

*Э. В. Седов, О. П. Бондарева, Д. Э. Седов, О. Б. Крючков, Д. А. Шишкин*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРА  
НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУЧАЕМЫХ  
ЖЕЛЕЗОФТОРОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: tecmat@vstu.ru

Приведены результаты исследований по влиянию обработки взрывом полимера на физико-механические свойства железифторопластовых композиционных материалов. Показано, что прочность при сжатии у материалов, полученных с применением обработки взрывом, выше, чем у аналогичных материалов, компактированных статическим прессованием. Установлены оптимальные температурно-временные параметры спекания железифторопластовых материалов, обеспечивающие высокие показатели прочности и стабильность геометрических форм и размеров заготовок.

*Ключевые слова:* железифторопластовые композиционные материалы, обработка взрывом, прочность при сжатии.

*E. V. Sedov, O. P. Bondareva, D. E. Sedov, O. B. Kryuchkov, D. A. Shishkin*

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF EXPLOSIVE PROCESSING  
OF POLYMER ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS  
OF THE OBTAINED FERROFLUOROPLAST COMPOSITE MATERIALS**

**Volgograd State Technical University**

The results of studies on the effect of polymer explosion treatment on the physical and mechanical properties of ferrofluoroplast composite materials are presented. It is shown that the compressive strength of materials obtained using blast treatment is higher than that of similar materials compacted by static pressing. Optimal temperature and time parameters of sintering of ferrous-fluoroplastic materials have been established, providing high strength and stability of geometric shapes and sizes of workpieces.

*Keywords:* ferrofluoroplast composite materials, explosive processing, compressive strength.

При производстве уплотнительных элементов подвижных соединений и изделий триботехнического назначения широкое использование получили наполненные металлофторопластовые композиционные материалы [1, 2]. Одними из перспективных представляются композиты на основе политетрафторэтилена (фторопласта-4) из-за его уникальных свойств, таких как высокая коррозионная стойкость практически во всех агрессивных средах, высокие антифрикционные свойства (фторопласт имеет самый низкий коэффициент трения по стали), отличные диэлектрические характеристики [3]. Кроме этого, данные материалы

практически не набухают во влажной среде, имеют относительно низкую плотность и широкий температурный интервал эксплуатации, который составляет более 500 градусов, от  $-269$  до  $260$  °C. Однако невысокая адгезионная прочность композитов на основе фторопласта-4 существенно ограничивает области применения этих материалов из-за их низкого предела хладотекучести под нагрузкой. Данная проблема преодолевается модифицированием компонентов композиции с целью повышения их адгезионной активности [2, 4, 5]. Опыт Волгоградского технического университета по ударно-волновой обработке (УВО) энергией взрыва поли-

мерных материалов показал, что явления, наблюдаемые при высокоэнергетическом воздействии на вещество, приводят к протеканию в нем различных физических и химических превращений, что способствует повышению адгезионного взаимодействия между полимером и металлом и, тем самым, обеспечивает более высокую прочность получаемых металлополимерных композиционных материалов [2, 4, 6].

В данной работе исследованию подвергались железифторопластовые дисперсно-упрочненные композиционные материалы со степенью наполнения до 20 %. С целью повышения адгезионной способности предложено в традиционную схему порошковой металлургии получения металлофторопластовых композиций добавить обработку полимера взрывом (рис. 1).



Рис. 1. Технологическая схема получения металлополимерных заготовок методом порошковой металлургии

Для этого полимер предварительно подвергался обработке энергией взрыва накладным зарядом по плоской схеме нагружения давлением 1,9–2,0 ГПа. Полученная таким образом полимерная прессовка измельчалась и смешивалась с порошком железа марки ПЖР5 дисперсностью 50–100 мкм. Далее металлополимерная смесь подвергалась одностороннему прессованию и последующему компрессионному спеканию. В ходе этого процесса заготовка приобретала окончательную когезионную прочность. В работе проводились сравнительные испытания образцов, полученных по традиционной технологии (смешивание + прессование + спекание) и по предложенной с применением взрывной обработки.

Для оценки влияния взрывной обработки на свойства получаемых композиционных материалов в работе применялись физико-механические испытания: оценивалась плотность образцов гидростатическим методом по ГОСТ

15139; проводились термомеханический анализ на установке ТМИ-1 и испытание на сжатие. При испытаниях на сжатие по ГОСТ 4651 применяли образцы полимеров и композиционных материалов цилиндрической формы диаметром 12 мм и высотой 10 мм. Определяли предел прочности при сжатии, соответствующей 20 % относительной деформации. Поскольку изменение толщины образца связано только с изменением его диаметра, величину относительной деформации определяли по формуле

$$\varepsilon_n = \frac{d_h - d_0}{d_0} 100, \quad (1)$$

где  $d_0$  – начальный диаметр;  $d_h$  – диаметр образца после заданного пребывания под нагрузкой, соответствующей 20 % относительной деформации.

Нагружающая система машины для сжатия обеспечивала плавное приложение нагрузки со скоростью 10 мм/мин. Напряжения сжатия рассчитывались по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{4N}{\pi d_n^2}, \quad (2)$$

где  $N$  – сжимающая нагрузка.

По результатам проведенных исследований выявлено, что технология получения железобетонных композиционных материалов с использованием обработанного взрывом полимера не оказывает существенного влияния на плотность получаемых образцов. Плотность испытуемых материалов, компактированных по традиционной схеме с применением статического прессования и по предложенной с использованием обработанного взрывом фторопласта, была практически на одном уровне и составляла 90–95 % от теоретической.

Термомеханический анализ показал, что композиты, полученные с использованием обработанного взрывом полимера, во всем диапазоне

степени наполнения железом, имеют более низкую деформационную способность в интервале температур эксплуатации, вплоть до 260 °С.

Установлено, что железобетонные материалы, полученные с использованием обработанного взрывом полимера, имеют более высокую прочность при сжатии по сравнению с материалами, получаемыми по традиционной технологии (рис. 2). И если при малых степенях наполнения до 10 % железа прирост прочности незначителен (6–8 %), то при наполнении 15–20 % железа прочность возрастает существенно (на 16–18 %). Наибольшей прочностью обладают композиты фторопласта-4 с 20 % железа, причем у материала, полученного с использованием обработанного взрывом полимера  $\sigma_{сж}$  составляет 22–23 МПа, тогда как у материала, полученного по традиционной технологии,  $\sigma_{сж}$  = 18–19 МПа.

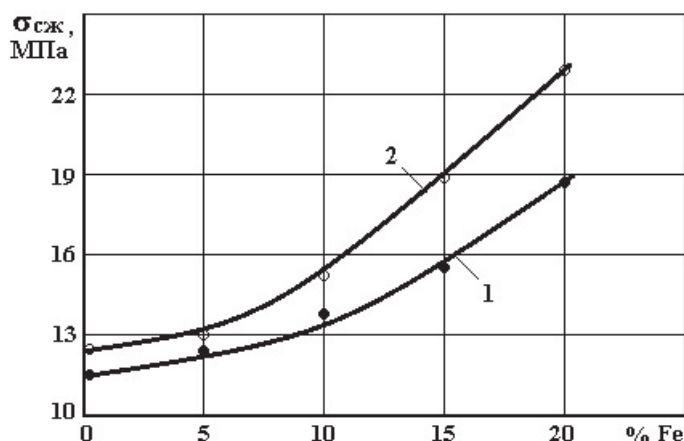


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии железобетонных композиционных материалов от степени наполнения железом:  
1 – статическое прессование; 2 – с использованием прессования взрывом

исследования технологических параметров спекания железобетонных композитов показали (рис. 3), что максимальные значения прочностных характеристик ( $\sigma_{сж}$  = 18–24 МПа)

реализуются в интервале температур 380–410 °С. Более высокие температуры спекания не применяются из-за возможной деструкции фторопласта-4.

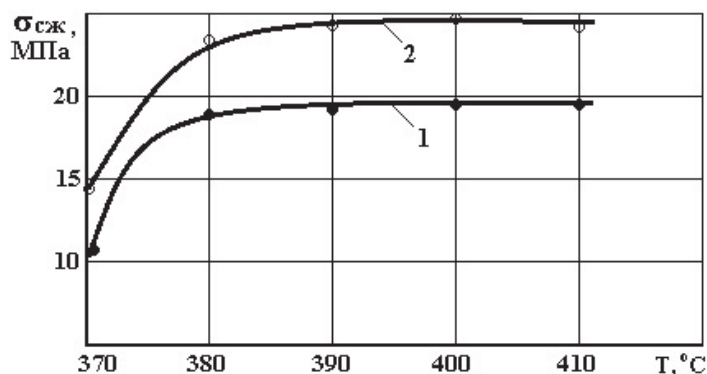


Рис. 3. Зависимость прочности композита фторопласта-4 + 20 железа от температуры спекания:  
1 – статическое прессование; 2 – с использованием прессования взрывом

Оптимальная длительность выдержки при спекании составляет 80–100 минут (рис. 4). При этом для достижения максимальных значений прочности при сжатии образцов, полученных по

традиционной схеме необходимо более длительное спекание, тогда как время спекания образцов, полученных с применением обработанного взрывом полимера, сокращается на 20 минут.

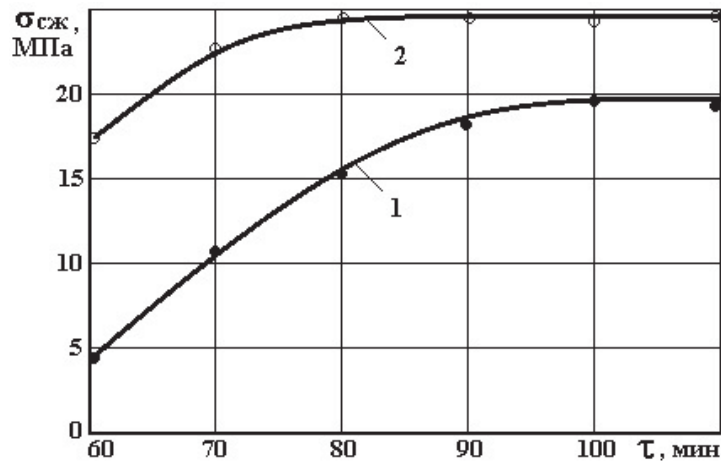


Рис. 4. Зависимость прочности композита фторопласт-4 + 20 железа от длительности спекания при температуре 390 °С:  
1 – статическое прессование; 2 – с использованием прессования взрывом

Таким образом, в результате проведенных экспериментов по выявлению оптимальных температурно-временных параметров спекания удалось повысить прочностные показатели композиционного материала фторопласт-4 + 20 % железа, полученного с использованием обработанного взрывом полимера до 25 МПа, что почти на 20 % больше, чем у материалов, полученных статическим прессованием.

#### Выводы:

1. Выявлено, что использование обработанного взрывом полимера при получении железо-фторопластовых композиционных материалов приводит к увеличению их прочности при сжатии по сравнению с аналогичными материалами, полученными по традиционной схеме с применением статического прессования.

2. Установлено, что стабильность геометрических форм и размеров заготовок из композиционного материала фторопласт-4 + 20 % железа и максимальные значения прочности при сжатии ( $\sigma_{сж} = 25$  МПа) реализуются в интер-

вале температур спекания 380–410 °С и длительности выдержки 80–100 минут.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов, А. П. Новые области применения металлофторопластовых подшипников / А. П. Семенов // Машиностроитель. – 1997. – № 9. – С. 16–29.
2. Опыт применения фторполимерных материалов в авиационной технике / Э. Я. Бейдер, А. А. Донской, Г. Ф. Железина, Э. К. Кондрашов, Ю. В. Сытый, Е. Г. Сурнин // Российский химический журнал. – 2008. – Т. LII. – № 3. – 38 с.
3. Панин, Ю. А. Фторопласты / Ю. А. Панин, С. Г. Малкевич, Ц. С. Дунаевская. – М. : Химия, 1978. – 230 с.
4. Адаменко, Н. А. Взрывная обработка металлополимерных композиций : монография / Н. А. Адаменко, А. В. Фетисов, А. В. Казуров / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – 240 с.
5. Структура и свойства обработанных взрывом дисперсных термопластов / Н. А. Адаменко, Ю. П. Трыков, Э. В. Седов, А. В. Фетисов // Материаловедение. – 2001. – № 1. – С. 36–40.
6. Адаменко, Н. А. Свойства фторопластовых композиционных материалов, полученных взрывным прессованием / Н. А. Адаменко, Ю. П. Трыков, Э. В. Седов // Перспективные материалы. – 1999. – № 4. – С. 68–72.