

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВЫХ И ГРАНУЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ

© 2012 Б.Е. Байгалиев<sup>1</sup>, А.В. Черноглазова<sup>1</sup>, С.В. Темникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева

<sup>2</sup>Луганский национальный университет им. Тараса Шевченко, Украина

Поступила в редакцию 17.10.2012

Предложен способ изготовления композиционного изделия из порошковых и гранулированных полимерных материалов с целью уменьшения энергозатрат и удельного веса материала за счет получения пористой структуры. Исследовано влияние температуры спекания изделий на пористость и механические свойства.

Ключевые слова: композиционные материалы, полимерные материалы, порошок, пористость, энергозатраты, удельный вес, температура спекания, плотность, микротвердость

Для истребителя пятого поколения, разработан особый углепластиковый материал, характеристики которого напрямую зависят от того, насколько однородно сплавлено углеродное волокно и смоляная часть.

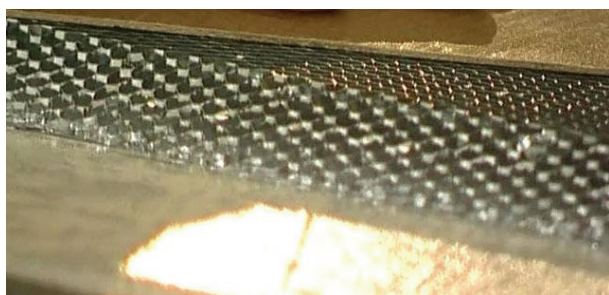
Крыло самолета Т-50 является композиционной конструкцией. Известно, что композиционный материал состоит из трех слоев (см. рис 1.), два из которых непроницаемы, а средний представляет собой ячеистую проницаемую структуру. По прочности такой композит не уступает металлам, по долговечности имеет преимущества и в несколько раз легче.

Вместо алюминиевых сот предлагается использовать пористые полимерные материалы. Преимущества применения полимерных материалов по сравнению с другими материалами объясняется их

невысокой плотностью (плотность алюминия составляет  $2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, а плотность полимеров равна  $0,9-1,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>), возможностью регулирования свойств путем введения различных модифицирующих добавок (наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов и др.), высокими диэлектрическими свойствами, усталостной и химической стойкостью, антифрикционными свойствами и дешевизной исходного сырья, имеют высокую технологичность, поскольку при переработке в готовые изделия отличаются малой операционностью и низкой энергоемкостью. Например, последний показатель у полимерных материалов по сравнению с титановыми сплавами ниже в 20 раз, с алюминиевыми - в 5 раз, со сталью - в 3 раза. Одновременное снижение эксплуатационных затрат на антикоррозионную защиту, смазку и замену изношенных деталей делает выбор полимерных материалов наиболее предпочтительным.

Известны способы переработки полимерных материалов и изготовление изделий из них, которые можно классифицировать на основании физического состояния материала в момент формования: формование из полимеров, находящихся в вязко-текучем состоянии, (литье под давлением, экструзия, прессование и др.); формование из полимеров, находящихся в высокоэластическом состоянии, обычно с использованием листов или пленочных заготовок (вакуумформование, пневмоформование, горячая штамповка и др.); формование из полимеров, находящихся в твердом (кристаллическом или стеклообразном) состоянии, основанное на способности таких полимеров проявлять вынужденную высокоэластичность (штамповка при комнатной температуре, прокатка и др.).

Получение изделий перечисленными способами связано с высокой материалоемкостью и



**Рис. 1.** Образец композита.  
Внутри – алюминиевые соты,  
сверху и снизу – углепластик

*Байгалиев Борис Ергазович, доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ теплотехники.  
E-mail: baigaliev@rambler.ru*

*Черноглазова Алевтина Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения, сварки и структурообразующих технологий.  
E-mail: alevtinac@mail.ru*

*Темникова Светлана Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры математики.  
E-mail: temnikovasvetlana@rambler.ru*

большими энергозатратами [1, 2].

Предметом наших исследований является возможность применения порошковых и гранулированных полимерных материалов для получения изделий с малыми удельным весом и энергозатратами. Предлагаемый способ изготовления изделий из порошковых полимерных материалов заключается в холодном прессовании заготовок в закрытой форме, последующем их спекании и охлаждении. Причем спекание заготовок проводят при температуре ниже температуры плавления полимера. Предлагаемый способ позволяет изготавливать изделия из порошковых полимеров даже в тех случаях, когда температура плавления полимера близка к температуре деструкции.

В первом случае, в качестве полимерного порошка использовали пентапласт. Пентапласт  $[-CH_2C(CH_2C1)CH_2O-]_n$  – бесцветный термопласт, со степенью кристалличности 20-30%, плотностью  $1.4 \text{ г/см}^3$ , температурой плавления  $180^\circ\text{C}$ , твердостью по Бринеллю 80-110 МПа. [3].

Прессование заключается в деформировании некоторого объема порошкового тела обжатием, при котором происходит уменьшение первоначального объема и формирование заготовки (прессовки) заданной формы, размеров и свойств. При приложении давления 0.5–1.0 МПа к порошку его частицы пытаются занять наиболее устойчивое положение, что сопровождается их контактным смятием и сдвигом. Объем порошкового тела при прессовании уменьшается (относительная плотность порошкового тела увеличивается) в результате смещения отдельных частиц в пустоты между ними и за счет деформации частиц. Если после прессо-

вания заготовка обладает достаточной прочностью, то ее вынимают из пресс-формы и спекают. В противном случае процесс спекания заготовки проводится в закрытой пресс-форме. Пресс-форму с изделием помещают в печь для дальнейшего нагрева до температуры ниже температуры плавления полимера с выдержкой при температуре спекания до полного прогрева по всему объему. После спекания пресс-форму охлаждают до температуры стеклования полимера, раскрывают и изделие вынимают.

Для исследования влияния  $t_{сп}$  на механические свойства изделий из пентапласта полученных по данной технологии и их материалоемкость, были изготовлены образцы, температура спекания которых составляла  $0,8 \cdot t_{пл}$ ,  $0,66 \cdot t_{пл}$ ,  $0,4 \cdot t_{пл}$ , где  $t_{пл}$  – температура плавления полимера.

Материалоемкость изделий была охарактеризована двумя независимыми способами: определение пористости поверхности образцов, и определение плотности образцов.

Для определения пористости структура образцов была исследована с помощью оптического микроскопа Axiovert200. На рис. 2 представлены полученные фотомикрографы, снятые при  $50 \times$  увеличении. Количественный анализ изображений был проведен с использованием программного обеспечения Image Processing System (IPS). Данная программа позволяет определить пористость, количество пор на единицу площади, их средний эквивалентный радиус  $R_{ср}$ . Пористость  $\varepsilon$  определили по формуле:

$$\varepsilon = \frac{F_{\Sigma \text{пор}}}{F_{\text{обр}}}$$

где  $F_{\text{обр}}$  – площадь образца,  $F_{\Sigma \text{пор}}$  – суммарная площадь пор.

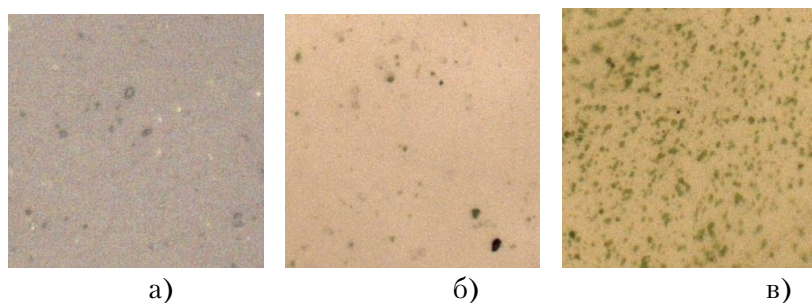
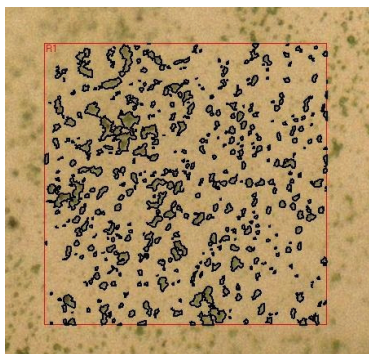


Рис. 2. Фотомикрографы образцов ( $50 \mu\text{м} \times 50 \mu\text{м}$ ): а) образец с температурой спекания  $0,8 t_{пл}$ ; б) образец с температурой спекания  $0,66 t_{пл}$ ; в) образец с температурой спекания  $0,4 t_{пл}$ .

Таблица 1. Количественный анализ структуры поверхности образцов

Температура спекания $t_{сп}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	Количество пор на единицу площади [шт/мм <sup>2</sup> ]	Средний эквивалентный радиус, $R_{ср}$ [мкм]	Пористость, $\varepsilon$ [%]
72 ( $0,4 t_{пл}$ )	$143,8 \cdot 10^3$	0,41	14,15
119 ( $0,66 t_{пл}$ )	$33,4 \cdot 10^3$	0,44	2,98
144 ( $0,8 t_{пл}$ )	$7,8 \cdot 10^3$	0,47	0,70



**Рис. 3.** Фотомикрoграф образца, изображенного на рис. 2в при обработке программой IPS

Фотомикрoграф образца с  $t_{сп} = 0,4 \cdot t_{пл}$  (рис. 1в) при обработке программой IPS представлена на рис. 3.

Результаты количественного анализа структуры поверхности образцов представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что с увеличением температуры спекания пористость снижается, уменьшается количество пор на единицу площади, при этом средний эквивалентный радиус остается постоянным в пределах стандартного отклонения.

Для образца с  $t_{сп} = 0,66 \cdot t_{пл}$  была также определена плотность. Плотность определяли dilatометрическим методом. Измерения плотности образца при комнатной температуре проведены методом гидростатического взвешивания на аналитических весах АДВ–2М. В качестве иммерсионной жидкости использован изооктан эталонный ГОСТ 12433–83. Предел допускаемой основной погрешности не превышал 0,1%.

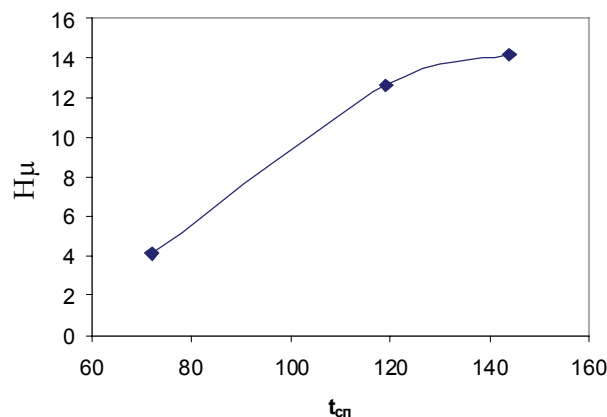
В результате измерений было определено, что плотность этого образца составила  $0,94 \cdot \rho_0$ , где:  $\rho_0$  – плотность образца, полученного при температуре  $t_{сп} = t_{пл}$ .

Обе методики оценки материалоемкости показывают, что предлагаемый способ изготовления при  $t_{сп} = 0,66 \cdot t_{пл}$  позволяет уменьшить материалоемкость изделий из порошковых полимерных материалов на 3-6%.

Отличия в результатах полученных разными методиками можно объяснить тем, что измерение плотности производилось в общем объеме, а анализ пористости на поверхности образца, где  $t_{сп}$  вероятно была выше, чем в глубине образца, в результате чего спекание было более сильным и количество пор меньшим, чем в объеме.

На рисунке 4 рассмотрено влияние температуры спекания  $t_{сп}$  на микротвердость изделий Н $\mu$ . Микротвердость Н $\mu$  полученных образцов определена на микротвердомере НХ 1000-ТМ.

Снижение температуры спекания приводит к



**Рис. 4.** Влияние температуры спекания  $t_{сп}$  на микротвердость изделий Н $\mu$ .

увеличению пористости материала, что снижает материалоемкость, но в тоже время приводит к снижению твердости изделий. Использование  $t_{сп} = 0,66 \cdot t_{пл}$  для изготовления изделий из пентапласта позволяет снизить материалоемкость минимально ухудшая механические свойства изделия.

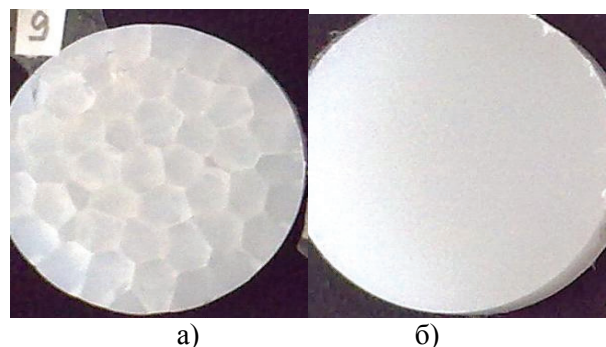
На данный способ получен патент РФ №2404055, МПК C08J51/00, B29C43/56 опубликованный 20.11.2010. «Способ изготовления изделий из порошковых полимерных материалов».

В качестве гранул применяли полиэтилен низкого давления (ТУ/ТУ 2211-145-05766801). Полиэтилен- бесцветный термопласт, плотность 0,95-0,97 Мг/м<sup>3</sup>, температура плавления 129-135°С. Показатель текучести расплава (при 190°С/2,16 кг) зависит от назначения полиэтилена и находится в широких пределах от 0,85 до 65 (г/10 мин).

Прессование осуществляется при давлении 3 МПа. Температура спекания 110-140°С. После спекания пресс-форма охлаждается до температуры стеклования полимера 30°С, пресс-форма раскрывается, изделие вынимается.

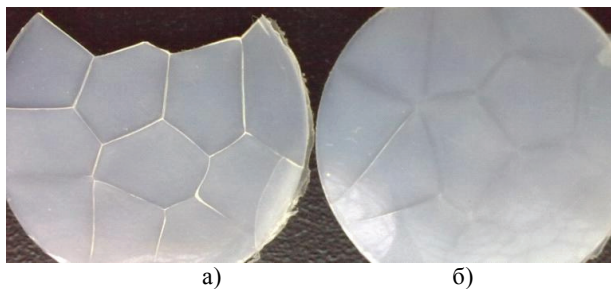
На рис. 5 представлен внешний вид образцов полученных по данной технологии.

Изделие, полученное при температуре спекания  $t_{сп}$  ниже температуры текучести  $t_t$  поли-



**Рис. 5** Фотографии образцов: пористый образец (а), образец без пор (б).

а –  $t_{сп} = 0,58 \cdot t_t$ , ( 110°С)  $\rho_{сп} = 0,95 \rho_0$   
 б –  $t_{сп} = 1,00 \cdot t_{пл}$ , ( 190°С)  $\rho_0 = 1,00$



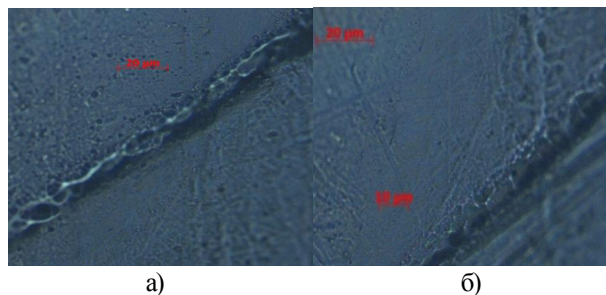
**Рис. 6.** Фотографии образцов:  
а –  $t_{\text{сп}} = 0,77t_{\text{т}}$ , ( $133^{\circ}\text{C}$ ); б –  $t_{\text{сп}} = 0,8 \cdot t_{\text{т}}$ , ( $140^{\circ}\text{C}$ )

мера ( $t_{\text{сп}} = 0,58 t_{\text{т}}$ ), имеет плотность образца  $\rho_{\text{сп}} = 0,95 \cdot \rho_0$ , где:  $\rho_{\text{сп}}$  – плотность образца, полученного при температуре спекания  $t_{\text{сп}}$  ниже температуры текучести полимера,  $\rho_0$  – плотность образца, полученного при температуре спекания  $t_{\text{сп}}$  равной температуре текучести  $t_{\text{т}}$  полимера.

Изделие, полученное при температуре спекания равной температуре текучести полимера ( $t_{\text{сп}} = 1,00 \cdot t_{\text{т}}$ ), имеет  $\rho_0 = 1,00$ .

На рис. 6 представлены образцы, полученные при прессовании гранул уложенных в форму в один слой (давление – 3МПа, 5 минут выдержки).

Структура образцов была исследована с помощью оптического микроскопа Axiovert200. На рис. 7 представлены полученные фотомикрографы, снятые при  $50\times$  увеличении.



**Рис. 7.** Фотомикрографы образцов:  
а – образец с температурой спекания  $0,8 t_{\text{т}}$ ;  
б – образец с температурой спекания  $0,7 t_{\text{т}}$

На рис. 7,а наблюдается наличие сварного шва, что и придает изделию повышенную прочность.

Таким образом, предложен способ изготовления композиционных материалов с использованием изделий полученных из полимерных порошков и гранул, позволяющий уменьшить удельный вес.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по пластическим массам [под ред. В.М. Катаева]. 2 изд. Т. 1, М., 1975;
2. Мулин Ю.А. Защитные покрытия и футеровки на основе термопластов. Л., 1984.
3. Мулин Ю.А., Ярцев И.К. Пентапласт, Л., 1975.

### COMPOSITE MATERIALS BASED ON POWDERED AND GRANULATED POLYMERS

© 2012 B.E. Baygaliev<sup>1</sup>, A.V. Chernoglazova<sup>1</sup>, S.V. Temnikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev

<sup>2</sup> Luhansk National University named after Taras Shevchenko, Ukraine

A method to fabricate composite products from the powdered and granulated polymer materials, which aim to decrease the lost of energy and the specific weight of material by using porous structures. Investigated the effect of sintering temperature of products on the porosity and mechanical properties.

Keywords: composite materials, polymeric materials, powder, porosity, energy consumption, specific weight, sintering temperature, density, micro hardness

*Boris Baygaliev, Doctor of Technics, Professor at the Theoretical Bases of Heat Techniques Department.*

*E-mail: baigaliev@rambler.ru*

*Alevtina Chernoglazova, Candidate of Technics, Associate Professor at the Materials Science, Welding Technology and Structure Department. E-mail: alevtinac@mail.ru*

*Svetlana Temnikova, Candidate of Technics, Associate Professor at the Mathematics Department .*

*E-mail: temnikovasvetlana@rambler.ru*