

*Д. О. Завражин, А. Г. Попов*

## ТВЕРДОФАЗНАЯ ЭКСТРУЗИЯ СВМПЭ-НАНОКОМПОЗИТОВ С НАЛОЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ\*

Современные полимерные материалы являются сложными композитами, содержащими наряду с основным полимером ряд ингредиентов, выбор которых определяется условиями эксплуатации готовых изделий. В данной работе в качестве модифицирующего вещества применяли углеродные наноматериалы (УНМ) «Таунит» в виде сыпучего порошка с размером частиц 40...100 нм, что позволяет формировать полимерную матрицу с повышенными прочностными характеристиками. Производитель УНМ «Таунит» – ООО «Нанотехцентр» (Россия, Тамбов).

В настоящей работе использована методика термообработки полимерных композитов электромагнитными волнами. Поскольку углерод является хорошим проводником и темп его нагрева существенно выше, чем полимерной матрицы, то наблюдается более интенсивный нагрев наночастиц; в результате этого вокруг наночастиц образуются зоны локального расплава.

Экспериментально определена кинетика нагрева исследуемых материалов (табл. 1).

Образцы исследуемых материалов выполнены в форме цилиндров диаметром 0,05 м. Порошок углеродного наноматериала подвергали нагреву в стеклянной пробирке такого же диаметра. Температура образцов измеряется термопарой, размещаемой по оси цилиндрического образца. При времени нагрева более 50 с порошок УНМ загорается. Анализ экспериментальных данных по кинетике нагрева показывает, что темп нагрева порошка УНМ (5...8 °С/с) значительно превосходит темп нагрева исходного СВМПЭ (0,05...0,1 °С/с). Указанное обстоятельство является условием возникновения локально расплавленных зон полимера вокруг наночастиц УНМ.

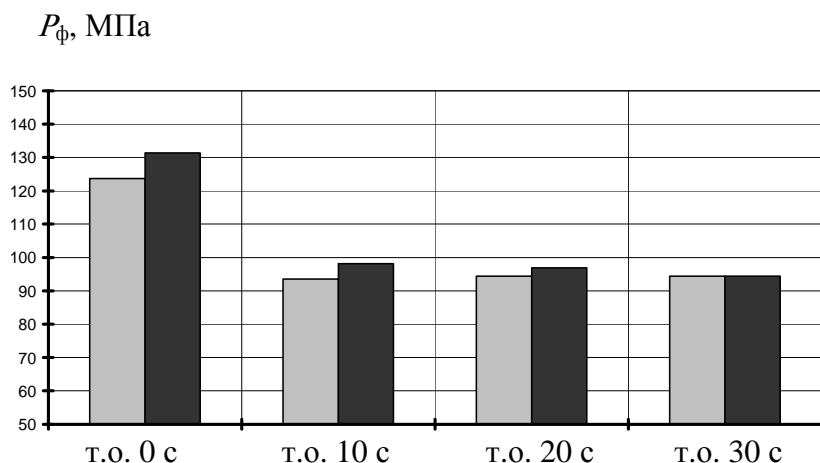
### 1. Кинетика нагрева СВМПЭ, углеродного наноматериала и композитов на их основе

Время нагрева, с	Температура образца, °С			
	порошок УНМ	СВМПЭ исходный	СВМПЭ + + 0,5 м.ч. УНМ	СВМПЭ + + 1 м.ч. УНМ
10	40	30	28	28
20	96	30	30	30
30	136	30	30	31
40	171	32	32	32
50	252	32	34	34
60	–	33	34	35
70	–	34	35	36
80	–	34	38	39
90	–	35	40	42
100	–	35	42	43

Использование теплопроводящих свойств УНМ приводит к локальному нагреву пограничной поверхности полимерной матрицы и углеродного наноматериала. Такой нагрев позволяет, сохраняя все преимущества твердофазного формования (ориентирование макромолекул за счет сдвиговых деформаций с соответствующим увеличением прочностных показателей готового изделия), дополнительно использовать расплавленные локальные зоны вокруг наночастиц для увеличения деформативности заготовок, определяемой структурной подвижностью полимерной матрицы.

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Г.С. Баронина при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках аналитической ведомственной программы «Развитие научного потенциала высшей школы», код РНП 2.2.1.1.5355; Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF) в рамках российско-американской Программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (BRHE) на 2007 – 2010 гг. и Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по Программе «У.М.Н.И.К.–07», проект № 8072.

Использование данного метода нагрева позволяет снизить необходимое давление формования при ТФЭ. Экспериментальные результаты представлены на рис. 1.

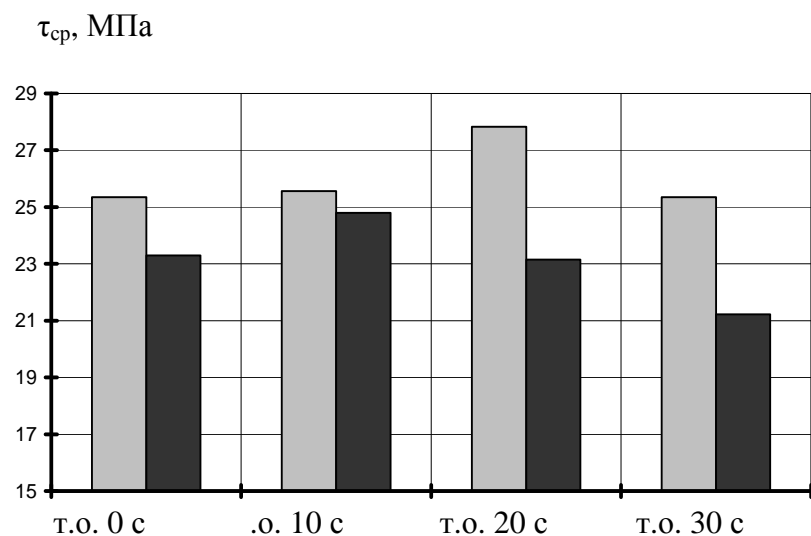


**Рис. 1. Диаграмма зависимости необходимого давления формования  $P_f$  от времени термообработки электромагнитными волнами СВМПЭ + 0,5 м.ч. УНМ (■) и СВМПЭ + 1 м.ч. УНМ (■) при  $\lambda_{\text{экс}} = 2,07$ ,  $T_{\text{экс}} = 298$  К**

Проведенные испытания на срез после обработки по заданной методике показали повышение прочности в условиях срезающих напряжений приблизительно на 8...10 %. Результаты приведены на рис. 2.

Таким образом, оптимальное время СВЧ-нагрева заготовки нанокompозита СВМПЭ + 0,5 м.ч. УНМ составляет 20 с, а композита СВМПЭ + 1 м.ч. УНМ сокращается до 10 с. При этом максимально проявляется положительный эффект предлагаемого способа формования термопластов.

Итак, после проведения термообработки по новой методике для композитов на основе СВМПЭ наблюдается снижение давления формования  $P_f$  (МПа) примерно на 20 % и увеличение прочностных характеристик в области срезающих напряжений (МПа) примерно на 8...10 % по сравнению с образцами, прошедшими твердофазную экструзию при комнатной температуре, качество поверхности полученного по предлагаемому методу композита существенно выше, изделия характеризуются явно выраженной равномерной глянцевой поверхностью. Таким образом, экспериментальная проверка предлагаемого способа формования полимерных углеродных нанокompозитов штамповкой в твердом агрегатном состоянии выявляет ряд указанных выше преимуществ по сравнению с известными способами.



**Рис. 2. Диаграмма изменения прочности в условиях срезающих напряжений  $\tau_{\text{ср}}$  в зависимости от времени термообработки электромагнитными волнами композиций**

**СВМПЭ + 0,5 м.ч. УНМ (■) и СВМПЭ + 1 м.ч. УНМ (■),  
прошедших твердофазное формование при  $\lambda_{\text{экс}} = 2,07$ ,  $T_{\text{экс}} = 298$  К**

По результатам исследований получено положительное решение на патент РФ «Способ формования термопластов».

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М. : Физматлит, 2005. – 416 с.
2. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы / Г.С. Баронин, М.Л. Кербер, Е.В. Минкин, Ю.М. Радько. – М. : Машиностроение-1, 2002. – 320 с.

*НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»*