

Как показали полученные экспериментальные данные кинетические кривые тепловыделения во всех изученных системах имеют плавный характер. Но скорость тепловыделения и энтальпия реакций ацилирования существенно зависит от химического строения исходных мономеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воложин А.И., Крутько Э.Т., Паушкин Я.М. и др. // Весці АН БССР, сер. хім. навук, 1978. №2. С. 40–43.
2. Воложин А.И., Якимцова Л.Б., Крутько Э.Т. и др. // Весці АН БССР, сер. хім. навук, 1990. №1. С. 80–82.
3. Паушкин Я.М., Омаров О.Ю., Левашова В.И. // Докл. АН БССР. 1972. Т. 16, № 10. С. 132–134.
4. Глоба А.И., Крутько Э.Т., Прокопчук Н.Р. Химическая модификация алкидного олигомера в процессе синтеза и свойства покрытий на его основе // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7. №3. С.20–29.

УДК 678.073

А.Ф. Петрушеня, канд. техн. наук, доц.;  
О.М. Касперович, канд. техн. наук, доц.;  
Л.А. Ленартович, канд. техн. наук, доц.;  
А.Г. Любимов, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

#### **НАНОСТРУКТУРНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ КРЕМНИЯ**

Диоксид кремния применяется в качестве наполнителя в полимерных материалах для улучшения физико-механических свойств получаемого изделия. Он применяется для улучшения реологических свойств материалов, повышения термоустойчивости, диэлектрических свойств, устойчивости изделий из полимеров к перепадам температур, благодаря низкому коэффициенту линейного температурного расширения [1]. Диоксид кремния применяется в качестве антиблокирующей добавки в полимерных пленках, придавая их поверхности микрошероховатость, что приводит к уменьшению слипания полимерных пленок. В качестве антиблокирующей добавки применяется либо синтетический диоксид кремния (аэросил, белая сажа) с размером частиц 5–20 нм, либо микронизированный натуральный диоксид кремния (кристаллическая или аморфная формы) со средним размером частиц до 8 мкм. Кристаллическая форма позволяет повысить качество печати на полимерных пленках [2]. Диоксид кремния может применяться для увеличения теплопроводности полимерных пленок. В работе [3]

показано, что увеличивается теплопроводность композиций на основе линейного полиэтилена низкой плотности с увеличением концентрации и уменьшением размера частиц наполнителя диоксида кремния в ней. Авторам работы [4] удалось добиться увеличения разрушающего напряжения при растяжении, ударной вязкости образцов с надрезом, изгибающего напряжения при статическом изгибе и модуля упругости при растяжении при введении диоксидов кремния в композиции на основе ПА-6. В работе [5] автор показал, что введение растительного кристаллического диоксида кремния после емкостной плазменной обработки в полиэтилен в количестве 1% приводит к увеличению прочности композиции на 33%, а введение того же наполнителя в количестве 0,5% в полиуретан – на 21%. В работе [6] авторы показали, что добавление аэросила к полиэтилену снижает его показатель текучести расплава (ПТР). В этой связи, работы направленные на изучение композиций полимеров с диоксидом кремния представляют значительный интерес с целью возможности регулирования прочностных и технологических (ПТР, температура плавления, усадка) свойств материалов.

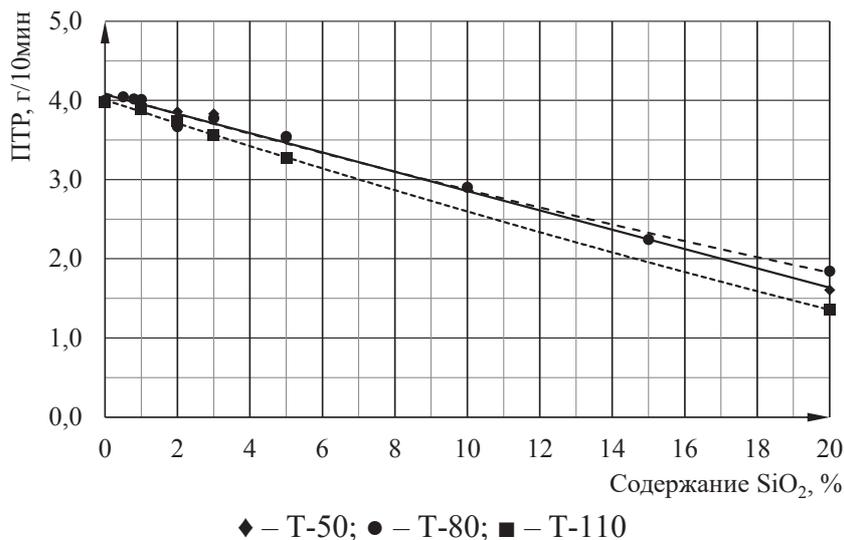
В представленной работе были исследованы композиции на основе порошкообразного полиэтилена марки LLDPE M3204RUP и наноразмерные порошки диоксида кремния, синтезированные в Институте теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (табл), которые вводились в полимер в количестве до 20%.

**Таблица – Марки наноразмерных порошков диоксида кремния**

Марка SiO <sub>2</sub>	Средний размер частиц, нм
T-50	50
T-80	36
T-110	25

В работе нам хотелось изучить возможность введения наполнителя в достаточно большом процентном соотношении. Предполагая возможные технологические сложности, связанные со значительным увеличением вязкости или абразивным износом оборудования, нами было принято решение применить технологию прессования для получения экспериментальных образцов. Однако данный способ имеет сложности с гомогенизацией получаемых композиций и требует, чтобы смеси были подготовлены до стадии прессования соответствующим образом. С этой целью полимер был выбран в порошкообразном виде и механически смешивался с порошком диоксида кремния перед прессованием.

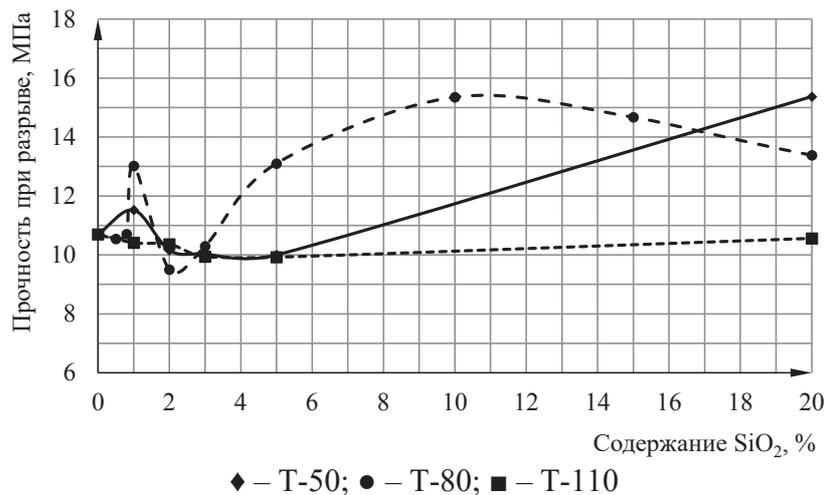
В ходе исследований было установлено, что все исследованные марки наноразмерных порошков диоксида кремния снижают ПТР полимерных композиций (рисунок 1). Зависимость ПТР от концентрации диоксида кремния для исследованных марок носит линейный характер и при введении наполнителя в количестве 20% ПТР снижается с 4 г/10 мин до значений в 1,5–2,0 г/10 мин. Полученные результаты свидетельствуют о возможности переработки материала методом экструзии при содержании наполнителя диоксида кремния не более 20%.



**Рисунок 1 – ПТР композиций полиэтилена, в зависимости от марки и содержания диоксида кремния**

В результате определения прочности (рисунок 2) и относительного удлинения при разрыве исследованных композиций можно отметить следующее. При введении 10% диоксида кремния марки Т-80 и 20% марки Т-50 у исследованных композиций достигается увеличение прочности при разрыве на 44%, при этом падает относительное удлинение более чем на 80%. Что свидетельствует о значительной потере пластических свойств материала. Вместе с этим происходит и увеличение модуля упругости на 48%.

Твердость композиций при наполнении диоксидом кремния возрастает с 54,5 ед. по шкале Шор D, до 59,0 для марки диоксида кремния Т-50 в количестве 20%. При наполнении полиэтилена исследованными марками диоксида кремния в количествах до 2% твердость композиций не изменяется, а ее колебания остаются в пределах погрешности измерения.



**Рисунок 2 – Прочность при разрыве композиций полиэтилена, в зависимости от марки и содержания диоксида кремния**

При исследовании зависимости технологической усадки от дисперсности и массового содержания диоксида кремния, которая увеличивалась с увеличением содержания SiO<sub>2</sub> марок Т-50 и Т-110 в количестве до 3%, и из рентгеноструктурного анализа образцов с содержанием 2, 3 и 10% диоксида кремния, установлено влияние данного наполнителя на морфологический состав композиций. Так при введении небольших количеств, до 3%, наноразмерного диоксида кремния происходит незначительное увеличение степени кристалличности, а размер кристаллической фазы уменьшается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Свойства наполненных полимерных композиций на основе полиэтилена и плазмообработанного диоксида кремния / Фарвазева А. А., Сугоняко Д. В., Хынг Нгуен Зуй, Нгия Нго Хонг, Зенитова Л. А. // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20, №8. – С. 53–57.
2. Концентраты антиблокирующих добавок БАСКО™ ПФ0015, комбинированные концентраты антиблокирующих и скользящих добавок ПФ0016 и ПФ0017 [Электронный ресурс]. – 2015. – URL.: <http://bars2.com/wp-content/uploads/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BA.pdf> (дата обращения: 19.10.2021).
3. Dependence of physical properties of linear low-density polyethylene on the silicon dioxide filler size. / M.M. El-Tonsy, I.M. Fouda, A.H. Oraby, R.M. Felfel, M.I. El-Henawey // Journal of Thermoplastic Composite Materials. – 2014. – V. 29(6).
4. Изменение свойств гетероцепных полимеров при обработке исходных гранул коллоидными растворами диоксида кремния /

А.Ф. Мануленко, Н. Р. Прокопчук, А. В. Евсей, Е. М. Курило // Труды Белорус. Гос. технол. ун-та. Серия 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2008 – Т. 1. – № 4. – С. 79–81.

5. Нгуен Зуи Хынг. Полимерные композиционные материалы, наполненные диоксидом кремния растительного происхождения: диссертация кандидата технических наук: 05.17.06 / Нгуен Зуи Хынг. – ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 2019. – 23 с.

6. Каримов И. А. Изучение комплекса свойств короноэлектретов на основе композиций полиэтилена с аэросилом. / Каримов И. А., Галиханов М. Ф. // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – С. 127–130.

УДК 669.1

Н.И. Мороз, асп.; Н.Г. Валько, канд. физ.-мат. наук, доц.  
(ГрГУ им. Янки Купалы, г. Гродно)

### **ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ**

В настоящее время, несмотря на продолжительную историю непрерывного улучшения свойств электротехнических сталей, дальнейшее развитие способов их модификации до сих пор остается интересной сферой промышленных и прикладных научных исследований. Существующие теории формирования текстуры в сталях достаточно спорны [1, 2], поскольку отсутствуют количественные модели процессов, протекающих в материале. Поэтому актуальным является исследование влияния различных воздействий, в частности термической обработки, на структуру и свойства электротехнических сталей, для выявления закономерностей и зависимостей, которые могли бы помочь производителям избежать дорогостоящих испытаний в производственных условиях для оптимизации технологии и получения необходимых результатов [3].

В работе представлены результаты исследования влияния термической обработки на структуру и свойства электротехнической стали, используемой при изготовлении сердечников трансформаторов тока.

Объектами исследования служили образцы электротехнической стали марки 27JGSD090.

Целью работы было изучение влияния термической обработки в интервале температур от 25 °С до 800°С без последующей закалки на структуру и свойства электротехнической стали, применяемой при