

Cases, frames and glass should be a guarantee of healthy and quiet life, contributing thermal comfort, air quality in inner areas, optic conformity, acoustic conformity and security. Meantime they should assure the proper ratio on yield, function, time and costs.

**Conclusion.** In practice energy conservation is the reduction of the required amount of energy for the concrete result. Efficient energy use means technological application for efficient resolution in the covering of energetic needed data. (Ex. Preservation of desired temperature, while we have the reduction of the energy in heating/cooling, by using with efficiency thermal insulation or devices, profitable installation, etc.). Essentially it refers to the rapport between the amount of energy consumed in practice and the initial amount of energy used.

*А. БИША, А. ЛОНДО*

### **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ И СТЕКЛЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Эффективность использования энергии определяется применением технологий для снижения энергетических затрат (например: сохранение желательной температуры при сокращении затрат энергии на нагревание/охлаждение путем использования эффективной термоизоляции или экономичного оборудования и т.д.). Приведена оценка эффективности, которая определяется связью между количеством расходуемой энергии и ее начальным количеством.

Получено 16.03.2010

**ISBN 978-985-468-707-0. Механика. Научные исследования  
и учебно-методические разработки. Вып. 4. Гомель, 2010**

---

УДК 620.22 : 678.675

*С. П. БОГДАНОВИЧ*

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого  
Национальной академии наук Беларуси, Гомель*

### **ВЛИЯНИЕ ВОДЫ, УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА И САЖИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАМИДА 6**

В работе исследовано влияние количества сорбируемой воды и углеродного наполнителя (углеволокно и технический углерод) на удельное объемное электрическое сопротивление и физико-механические свойства полиамида 6 (ПА6). Содержание наполнителя варьировали в диапазоне от 0 до 40 мас. %. Установлено, что влияние воды на электропроводность ПА6 неоднозначно и зависит от концентрации углеродного наполнителя, кроме того, вода смещает температуру стеклования ПА6 в область более низких температур. Установлена предельная концентрация углеродного наполнителя, при которой начинают образовываться «цепочки» проводимости примерно 20 мас. %.

**Введение.** Замена металлов на композиционные материалы (композиты) на базе термопластов при изготовлении деталей технического назначения не всегда возможна. Одним из препятствий при этом является высокое электрическое сопротивление (более  $10^{12}$  Ом·м) полимерных материалов [1], что приводит к накоплению статического электричества и существенно снижает уровень безопасности машин и механизмов, в которых используется данная деталь. Поэтому при разработке композитов используются специальные приемы, направленные на снижение их электрического сопротивления [1–3].

Наиболее распространенным методом повышения электропроводности является наполнение полимерной матрицы добавками с низким удельным электросопротивлением: угле- и металлические волокна, сажа, порошки металлов и др. [1]. Важным преимуществом углеродов (УВ) перед другими типами наполнителей является возможность создания при их использовании материалов с высоким уровнем показателей механических свойств и пониженным электросопротивлением. Однако наполнение полимеров УВ приводит к повышению стоимости композитов. Кроме того, в настоящее время не до конца изучено влияние сорбируемой воды на электрофизические свойства углепластиков [1, 4]. Поэтому **цель** настоящей работы – изучение физических свойств полиамида при гибридном наполнении и воздействии воды.

**Материалы и методы исследований.** В качестве полимерной матрицы использовали полиамид 6 (ПА6) марки 210/310 (ОАО «Гродно Химволокно»), дисперсный наполнитель – технический углерод (ТУ) с удельной внешней поверхностью ( $S_B$ )  $82 \text{ м}^2/\text{г}$ , волокнистый наполнитель – лента углеродная марки ЛО-1-12 (РУП «СПО «Химволокно»), стабилизатор (Ст) термоокислительной деструкции полиамидов. Композиции получали на экструзионно-грануляционной линии на базе двухшнекового экструдера TSK 35/40 ( $D = 35 \text{ мм}$ ,  $L/D = 40$ ).

Для исследования влияния концентрации воды на электропроводность углепластиков образцы в виде дисков диаметром 50 мм и толщиной 2 мм предварительно высушивали до остаточной влажности 0,12 мас. %, а затем помещали в дистиллированную воду и выдерживали 1, 2, 4, 8 и 12 часов. Количество сорбированной воды определяли по изменению массы образца. Перед испытаниями диски хранили в герметично запаянных полиэтиленовых пакетах. Удельное объемное электрическое сопротивление определяли по ГОСТ 6433.2-71. Механические свойства материалов определяли по стандартным методикам.

**Результаты исследований.** Введение углеродов неоднозначно влияет на важнейшие эксплуатационные свойства ПА6 (таблица 1): повышает прочность при растяжении  $\sigma_p$  и прочность при сжатии  $\sigma_{сж}$ , но снижает относительное удлинение при разрыве  $\epsilon_p$  и ударную вязкость  $a$ . При введении УВ более 30 % отмечено снижение  $\sigma_{сж}$  и замедление роста  $\sigma_p$ , т. е. с дальнейшим увеличением концентрации УВ следует ожидать падения и других показателей механических свойств.

Таблица 1 – Механические свойства ПА6 и углепластиков на его основе

Компоненты и их содержание, масс. % <sup>1)</sup>	$\sigma_p$ , МПа	$\epsilon_p$ , %	$\sigma_{сж}$ , МПа	$a$ , кДж/м
ПА6	64	370	78	8,1 <sup>2)</sup>
ПА6 + 10 % УВ + 0,2 % Ст	90	28	114	54
ПА6 + 20 % УВ + 0,2 % Ст	114	7	140	48
ПА6 + 30 % УВ + 0,2 % Ст	138	7	168	40
ПА6 + 40 % УВ + 0,2 % Ст	140	5	160	33

<sup>1)</sup> Здесь и далее концентрация, мас. %;  
<sup>2)</sup> Ударная вязкость, определенная на образцах с острым надрезом.

Существенное влияние на удельное объемное электрическое сопротивление  $\rho_V$  углепластиков на основе полиамида 6 оказывает количество сорбированной им воды (рисунок 1). При содержании УВ до 20 % увеличение концентрации сорбированной воды приводит к снижению  $\rho_V$  в  $\approx 10^4$  раз. При насыщении водой углепластиков с содержанием УВ 10, 15 и 20 % значение  $\rho_V$  стремится к величине  $10^9$  Ом·м. Для первых двух концентраций снижение  $\rho_V$ , вероятнее всего, обусловлено отсутствием «цепочек» проводимости вследствие недостаточного количества углеродных волокон в полимерной матрице. Поглощаемая полимером вода, обладая заметно более низким электрическим сопротивлением по сравнению с полиамидной матрицей, снижает электрическое сопротивление в местах разрыва «цепочек» из волокон, приводя к общему снижению  $\rho_V$  до уровня, характерного для антистатических материалов.

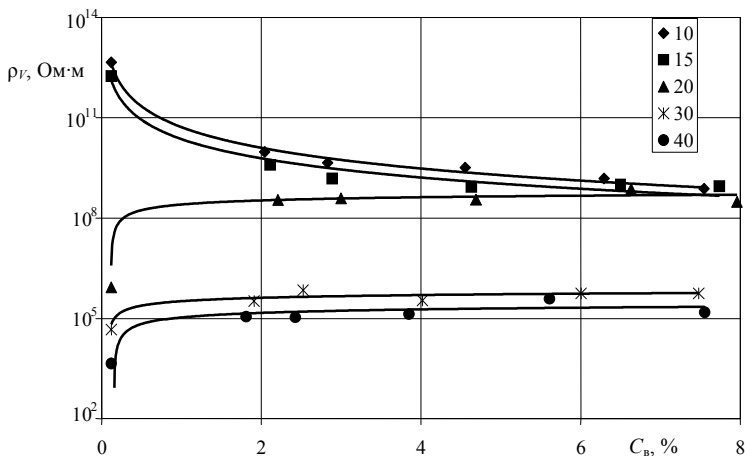


Рисунок 1 – Зависимость удельного объемного сопротивления ( $\rho_V$ ) ПА6 от концентрации сорбированной воды ( $C_B$ )

В то же время при концентрации УВ 20 % сорбирование воды вызывает обратный эффект – увеличение  $\rho_V$ . Довольно низкий  $\rho_V$  для высушенного материала ПА6 + 20 % УВ обусловлен тем, что данного количества волокна в композиции достаточно для образования «цепочек» проводимости. Однако, поскольку их число невелико проводимость указанной композиции оказывается весьма чувствительной к количеству сорбированной воды. Поглощенная вода, воздействует на полимерную матрицу, приводя к ее набуханию и разрушению «цепочек», образуемых углеволокнами и, таким образом, вызывает значительный рост  $\rho_V$ .

Аналогичный процесс происходит и в композициях с содержанием УВ 30 и 40 %, однако в этом случае количество «цепочек» проводимости существенно больше и полного их разрушения не наблюдается. Это выражается в менее значительном росте  $\rho_V$  с увеличением количества сорбированной воды.

Следует отметить, что углеволокно является одним из наиболее дорогостоящих электропроводных наполнителей, поэтому в большинстве случаев возможно лишь ограниченное его использование. Для замены УВ при создании антистатических полимерных композиционных материалов перспективным может являться комбинированное наполнение: углеволокно + технический углерод (УВ + ТУ). Поэтому представляло интерес экспериментально оценить  $\rho_V$  в таких композитах. В качестве матрицы при этом использовали углепластик с минимальным из исследуемых содержанием УВ – 10 %. Образцы для определения электропроводности полученных материалов представляли собой диски, которые кондиционировали на открытом воздухе 24 часа.

Введение ТУ в матрицу ПА6 + 10 % УВ снижает ее ударную вязкость и относительное удлинение при разрыве (таблица 2). Однако до концентрации ТУ 15 % происходит увеличение прочности при растяжении до 104 МПа, что сопоставимо с углепластиком, содержащим 20 % УВ.

**Таблица 2 – Показатели механических свойств ПА6+10 %УВ с различным содержанием ТУ**

Содержание ТУ в ПА6+10 %УВ + 0,2 %Ст, %	$\sigma_p$ , МПа	$\varepsilon_p$ , %	$a$ , кДж/м
10	97	14	29
15	104	10	28
20	92	7	23
30	80	6	16

Добавки ТУ в композицию ПА6+10 % УВ до 15 % лишь незначительно уменьшают ее удельное объемное сопротивление (рисунок 2). Однако с дальнейшим ростом содержания ТУ в композиции (более 20 %) снижение  $\rho_V$  происходит более интенсивно и при 30 % ТУ,  $\rho_V$  составляет  $\approx 10^6$  Ом·м, что сопоставимо с  $\rho_V$  для композиции ПА6 + 30 % УВ. Можно полагать, что «цепочки» проводимости начинают формироваться, когда концентрация ТУ превышает 15–20 %, при этом на кривой зависимости  $\rho_V$  от  $C_v$  наблюдается перегиб.

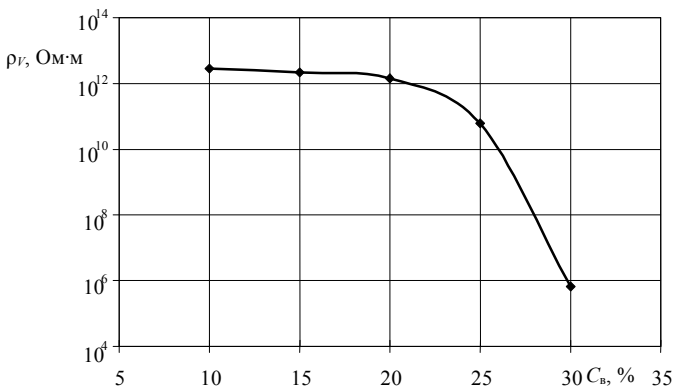


Рисунок 2 – Зависимость удельного объемного сопротивления ( $\rho_v$ ) ПА6+10 % УВ от концентрации ТУ ( $C_b$ )

Было также установлено, что вода, сорбируемая ПА6, не только оказывает влияние на электропроводность полимера, но и существенно (на 60–70 °С) снижает его температуру стеклования, рисунок 3, *а*. Важно отметить, что модуль упругости материала в диапазоне от –20 до +80 °С снижается почти на один десятичный порядок (рисунок 3, *б*).

**Заключение.** Установлено, что диапазон концентраций ТУ в полиамиде 6, содержащем 10 % углеволокна, в котором начинают образовываться «цепочки» проводимости, составляет примерно 15–20 %, а при достижении 30 % удельное объемное электрическое сопротивление ( $\rho_v$ ) уменьшается до  $10^6$  Ом·м, что соответствует уровню углепластика с 30 %-ным содержанием УВ.

На основании результатов выполненных исследований предложены рецептуры композиций, содержащих комбинированный наполнитель (ПА6+10 %УВ+15 %ТУ, ПА6+10 %УВ+30 %ТУ), с электротехническими свойствами близкими к таковым для УПА6-15 и УПА6-30, выпускаемых РУП «СПО «Химволокно», и имеющего более низкую стоимость.

Выявлено, что присутствие воды в составе ПА6 снижает его температуру стеклования на 60–80 °С, модуль упругости в диапазоне температур от –20 до +80 °С – до 10 раз. Указанные изменения необходимо учитывать при изготовлении деталей из ПА6 и композитов на его основе, работающих в средах с повышенной влажностью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электрические свойства полимеров / В. И. Сажин [и др.]. – Л.: Химия, 1986. – 224 с.
- 2 Morphology and electrical conductivity of injection-molded polypropylene/carbon black composites with addition of high-density polyethylene / H. Yui [etc.] // Polymer. – 2006. – Vol. 47.– P. 3599–3608.

3 Effect of Carbon Black on Electrical Property of Graphite Nanoplatelets/Epoxy Resin Composites / Zh. Fan [etc.] // Polymer engineering and science. – 2009. – Vol. 49. – P. 2041–2045.

4 **Men, Y.** Temperature dependent wide angle X-ray diffraction studies on the crystalline transition in water saturated and dry polyamide 6/66 copolymer / Y. Men, J. Rieger // European Polymer Journal.– 2004. – Vol. 40. – P. 2629–2635.

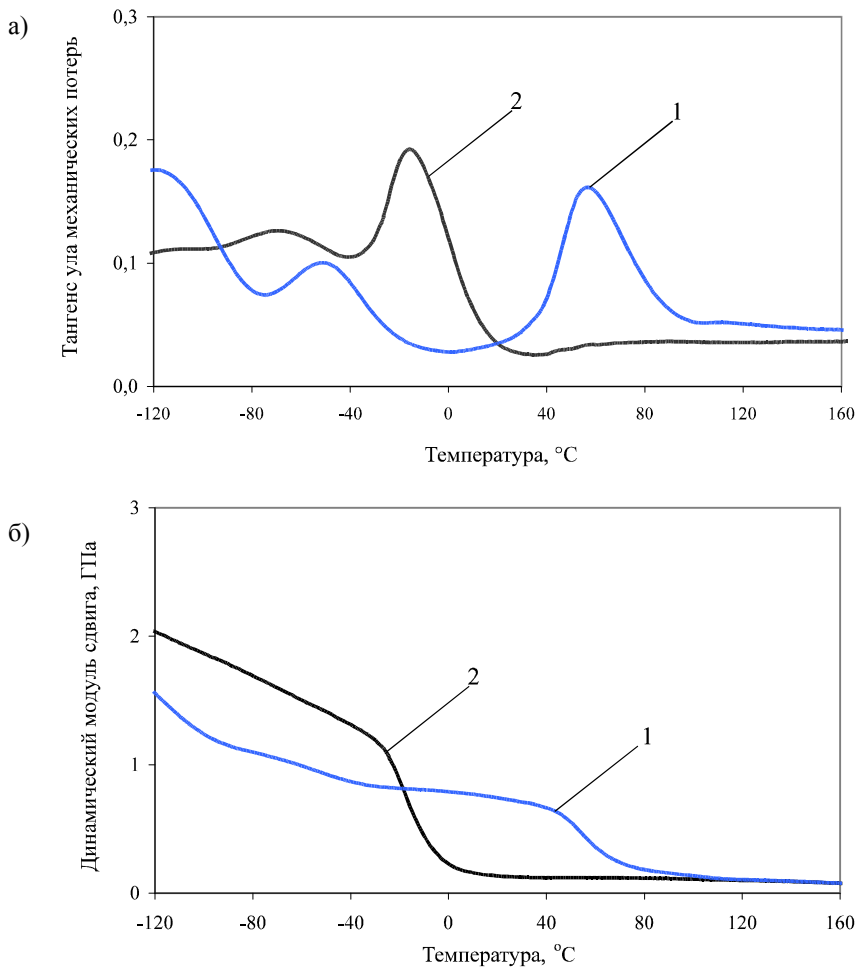


Рисунок 3 – Зависимости тангенса угла механических потерь и динамического модуля сдвига от температуры:

1 – высушенный ПА6; 2 – насыщенный до равновесного состояния водой ПА6

*S. P. BOGDANOVICH*

## **WATER, CARBON FIBRE AND CARBON BLACK EFFECTS ON PHYSICAL PROPERTIES OF POLIAMIDE 6**

In this paper the influence of the amount of sorbate water and carbonic fillers (carbon fiber and carbon black) on the specific volume electric resistance and physical-mechanical properties of polyamide 6 (PA6) has been analysed. The content of filler has been varied from 0 to 40 wt. %. It has been determined that water effect on PA6 electrical conduction is ambiguous and depends on the concentration of carbon filler in addition to water reduction of PA6 glass-transition temperatures. The boundary concentration of carbon filler when the formation of the conduction "chains" of about 20 wt. % starts has been defined.

Получено 24.12.2009

**ISBN 978-985-468-707-0. Механика. Научные исследования  
и учебно-методические разработки. Вып. 4. Гомель, 2010**

---

УДК 621.785.5

*А. И. ВЕРЕМЕЙЧИК, М. И. САЗОНОВ, В. М. ХВИСЕВИЧ*

*Брестский государственный технический университет, Беларусь*

## **ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАЗМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЧУГУННЫХ МАТРИЦ**

В работе изучены особенности плазменного упрочнения деталей из чугуна на примере матриц штамповочного прессы. Проведено исследование влияния выходных параметров плазменной дуги на фазовый состав, микроструктуру и прочность поверхностного слоя. Рассмотрены особенности закалки сталей и кромок режущих инструментов.

**Введение.** Для повышения надежности и долговечности деталей, экономии энергетических ресурсов используются различные способы упрочнения металлоизделий. работа посвящена изучению особенностей плазменного упрочнения деталей из чугуна на примере матриц штамповочного прессы. Традиционно для их упрочнения используют объемную термическую закалку [1]. Как показали исследования и практика, при таком способе упрочнения происходят большие затраты электроэнергии, времени и других ресурсов; кроме того, невозможно произвести закалку с постоянной твердостью. В области кромок деталей возникают значительные напряжения, которые в процессе эксплуатации приводят к возникновению трещин и разрушению детали. Для решения этой проблемы предлагается применить поверхностную плазменную закалку (ППЗ) при помощи сжатой движущейся плазменной дуги, горящей в потоке аргона [2, 3, 5].

Применение такого высококонцентрированного источника нагрева позволяет существенно снизить затраты энергии, осуществлять поверхностную за-