты для одного образца, красным — для двух и синим — для трех.

Анализ полученных зависимостей показал, что с увеличением температуры продольное усилие в термоприводных волокнах растет, при этом зависимость близка к линейной, а площадь сечения меняется незначительно:

$$\frac{N}{A} = (\alpha T + \beta),$$

где N — продольное усилие, возникающее в термоприводном волокне; A — площадь сечения волокна; α , β — безразмерные коэффициенты; T — температура волокна.

Аналогичные исследования были проведены для образцов длиной 20,0 см. Полученные результаты показывают, что возникающее продольное усилие не зависит от длины волокна, а суммарное усилие при одновременной работе нескольких волокон прямо пропорционально их количеству. Наиболее благоприятным температурным интервалом для работы волокон является интервал от 22 до 40 °С.

Рис. 3. Полученные данные изометрических измерений для образцов длиной 35,7 см: для одного образца — зеленая линия, для двух — красная, для трех — синяя

Рис. 4. Схема устройства поддержания необходимого интервала температур в помещении: 1 — форточка; 2 — инерционная катушка с фиксатором; 3 — узел крепления; 4 — термочувствительный силовой привод; 5 — рычаг

Капроновые термоприводные волокна могут применяться для регулирования температурного режима в отапливаемых помещениях. Разработанное устройство использовалось для поддержания температуры в помещениях и теплицах в заданном диапазоне. Авторы предлагают использовать жгут из нейлоновых волокон [6] в качестве датчика температуры. Предлагаемое устройство для поддержания температурного режима в теплицах (рис. 4) состоит из форточка, установленной на шарнире, рычага, прикрепленного к форточке, термочувствительного элемента и силового привода, в котором термочувствительный элемент и силовой привод выполнены из жгута нейлоновых волокон, одним концом прикрепленного к рычагу, а другим к каркасу.

Скорость срабатывания датчика зависит от диаметра жгута. Чем тоньше жгут, тем быстрее срабатывает датчик. Для решения задачи повышения скорости реагирования устройства на изменение температуры, а также повышения эффективности использования силовых возможностей устройства, волокна термочувствительного силового привода были разделены на несколько (два и более) жгутов меньшего сечения. В этом случае процесс передачи теплоты между внутренними слоями волокон в жгутах и окружающим воздухом происходит быстрее. Применение подобных датчиков позволяет поддерживать определенный температурный режим в отапливаемых помещениях путем автоматического изменения площади устройства для притока воздуха, например в качестве автоматического устройства для поддержания температурного режима парников и теплиц, а также в других областях, где требуется автоматическое регу-

лирование сечения приточных вентиляционных устройств.

Библиографический список

1. Макаров В. Искусственные мышцы из нейлона для роботов будущего // Популярная механика. 2016. 24 ноября. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/294812-iskusstvennye-myshtsy-iz-neylona-dlya-robotov-budushchego/>.
2. Haines C. S., Lima M. D., Na Li, Spinks G. M., et al. Artificial muscles from fishing line and sewing thread // Science. 2014. Vol. 343 (6173). Pp. 868–872.
3. Cherubini A., Moretti G., Vertechy R., Fontana M. Experimental characterization of thermally-activated artificial muscles based on coiled nylon fishing lines // AIP Advances. 2015. Vol. 5. Doc. 067158.
4. Матюнин В. И., Щетников А. И. Искусственные мышцы из нейлоновой лески // Наука из первых рук. 2015. Т. 64. № 4. С. 123–127.
5. Pohl W. F. DNA and differential geometry // The Math. Intelligencer. 1980. Vol. 3. Pp. 20–27.
6. Пат. 184506, Российская Федерация, МПК A01G 9/24. Устройство поддержания необходимого интервала температур в теплице / А. В. Патрин, Д. А. Кузнецов, Т. С. Рогожина, В. М. Дронов. № 2018118860, заявл. 22.05.2018, опубл. 29.10.2018.

References

1. Makarov V. *Iskusstvennye myshtsy iz neylona dlya robotov budushchego* [Artificial muscles made of nylon for robots of the future]. *Populyarnaya mekhanika – Popular Mechanics*, 2016, November 24. Available at: <https://www.popmech.ru/technologies/294812-iskusstvennye-myshtsy-iz-neylona-dlya-robotov-budushchego>
2. Haines C. S., et al. Artificial muscles from fishing line and sewing thread. *Science*, 2014, vol. 343 (6173), pp. 868–872.

3. Cherubini A., Moretti G., Vertechy R., Fontana M. Experimental characterization of thermally-activated artificial muscles based on coiled nylon fishing lines. *AIP Advances*, 2015, vol. 5, doc. 067158.

4. Matyunin V. I., Shchetnikov A. I. *Iskusstvennye myshtsy iz neylonovoy leski* [Artificial muscles made of nylon fishing line]. *Nauka iz pervykh ruk – First-Hand Science*, 2015, vol. 64, no. 4, pp. 123–127.

5. Pohl W. F. DNA and differential geometry. *The Math. Intelligencer*, 1980, vol. 3, pp. 20–27.

6. Patrin A. V., Kuznetsov D. A., Rogozhina T. S., Dronov V. M. *Ustroystvo podderzhaniya neobkhodimogo intervala temperatur v teplitse* [Device for maintaining the necessary temperature range in a greenhouse]. Patent RF, no. 184506, 2018.