

УДК 678.83:620.178

СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДОВ

Ткаченко Э. В.¹, Буря А. И.², Толстенко Ю. В.¹

¹*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия*

²*Днепропетровский государственный технический университет, Каменское, Украина*

E-mail: tkelly@rambler.ru

Изучено влияние дисперсных и волокнистых наполнителей на основные эксплуатационные характеристики полимерных композитов на основе алифатических и ароматических полиамидов. Показано, что армирование полиамидов наполнителями позволяет получить композиционные материалы с высокими показателями прочности, твердости, модуля упругости, химической стойкости, износостойкости. Благодаря высоким эксплуатационным характеристикам полиамидные композиты наиболее целесообразно использовать в качестве конструкционных материалов в машиностроении.

Ключевые слова: полимерные композиты, полиамиды, наполнители, свойства.

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) в настоящий период являются самым многочисленным и бурно развивающимся в развитых странах видом современных материалов. Эти материалы постоянно находятся в режиме обновления и совершенствования. Помимо улучшения свойств материалов, постоянно ведутся работы по совершенствованию технологии производства изделий из них, а также технологий сборки и диагностики эксплуатационной надежности. Огромные средства, исчисляемые сотнями миллионов долларов, и усилия лучших исследовательских центров направлены на работы, связанные с технологией специальных ПКМ. И это не только потому, что результаты работ могут быть использованы во многих отраслях промышленности, а главным образом потому, что получаемые материалы обладают уникальными и прогнозируемыми свойствами, обеспечивая научно-технический прорыв, стратегическую и экономическую безопасность страны. Развитие мировой химической промышленности в третьем тысячелетии характеризуется бурным ростом индустрии полимерных материалов (ПИМ), основными направлениями которой являются улучшение качества полимеров и совершенствование методов их переработки, создание новых пластиков, а также расширение областей их применения [1].

Важной спецификой современных ПКМ является то, что отдельные их модификации создаются под конкретное применение, что предопределяет их огромный ассортимент. Потребление ПКМ в развитых странах (Западная Европа) по отраслям явно неравномерно: – упаковка 35–39 %; – строительство 18–25 %; – автомобилестроение 10–25 %; – энергетика (электроника / электротехника) 7–12 %;

– мебельная промышленность и производство товаров народного потребления 4–15 % [2].

Одно из ведущих мест в индустрии пластмасс отводится вопросам создания новых ПМ с повышенными эксплуатационными характеристиками. К числу наиболее перспективных полимерных связующих относятся полиамиды (ПА). Отличительной чертой ПА является наличие в основной молекулярной цепи повторяющейся амидной группы $-\text{CO}-\text{NH}-$. Различают алифатические и ароматические ПА; известны также ПА, содержащие в основной цепи как алифатические, так и ароматические фрагменты.

Алифатические ПА, являющиеся многофункциональными конструкционными материалами, которые в 6–7 раз легче бронзы и стали, с успехом используются для замены цветных металлов и их сплавов. Они отличаются прочностью, имеют низкий коэффициент трения в паре с любыми металлами, хорошо и быстро прирабатываются; износ пар трения при использовании деталей из ПА снижается в 1,5–2 раза, при этом трудоемкость их изготовления уменьшается на 35 %, а стоимость – на 50 % по сравнению с изделиями из металла (сталей и бронзы); устойчивы к воздействию масел, спиртов, эфиров, щелочей и слабых кислот.

Благодаря улучшенным характеристикам доля ПА 6 на мировом рынке термопластичных конструкционных материалов в настоящее время достигает 30 %, а общий мировой объем производства этого полимера составляет 3,4 млн тонн [3]. К недостаткам алифатических ПА относятся значительное снижение физико-механических характеристик во влажной среде, низкая стабильность прочностных и электроизоляционных свойств, а также недостаточно высокая точность размеров изделий из них.

Для работы в экстремальных условиях (при больших статических и динамических нагрузках, в широком температурном интервале, в условиях интенсивного трения) более целесообразно применять изделия из ароматических ПА – фенилонов. Ароматические ПА являются полярными соединениями с сильным межмолекулярным взаимодействием за счет водородных связей. Эти особенности макромолекул обуславливают и особенности эксплуатационных свойств материалов на основе данных полимеров. Фенилоны негорючи и химически устойчивы к действию топливных масел, их работоспособность сохраняется при 153–553 К. По прочности они уступают лишь армированным пластикам, композиции на их основе могут применяться в узлах трения с удельными нагрузками до 50 МПа [4–6].

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДОВ

Одним из наиболее важных преимуществ ПА является низкий коэффициент трения при смазке маслом (0,05–0,10) и повышенная износостойкость. Однако при работе в условиях без смазки коэффициент трения ПА резко возрастает, а недостаточно высокие теплопроводность, несущая способность и стойкость по отношению к маслу и влаге ограничивает области применения изделий из ПА [7]. Учитывая это, для повышения основных эксплуатационных характеристик весьма

целесообразным является введение в состав полиамидных связующих дисперсных и волокнистых наполнителей (Нп).

1. Стекло- и базальтопластики на основе полиамидов

Одними из широко используемых волокнистых Нп полиамидных связующих являются стеклянные волокна (СВ). Введение в ПА стекловолоконного Нп позволяет получить материал с увеличенной прочностью, жесткостью, теплостойкостью, менее растрескивающийся в условиях повышенных и пониженных температур. При этом значительно снижается усадка и коэффициент линейного расширения. Эластичность материала и сопротивление к истиранию у стеклонаполненного материала – стеклопластика (СП) меньше, чем у ненаполненного. Кроме того, СВ дешевы, хорошо отработан процесс изготовления пластиков на их основе. В течение последних 20–30 лет СП с успехом применяются в качестве изделий авиационной техники, в автомобилестроение и при производстве спортивных товаров и т. п.

В настоящее время самыми популярными являются СП на основе ПА 6 и ПА 66. По сравнению с полимерной матрицей СП, содержащие 15–30 % СВ, отличаются высокой жесткостью, ударной вязкостью и стойкостью к термокороблению, а также имеют более низкий коэффициент трения и износ [8].

В [9] с целью создания новых СП с повышенной теплостойкостью и механическими свойствами ПА 6 армировали длинными отрезками комплексных стеклянных нитей, массовая доля которых в материалах марок ПА 6 210 ДС, ПА 6 211 ДС и ПА 6 10 ДС изменялась от 27 до 34 масс. %. Разработанные СП обладают высокой ударной вязкостью (50–60 кДж/м²), предел рабочих температур составляет 213–383 К, имеют изгибающее напряжение при разрушении не менее 250 МПа и прочность при разрыве – 140–170 МПа. Материалы не токсичны и при нормальных условиях не оказывают вредного воздействия на организм человека, обладают высокими электрическими свойствами и предназначены для изготовления литьем под давлением различных изделий конструкционного, электротехнического и общего назначения [10]. Обеспечивая высокие механические и теплофизические свойства ПК, СВ в то же время имеют ряд недостатков: относительно высокую плотность, хрупкость, способность вызывать абразивный износ рабочих органов оборудования для переработки пластмасс, зависимость свойств от внешней среды, обусловленную гидрофильностью волокон [11–13].

Поиск новых, более дешевых и доступных Нп для создания суперсовременных ПК продолжается, что заставляет обращать внимание, в частности, и на базальтовые волокна (БВ) как заменители в ряде случаев СВ [14]. Базальтовые волокна имеют существенные преимущества по показателям теплостойкости, химической стойкости и водостойкости перед СВ. Они обладают значительно меньшей гигроскопичностью, чем СВ (примерно в 10 раз), благодаря чему существенно снижаются энергозатраты, связанные с удалением влаги, и снижаются трудозатраты на изготовление продукции [15].

Полимерные композиты, армированные БВ – базальтопластики (БП) во многом близки к СП. Однако более высокая стойкость БВ к кислотам и щелочам по сравнению со СВ позволяет получать более хемостойкие материалы. В качестве Нп используются рубленые БВ, нити, жгуты, ткани, нетканые материалы, в редких случаях – бумаги. Базальтопластики являются высококачественными конструкционными материалами с высокими механическими свойствами, термо- и огнестойкостью и особенно хемостойкостью. Поскольку БВ более стойки к действию влаги, чем стекловолоконистые материалы, и мало изменяют свои диэлектрические характеристики при увлажнении, они используются также как высокотемпературные конструкционные диэлектрики. [16].

В [17] разработана технология получения и исследовано влияние технологических параметров литья под давлением на механические свойства БП на основе ПА 6. Авторами работы показана перспективность обработки поверхности БВ в кислой среде.

Новые ПК с повышенными прочностными характеристиками, термо- и теплостойкостью, антистатическими свойствами получены в [17] введением в состав ПА 6 базальтовых нитей. Изучению влияния содержания БВ на свойства БП на основе ароматического ПА – фенилон С-2 посвящены также работы [18; 19]. Методами математического исследования эксперимента и поиска оптимальных решений в [19] исследовано влияние концентрации БВ на теплопроводность и износ ПК на основе ароматического ПА.

Значительный интерес при работе с такими сложными системами, как БП и СП представляет изучение релаксации напряжений, долговременной прочности, механизма разрушения и возможности применения различных приемов увеличения прочности данных ПК с целью расширения областей использования. В результате проведенных работ [14] показано, что БП имеют физико-механические показатели, близкие к стекловолокнистым.

2. Углепластики на основе полиамидов

К числу эффективных способов улучшения свойств ПА относится армирование их химическими волокнами (Вл). И хотя применение Вл несколько ограничивает выбор методов армирования, затрудняет изготовление изделий сложной формы, однако комплекс ценных свойств, задаваемый ПК, и возможность их вариаций, обеспечивающих перспективы использования, компенсируют эти недостатки. Одними из наиболее перспективных химических Вл являются углеродные волокна (УВ). Углеродные волокна являются материалами третьего тысячелетия, с ними связан существенный прогресс в различных областях техники. По сравнению со СВ применение УВ для армирования полимеров позволяет увеличить модуль при изгибе более, чем в 5 раз [20], коэффициент теплопроводности – в 2–3 раза, снизить ползучесть и повысить износостойкость ПК [21]. Благодаря тому, что для УВ характерна инертность к большинству химически активных сред, изделия из УП отличаются высокой химической стойкостью в агрессивных средах различных производств [22]. Углеродные волокна имеют низкий термический коэффициент

линейного расширения (ТКЛР) и коэффициент трения, хорошую работоспособность в условиях вибрации, высокую усталостную прочность и технологичность [23]. Для армирования полимерных связующих используют УВ в виде непрерывных нитей, жгутов, тканых материалов (штапель, ленты), измельченные или рубленые [22]. Наиболее прочные УВ, представляющие собой продукты карбонизации исходных углеродсодержащих волокон, получают из полиакрилонитрильного (ПАН), вискозного и пекового сырья.

В [24] представлены результаты исследований УП на основе ПА 6, полученного методом литья под давлением из гранул, армированных гидратцеллюлозными УВ, с помощью двухшнекового экструдера. Приведены сведения о влиянии технологических факторов на усадку изделий: изучено влияние термообработки в различных средах (воздух, вода, масло) на физико-механические свойства УП. Показано, что оптимальным комплексом свойств (предел прочности при сжатии – 128–166 МПа, теплостойкость по Вика – 497 К, коэффициент сухого трения – 0,16–0,3) обладает УП, армированный 30–40 масс. % УВ.

Углепластики на основе ПА 6, которые содержат 10–30 масс. % УВ марки Урал-24, изготовленные методом литья под давлением на машине КиАСУ-100/25, имеют высокие теплофизические и трибологические свойства [25]. При армировании ПА 6 УВ его износостойкость увеличивается на 1–2 порядка, что объясняется снижением коэффициента трения (в 1,2–3,7 раза), увеличением теплопроводности (на 25–62 %) и, как следствие, лучшим теплоотводом из зоны трения. Углепластик на основе ПА 6, содержащий 40 масс. % указанного выше Вл, имеет следующие характеристики: теплостойкость по ВИКа – 483 К; разрушающее напряжение при сжатии – 166 МПа; интенсивность линейного износа – $0,66 \cdot 10^{-8}$, коэффициент трения – 0,34) [26].

Механические свойства УВ существенным образом зависят от температуры термической обработки (ТТО). С повышением ТТО от 1473 до 3073 К модуль упругости УВ возрастает, а максимальный предел прочности при растяжении имеют УВ в ТТО 1773 К [27].

Изучению влияния ТТО УВ на свойства УП на основе фенилона С-2 посвящены работы [28; 29]. Как показали результаты исследований, лучшим комплексом теплофизических и прочностных свойств обладают УП на основе УВ с ТТО 1173 К, а самую высокую ударную вязкость и прочностные показатели – УП с ТТО 773 К.

Как отмечается [30], модуль упругости УВ оказывает влияние на изменение трибологических свойств УП на основе ароматических ПА фенилон С-1 и С-2. Увеличение модуля упругости, армирующего Вл в УП, обеспечивая повышение износостойкости, приводит к снижению прочности УП и их эластичности. Найдено, что максимальное снижение износа характерно для УП на основе С-2, армированных УВ с модулем упругости, не превышающем $300 \cdot 10^3$ МПа [31; 32].

Свойства пластиков, особенно УП, зависят от межслоевой прочности, которая определяется адгезией волокна к связующим [33]. Учитывая то, что УВ обладают недостаточной адгезией к полимерной матрице, в последнее время ведутся интенсивные исследования в области разработки новых типов УВ со специальными

свойствами и модификации поверхности существующих. К числу перспективных методов модификации поверхности УВ относится введение в их состав металлов. Применение элемент-содержащих УВ, содержащих в объеме и на поверхности волокон структурно-активные группы, позволяет достичь существенного улучшения свойств полимерных связующих [34].

В зависимости от исходного сырья и температуры термической обработки металлы в составе металл-углеродных волокон (Me-УВ) находятся в виде оксидов, карбидов, высокодисперсных частиц, что придает Me-УВ специальные свойства (магнитные, адсорбционно-каталитические, биоцидные) и обеспечивают хорошую смачиваемость и адгезию к полимерным и неорганическим связующим, влияет на характер взаимодействия реагирующих компонентов на границе раздела фаз «волоконистый Нп – полимер» [35].

Металлосодержащие УВ (Sn, Al, Fe, Pb, Zn, Cu), полученные путем карбонизации при 1173 К целлюлозных Вл, пропитанных соответствующим составом, в [36] используют для армирования фенилона С-2. По влиянию на улучшение физико-механических и трибологических свойств пластиков Me-УВ располагаются в следующий ряд [37]: Al-УВ > Zn-УВ > Sn-УВ > Fe-УВ > Cu-УВ > Pb-УВ.

При введении в фенилон С-2 никель содержащих углеродных волокон (Ni-УВ) длиной 3 мм, полученных с углеродного жгута и ленты, термо- и износостойкость связующего возрастает на 15–20 % и в 5,5-12,5 раз, ТКЛР и коэффициент трения снижаются в 1,5–1,6 и 2,8–3 раза соответственно [38, 39].

В [40] для армирования фенилона С-2 использовали гидратцеллюлозное медьсодержащее углеродное волокно (Cu-УВ) марки Урал-20-Cu в количестве 17 масс. % с медным покрытием, нанесенным электрохимическим способом. Полученный ПК имеет следующие свойства: ударную вязкость – 51,2 кДж/м², микротвердость – 39МПа МПа, разрушающее напряжение при сжатии – 260 МПа, коэффициент трения – 0,23. Углепластик рекомендуется использовать в узлах трения машин и механизмов, работающих в жестких условиях эксплуатации без смазки при значениях $PV \leq 10$ МПа · м/с.

С целью создания новых ПК в [41; 42] фенилон С-2 армировали фосфор содержащими УВ (ФУВ) в количестве 12,1 масс. %. Отмечается, что в случае использования ФУВ между фосфорно-кислотными группами УВ и подвижным водородом амидной группы ПА на границе раздела фаз образуется химическая связь, что приводит к повышению кислотостойкости полимера в концентрированной серной кислоте, изменению процесса термодеструкции, а также повышению твердости и резкому возрастанию огнестойкости, однако прочностные свойства ПК из-за увеличения пористости снижаются.

В [43] в качестве армирующего Нп фенилона было выбрано УВ на базе нефтяных и каменноугольных пеков, отличающееся невысокой стоимостью. Установлено, что введение УВ в количестве 20 масс. % приводит к падению на 11–25 % удельной теплоемкости, повышению предела текучести при сжатии на 32 МПа, модуля упругости – на 45 МПа УП. Коэффициент трения УП в режиме сухого

трения при скорости скольжения 1,3 м/с в интервале удельных давлений 1–2 МПа снижается от 0,39 (для исходного полимера) до 0,20 (для УП).

3. Органопластики на основе полиамидов

Хороший эффект улучшения свойств полиамидных композитов достигается и при использовании в качестве армирующего Нп органических волокон (ОВ), которые по сравнению со СВ имеют ряд преимуществ: хорошее смачивание полимерами, высокую прочность связи с матрицей, меньшую склонность к измельчению. Поскольку плотность ОВ значительно ниже СВ, ПК на основе ОВ – органопластики (ОП) имеют высокие значения удельной прочности и жесткости [44].

В результате комплексных исследований в [45; 46] установлено, что армирование ПА 6 полигетероариленовым Вл марки вниивлон позволяет повысить термические и теплофизические свойства ОП.

Изучению влияния природы и содержания ОВ на основные теплофизические характеристики (удельную теплоемкость, коэффициент теплопроводности и температуропроводности) ОП посвящена работа [46]. В качестве армирующих Нп ПА 6 использовались поли-*n*-фенилентерефталамидное Вл терлон и полигетероариленовое – вниивлон в количестве 5–30 масс. %. Установлено, что изменение скачка теплоемкости в области температуры стеклования обусловлено физико-химическими процессами, протекающими на границе раздела фаз полимерное связующее – Нп. Максимальное снижение теплоемкости характерно для ОП, содержащих не более 15 масс. % ОВ, а коэффициент теплопроводности исследованных материалов находится в пределах 0,25–0,31 Вт/м · К.

Исследование влияния степени наполнения ПА 6 полиамидным Вл показало, что оптимальной степенью наполнения является 15–20 масс. % [14]. При этом напряжение при растяжении, изгибе, модуль упругости при растяжении для ОП находятся на уровне стекло-термопластов, однако ударная вязкость в 2,5 раза выше, чем у стекло-наполненного ПА и лежит в пределах 80–90 кДж/м² (без надреза). Введение ОВ в ПА 6 повышает теплостойкость и снижает усадку изделий. Важным является и то обстоятельство, что новые ОП на основе ПА 6 и термостойких полиамидных ОВ можно перерабатывать на серийном оборудовании без существенного изменения технологических параметров. Армирование ПА 12 полиимидным и полиамидным Вл позволяет повысить антифрикционные свойства связующего.

В [47] в состав ПА 6 вводили ОВ различной природы с высокими показателями прочности и модуля упругости (вниивлон, лола, оксалон, сульфон-Т и терлон). Изучение триботехнических характеристик ОП показало, что при введении Вл в количестве 15, 30 и 45 масс. % наибольшее повышение износостойкости (на 2 порядка) и снижение коэффициента трения (в 1,5–1,8 раза) достигается при использовании ОВ марок терлон и вниивлон. По эффективности влияния на улучшение триботехнических характеристик ОВ располагаются в следующий ряд: терлон > вниивлон > лола > сульфон-Т > оксалон. Максимальный армирующий

эффект достигается при использовании наиболее близких по природе к связующему Вл; при этом наибольшее снижение износа и коэффициента трения наблюдается при увеличении разрывной прочности волокна до 60 гс/текс.

Известно, что фенилон в условиях работы без смазки обладает достаточно высоким коэффициентом трения. Армирование полимерной матрицы ОВ вниивлон в количестве 5 масс. % позволяет получить ОП, который имеет высокую прочность и низкий коэффициент трения. Трансформация фрикционного материала фенилон в антифрикционный объясняется преобразованием в присутствии Вл вниивлона исходной структуры фенилона в фибриллярную [48].

В качестве армирующего Нп ароматического ПА фенилон С-1 в [49] использовали термостойкое полиоксадиазольное ОВ марки арселон в количестве 5, 10, 15 и 20 масс. %. К преимуществам арселона по сравнению с другими ОВ относится доступность и дешевизна исходного сырья, высокая стойкость к действию повышенных температур, огне- и химстойкость, хорошие электроизоляционные свойства [49]. Обнаружено, что армирование фенилона С-1 ОВ снижает температурный коэффициент энтропии, коэффициент трения и интенсивность линейного изнашивания на 23–60 %, 49–56 % и в 3,8–12,2 раз соответственно, увеличивает в 1,6 раз коэффициент теплопроводности и на 60 МПа разрушающее напряжение при сжатии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в обзоре сведения показывают целесообразность проведения исследований в области создания полимерных композитов на основе алифатических и ароматических полиамидов.

Отмечается, что наиболее эффективным методом улучшения свойств полиамидов является армирование их химическими волокнами.

Благодаря высоким эксплуатационным характеристикам полиамидные композиты наиболее целесообразно использовать в качестве конструкционных материалов в машиностроении.

Список литературы

1. Песецкий С. С. Полимерные композиты многофункционального назначения: перспективы разработок и применения в Беларуси / С. С. Песецкий, Н. К. Мышкин // Полимерные материалы и технологии. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 6–29.
2. Полимерные материалы: исследование, производство, применение / С. С. Песецкий, С. Г. Судьева, Н. К. Мышкин [и др.] // Наука и инновации. – 2008. – № 3 (61). – С. 50–55.
3. Кацевман М. Не просто легче – надежнее и прочнее / М. Кацевман // Наука и жизнь. – 2003. – № 9. – С. 46–48.
4. Соколов Л. Б. Основы синтеза полимеров методом поликонденсации / Л. Б. Соколов – М.: Химия, 1979. – 264 с.
5. Справочник по пластическим массам: справочник: в 2 т. / под ред. В. М. Катаева, В. А. Попова, Б. И. Сажина. – М.: Химия, 1975. – Т. 2. – С. 254–291.
6. Буря А. И., Арламова Н. Т. Композиционные материалы на основе ароматических полиамидов // РЖ «Депоновані наукові роботи». – 22.02.2000. – № 1. Деп. В ВИНІТИ РАН. 2000. – № 7 (341).
7. Третьяков А. Г. Материалы для узлов трения / А. Г. Третьяков // Полимеры – деньги. – 2006. – № 4/18. – С. 72.

8. Полиамид / Производственно-коммерческая фирма “Тана”. – Режим доступа: <http://tana.ua/ru/catalog/group/1-poliamid-6-steklonapolnennyu>.
9. Полиамиды ДС. ОАО Объединение “Стеклопластик” – Режим доступа: www.stekloplast.com.ua.
10. Полиамид: свойства, получение, показатели, характеристики, аналоги – Режим доступа: www.poliamid.ru.
11. Lenze G. Verschleib an Schnecken, Schnecken spitzen, Sperringen und Schnecken zylindern von Spritzgiebmaschinen bei der Verarbeitung von Polyamiden mit 50 % Glasfasern / G. Lenze // Plastverarbeiter. – 1974. – В. 25, № 6. – P. 347–355.
12. Braun D. Untersuchungen zum Verschleiß beim Spritzgießen von glasfasergefüllten Polyamiden. 1. Pyrolyseprodukte / D. Braun, G. Mälhammar // Makromolecular Materials and Engineering. – 1978. – Vol. 69, № 1. – P. 157–167.
13. Армированные пластики – современные конструкционные материалы / Э. С. Зеленский, А. М. Куперман, Ю. А. Горбаткина [и др.] // Российский химический журнал. – 2001. – Т. XLV, № 2. – С. 56–74.
14. Кербер М. Л. Термопластичные полимерные композиционные материалы для автомобилестроения / М. Л. Кербер, Т. П. Кравченко // Пластические массы. – № 9. – 2000. – С. 46–48.
15. Никитин Н. И. Эффективность базальтового волокна / Н. И. Никитин // Деловая слава России. – Вып. 2. – 2008. – С. 112–113.
16. Перепелкин К. Е. Полимерные композиты на основе химических волокон, их основные виды, свойства и применение / К. Е. Перепелкин // Технический текстиль. – 2006. – № 13. – Режим доступа: www.rustm.net/catalog/article/185.html.
17. Баштанник П. И. Исследование процесса переработки конструкционных термопластичных базальтопластиков / П. И. Баштанник, В. Г. Овчаренко, А. И. Кабак // Вопросы химии и химической технологии. – 2002. – № 3. – С. 150–152.
18. Лисина Е. В. Исследование технологических свойств полимеризационно наполненного полиамида 6 / Е. В. Лисина, Н. В. Сущенко, Е. А. Свириденко [и др.] // Тезисы докл. Междунар. конфер. «Композиты – 2007». – 3–6 июля 2007 г. – Саратов (Россия). – 2007. – С. 147–149.
19. Буря А. И. Свойства базальтопластиков на основе фенилона / А. И. Буря, М. В. Бурмистр, Н. Т. Арламова [и др.] // Тезисы докл. Междунар. семинара – выставки «Современные материалы, технологии, оборудование и инструменты в машиностроении». – 20–23 апреля 1999 г. – Киев (Украина). – 1999. – С. 21–22.
20. Разработка и исследование свойств базальтопластиков на основе фенилона / А. И. Буря [и др.] // Вопросы химии и химической технологии. – 1999. – № 2. – С. 37–42.
21. Сіренко Г. О. Вплив складу полімерної композиції на основі ароматичного поліаміду на інтенсивність зношування та коефіцієнт теплопровідності / Г. О. Сіренко, Л. В. Базюк, Л. Я. Мідак // Вопросы химии и химической технологии. – 2006. – № 3. – С. 107–117.
22. Буря А. И. Свойства и применение термопластичных углепластиков / А. И. Буря, А. Г. Леви // Поликонденсационные процессы и полимеры. – Нальчик, КБГУ. – 1988. – С. 52–62.
23. Полиамиды конструкционного назначения / Р. В. Маркин, Н. В. Леонтьева, Б. Е. Восторгов [и др.] // Химическая промышленность за рубежом. – 1980. – № 10. – С. 13–35.
24. Конкин А. А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы / А. А. Конкин. – М.: Химия, 1974. – 376 с.
25. Буря А. И. Исследование свойств углепластиков на основе алифатического полиамида-6 / А. И. Буря, А. Д. Деркач, М. В. Бурмистр // Труды 4-й междунар. конфер. «Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов (ТПКММ)». – 26–29 апреля 2005 г. – Москва (Россия). – М.: Знание, 2005. – С. 55–60.
26. Буря А. И. Трение и износ ПА 6 и углепластиков на его основе / А. И. Буря, Б. И. Молчанов // Трение и износ. – 1992. – Т. 13, № 5. – С. 809–904.
27. Буря А. И. Опыт применения термопластичных углепластиков в роликовой однорядной цепи корнеуборочной машины / А. И. Буря, О. П. Чигвинцева, Д. Л. Рева // Материалы Междунар. конфер. «Технологии ремонта машин и механизмов. Ремонт–98». – 9–11 июня 1998 г. – Киев (Украина). – 1998. – Ч. 2. – С. 81–83.

28. Thrower Peter A. Carbon fibers threads of the future / Peter A. Thrower // Earth and Miner. Sci. – 1979. – 48. – P. 65–69.
29. Буря А. И. Свойства и опыт применения углепластиков в сельхозмашиностроении: метод. рекомендации. / А. И. Буря. – К.: Знание, 1992. – 27 с.
30. Буря А. И. Зависимость свойств углепластиков от конечной температуры термической обработки углеродного волокна / А. И. Буря, В. И. Дубкова // Тезисы докладов научн.-техн. конфер. «Прогрессивные полимерные материалы, технологии их переработки и применение». – 15–17 октября 1988 г. – Ростов-на-Дону (Россия). – 1988. – С. 139–141.
31. Буря А. И. Разработка, исследование и применение термопластов, армированных химическими волокнами, в узлах трения сельскохозяйственных машин / А. И. Буря, А. Т. Лысенко, М. Т. Азарова // Вопросы химии и химической технологии. – 1981. – Вып. 64. – С. 60–63.
32. Буря А. И. Армирование пластиков для подшипников скольжения сельхозмашин / А. И. Буря, А. Т. Лысенко, А. А. Конкин [и др.] // Тезисы докл. Респуб. научн.-техн. конфер. «Управление надежностью машин». – 12–14 сентября 1976 г. – Киев (Украина). – 1976. – С. 137.
33. Влияние модуля упругости углеродных волокон на трение и износ углепластиков на основе ароматического полиамида / А. И. Буря, А. Г. Леви, А. С. Бедин [и др.] // Трение и износ. – 1984. – Т. 5, № 5. – С. 932–935.
34. Левит Р. М. Химическая структура углеродных волокон / Р. М. Левит // Химические волокна. – 1979. – № 3. – С. 23–26.
35. Ермоленко И. Н. Элементоуглеродные угольные волокнистые материалы / И. Н. Ермоленко, И. П. Люблинер, Н. В. Гулько / Минск: Наука и техника. – 1982. – 272 с.
36. Полховский М. В. Применение термостойких волокон РУП “СПО Химволокно” в композиционных материалах / М. В. Полховский, А. М. Сафонова // Материалы 26-ой Междунар. конфер. «Композиционные материалы в промышленности». – 29 мая – 2 июня 2006 г. – Ялта (Украина). – 2006. – С. 404–405.
37. Ермоленко И. Н. Элемент-углеродные волокна – перспективный наполнитель композиционных материалов / И. Н. Ермоленко, А. М. Сафонов, О. А. Лукомская // Тезисы докл. школы-семинара «Создание и применение полимерных композиционных материалов в сельхозмашиностроении». – К.: Знание. – 1989. – С. 2–3.
38. Буря О. І. Розробка, дослідження і використання полімерів, армованих хімічними волокнами в конструкціях сільськогосподарських машин: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.04 / Буря Олександр Іванович; Тернопільський приладобудівний інститут. – Тернопіль, 1993. – 32 с.
39. Буря А. И. Исследование свойств углепластиков на основе фенилона С-2, армированного никельсодержащими углеродными волокнами / А. И. Буря, И. В. Рула, А. М. Сафонова // Тезисы докл. Междунар. конфер. «HighMatTech 2007». – 15–19 октября 2007 г. – Киев (Украина). – 2007. – С. 401.
40. Буря О. І. Дослідження тертя та зносу вуглепластиків на основі фенілолу, армованих нікельвмісними вуглецевими волокнами / О. І. Буря, І. В. Рула, А. М. Сафонова // Материалы 8-ой ежегод. Междунар. промышл. конфер. «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях». – 11–15 февраля 2008 г. – Карпаты (Украина). – 2008. – С. 63–65.
41. Буря А. И. Исследование свойств углепластиков на основе фенилона, армированных металлосодержащими углеродными волокнами / А. И. Буря, М. Е. Казаков, И. В. Рула [и др.] // Материалы двадцать восьмой междунар. конфер. «Композиционные материалы в промышленности». – 26–30 мая 2008 г. – Ялта (Украина). – 2008. – С. 106–109.
42. Burya A. I. Antifriction materials based on thermoplastics reinforced with metal-carbon fibres / A. I. Burya, V. I. Dubkova, A. S. Kobets // Труды Междунар. симпозиума по трибологии фрикционных материалов. ЯРОФРИ-91– 10-12 сент. 1991 г. – Ярославль (Россия). – 1991. – Т. 1, С. 45–49.
43. Исследование влияния фосфорсодержащего углеродного волокна на термические превращения фенилона / И. Н. Ермоленко, В. И. Дубкова, А. И. Буря [и др.] // Доклады Академии наук БССР. – 1983. – Т. 27, № 8. – С. 727–730.

44. Буря А. И. Углепластики на основе полиамида, армированные пековыми волокнами / А. И. Буря, О. П. Чигвинцева, Н. И. Аносов // Материалы Междунар. научн. -техн. конфер. «Надежность машин и технических систем». – 16-17 октября 2001 г. – Минск (Беларусь). – 2001. – С. 84–85.
45. Композиционные материалы – Режим доступа: <http://www.e-plastic.ru/specialistam/composite/kompozicionnye-materialy>, свободный. – Загл. с экрана.
46. Буря А. И. Исследование термостойкости органопластиков на основе полиамида ПА 6 / А. И. Буря, Н. Т. Арламова, О. М. Проценко // Situation and perspective of research and development in chemical and mechanical industry. Book 2: Chemistry Technology Education. – 22–24 oktobar 2001. – Kruševac (Serbia). – 2001. – P. 25–31.
47. Буря А. И. Исследование теплофизических свойств армированных пластиков на основе полиамида 6 / А. И. Буря, О. П. Чигвинцева, Л. Н. Ткач // Материалы, технологии, инструменты. – 1998. – Т.3, № 3. – С. 37–40.
48. Буря А. И. Трение и изнашивание органопластиков на основе полиамида 6 / Буря А. И. // Трение и износ. – 1998. – Т. 19, № 5. – С. 671–676.
49. Разработка органопластиков на основе ароматического полиамида фенилон / А. И. Буря, Н. Т. Арламова, Р. А. Макарова [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 2006. – Т. 11, № 2. – С. 79–84.

PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON POLYAMIDES

Tkachenko E. V.¹, Burya A. I.², Tolstenko Y. V.¹

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Crimea, Russia

²Dniprovsky State Technical University, Kameskoe, Ukraine

E-mail: tkelly@rambler.ru

It appears that an important specificity of modern polymer composites is that individual modifications are created for a specific application that predetermines their huge range.

Due to its properties of aliphatic PA are multifunctional structural materials, which in 6-7 times lighter than steel and bronze are used to replace the non-ferrous metals and their alloys with success.

In order to work in extreme conditions (at high static and dynamic loads in a wide temperature range, under intense friction) it is more useful products from aromatic PA-phenils.

The composite materials based on polyamides were studied, one of the most important advantages of which is the low friction lubricating oil (0.05–0.10) and increased wear resistance.

It appears that fiber-glass and basalt plastics based on polyamide are the most popular of the FGP at the present time, and especially PA 6 and PA 66. Compared to polymeric matrix FGP containing 15–30 % FG high hardness, toughness and resistance to thermo distouring and also have a lower coefficient of friction and wear. It has been established that the search for new, cheaper and more available to create cutting-edge TM PC is continuing, that turns us, in particular, to basalt fiber (BF) as substitutes in some cases FG. Basalt fibers have significant advantages on indicators of heat resistance, chemical resistance and water resistance compared to FG. They have much lower absorbability than

FG (about 10 times), which substantially reduces energy costs associated with the removal of moisture and reduces work production.

In the technology and the influence of technological parameters of molding under pressure on mechanical properties of BF based on PA-6 was developed. The authors of the work have shown the perspectives of that the surface treatment of BF in acidic media.

Considerable interest when working with complex systems such as BF and FGP is the study of stress relaxation, long-term strength, fracture mechanism and potential for the application of various techniques of increasing the strength of the PC data with a view to increasing areas of use. As a result of the carried out works shows that BF have physical-mechanical indicators, equal to fiber-glass palstics.

The carbon-fiber plastics based on polyamides were studied. Effective ways to improve the properties of PA is reinforcing their man-made fibers (F). And although the use of the F limits the choice of reinforcement, makes it difficult for manufacturing complex shapes, however, a complex of valuable properties specified PC and their variations, providing prospects of the use compensates these disadvantages.

It was shown that good effect to improve the properties of polyamide composite achieved and when used as a reinforcing TMS organic fibers (OF) compared to FGP have several advantages: good wetting of the polymers, high strength connection to the matrix, a lesser propensity to grinding. Since the density of the OF significantly lower than of the FGP, PC based on the OF - organoplastics (OP) have high values of specific strength and stiffness.

As a result of complex research it was found that the reinforcement of PA-6 poligeteroarilenovym VI vniivlon brand allows to enhance the thermal and thermal properties of OF.

The expediency of conducting research in the field of creation of polymer composites based on aliphatic and aromatic polyamides was shown. It is noted that the most effective method of improving the properties of polyamides is reinforcing their man-made fibers. Due to the high performance polyamide composites are the most appropriate to use as structural materials in the engineering industry.

Keywords: polymeric composites, polyamides, fillers, properties.

References

1. Pesetskiy S. S., Multipurpose polymer composites: prospects of development and application of Belarus, *Polymer materials and technology*, **2** (4), 6 (2016). (*in Russ.*).
2. Pesetskiy S. S., Sudeva S. G., Myshkin N. K., Rahmanov S. K., Polymeric materials: research, production, application, *Science and innovation*, **3** (61), 50 (2008). (*in Russ.*).
3. Katsevman M., Not just lighter – more reliable and stronger, *Science and life*, **9**, 46 (2003) (*in Russ.*).
4. Sokolov L. B., Fundamentals of polymer synthesis method of polycondensation, 264 p. (Khimiya, Moscow, 1979). (*in Russ.*).
5. Kataeva V. M., Popova V. A., Sazhyna B. I., Handbook of plastic masses/ed., **2**, 254 (Khimiya, Moscow, 1979). (*in Russ.*).
6. Burya A. I., Arlamova N. T., Composite materials based on aromatic polyamides, Deposited scientific works, **7** (341), (2000). (*in Russ.*).
7. Tretyakov A., Materials of friction units, *Polymers-money*, **4**/18, 72 (2006). (*in Russ.*).
8. Polyamide, Production and commercial firm "Tana", Access mode: <http://tana.ua/en/catalog/group/1-poliamid-6-steklonapolnennyi>. (*in Russ.*).
9. Polyamides DC. JSC Association "Fiberglass", Access mode: www.stekloplast.com.ua. (*in Ukr.*).

10. Polyamide: properties, retrieving, indicators, characteristics equivalent, Access mode: www.poliamid.ru. (*in Russ.*)
11. Lenze G., Verschleiß an Schnecken, Schnecken spitzen, Sperringen und Schnecken zylindern von Spritzgießmaschinen bei der Verarbeitung von Polyamiden mit 50 % Glasfasern, *Plastverarbeiter*, **25** (6), 347 (1974).
12. Braun D., Mälhammar G., Untersuchungen zum Verschleiß von Spritzgießer beimn glasfaserfüllten Polyamiden. 1. Pyrolyseprodukte, *Angew. Makromol. Chem.*, **69** (1), 157 (1978).
13. Zelenskiy E. S., Kuperman A. M., Gorbatkina Ya. A., Ivanova-Mumzhieva V. G., Berlin A. A., Reinforced plastics-modern constructional materials, *Russian chemical journal*, **XLV** (2), 56 (2001). (*in Russ.*)
14. Kerber M. L., Kravchenko M. L. Thermoplastic polymer composite materials for automotive industry, *Plastics*, **9**, 46 (2000). (*in Russ.*)
15. Nikitin N. I., The effectiveness of the basalt fiber, *Business glory of Russia*, **2**, 112 (2008). (*in Russ.*)
16. Perepelkin K. E., Polymeric composites on the basis of chemical fibers, their main types, properties, and application, *Technical textiles*, 13 (2006), Access mode: www.rustm.net. (*in Russ.*)
17. Bashtannyk P. I., Ovcharenko V. G., Kabak A. I., Study on processing of structural thermoplastic basalt-plastic, *Questions of chemistry and chemical technology*, **3**, 150 (2002). (*in Russ.*)
18. Lisina E. V., Sugcenko N. V., Sviridenko E. A., Ustinova T. P., Study on technological properties of polymerization-filled polyamide 6, *The reports of the international konferenshhi "Composites-2007"*, 147 (Saratov, 2007). (*in Russ.*)
19. Burya A. I., Burmistr M. V., Spite N. T., Dorofeev V. T., Properties of basalt-plastic based on phenylon, *Book of abstracts of international seminar and exhibition on advanced materials, technologies, equipment and tools in engineering*, 21 (1999). (*in Russ.*)
20. Burya A. I., Burmistr M. V., Arlamova N. T., Dorofeev V. T., Gorbenko V. F., Reva D. L., Development and research of properties of basalt-plastic based on phenylon, *Questions of chemistry and chemical technology*, **2**, 37 (Kiev, 1999). (*in Russ.*)
21. Sirenko G. O., Bazjuk L. V., Midak L. Ya., Influence of composition of polymer composition on the basis of aromatic polyamide on the intensity of wear and coefficient of thermal conductivity, *Problems of chemistry and chemical technology*, **3**, 107 (2006). (*in Ukr.*)
22. Burya A. I., Levi A. G., Properties and application of thermoplastic carbon composites, *Polycondensational processes and polymers*, 52, (Nalchik, KBSU, 1988). (*in Russ.*)
23. Markin R. V., Leontieva N. V., Vostogov B. E., Polyamides structural applications, *Chemical industry abroad*, 10, 13 (1980). (*in Russ.*)
24. Konkin A. A., Carbon and other heat-resistant fibrous materials, 376 p. (Khimiya, Moscow, 1974). (*in Russ.*)
25. Burya A. I., Derkach A. D., Burmistr M. V., Investigation of properties of carbon based on aliphatic polyamide-6, *Proceedings of 4-th International Conference "theory and practice of technology of composite materials and new metallic alloys (TPKMM)*, 55, (Knowledge, Moscow, 2005). (*in Russ.*)
26. Burya A. I., Molchanov B. I., Friction and wear of PA-6 and carbon based on it, *Friction and wear*, **13** (5), 809, (1992). (*in Russ.*)
27. Burya A. I., Chigvinceva O. P., Reva D. L., Experience of application of thermoplastic plastics in-line roller chain machine korneuborochnoj, *Materials of the International Conference, "Technology of repair of machines and mechanisms. Repair-98"*, 2, 81, (Kiev, 1998). (*in Russ.*)
28. Thrower Peter A., Carbon fibres threads of the future, *Earth and Miner. Sci.*, 48, 65 (1979).
29. Burya A. I., Properties and application experience of plastics in agricultural, *Methodical recommendations*, 27 p. (Knowledge, Kiev, 1992). (*in Russ.*)
30. Burya A. I., Dubkova V. I., Dependency properties of plastics from the ultimate heat treatment temperature carbon fibre, *Book of abstracts of the Conference "Advanced polymer materials, their processing and application technology"*, (Rostov-na-Donu, 1988), 139. (*in Russ.*)
31. Burya A. I., Lysenko A. T., Azarova M. T., Development, research and application of reinforced thermoplastics, chemical fibers in friction units of agricultural machinery, *Questions of chemistry and chemical technology*, **64**, 60 (1980) (*in Russ.*)

32. Burya A. I., Lysenko A. T., Konkin A. A., Fomichev I. A., Reinforcement plastics to agricultural bearings, *Book of abstracts of Republican Scientific-Technical Conference "management of reliability of machines"*, 137 (Kiev, 1976). (in Russ.).
33. Burya A. I., Levy A. G., Bedin A. S., Levit R. M., Raikin V. G., Influence of elastic modulus carbon fiber on friction and wear of plastics on the basis of aromatic polyamide, *Friction and wear*, **5** (5), 932 (1984). (in Russ.).
34. Levit R. M., Chemical structure of carbon fibers, *Chemical fiber*, 3, 23 (1979). (in Russ.).
35. Ermolenko I. N., Ljubliner I. P., Gulko N. V., Carbon-element carbon fiber materials, *Science and technology*, 272 p. (Science and Technology, Minsk, 1982). (in Russ.).
36. Polkhovskiy M. V., Safonova A. M., Application of heat-resistant fiber SPO "Khimvolokno" in composite materials, *Materials of the International Conference "26 composites industry"*, 404 (Yalta, 2006). (in Russ.).
37. Ermolenko I. N., Safonova A. M., Lukomskaya O. A., Carbon-elements fiber-composite filler perspective, *Book of abstracts of school-seminar "development and application of polymer composite materials in the agricultural"*, 2 (Knowledge, Kiev, 1989). (in Russ.).
38. Burya O. I., Development, research and use of polymers, reinforced with chemical fibers in structures of agricultural machines, *Cand. diss. tech Sciences*, p.32 (Ternopil, 1993) (in Ukr.).
39. Burya A. I., Rula I. V., Safonova A. M., Study on the properties of carbon based on phenylon C-2 nickel-containing reinforced carbon fibers, *Book of abstracts of International Conference HighMatTech.*, 401 (Kiev, 2007). (in Russ.).
40. Burya O. I., Rula I. V., Safonova A. M., Investigation of friction and wear of carbon-plastics on the basis of phenylon reinforced with nickel-containing carbon fibers, *Materials of the Eighth Annual International Industrial Conference "Efficiency of Realization of Scientific, Resource and Industrial Capacity in Modern Conditions"*, 63 (Carpathians, 2008). (in Ukr.).
41. Burya A. I., Kazakov M. E., Rula I. V., Redchuk A. S., Study on the properties of carbon based on phenylon reinforced metal-containing by carbon fibers, *Materials of the 28th International Conference on "Composite materials in the industry"*, 106 (Yalta, 2008). (in Russ.).
42. Burya A. I., Dubkova V. I., Kobets A. S., Antifriction materials based on thermoplastics reinforced with metal-carbon fibres, *Proceeding of the symposium on the tribology of friction materials*, **1**, 45 (Yaroslavl, 1991). (in Russ.).
43. Ermolenko I. N., Dubkova V. I., Burya A. I., Bedin A. S., The research of influence of fosfor-containing carbon fiber on thermal transformation of phenylon, *Papers of Academy of Sciences of BSSR*, **27** (8), 727 (1983). (in Russ.).
44. Burya A. I., Chigvinceva O. P., Anosov N. I., Carbon-filled plastics based on polyamide reinforced pekovymi fiber, *Materials of the international scientific and technical conference "reliability of machines and technical systems"*, 84 (Minsk, 2001). (in Russ.).
45. Composite materials, Access mode: <http://www.e-plastic.ru/specialistam/composite/kompozicionnyematerialy>. (in Russ.).
46. Burya A. I., Arlamova N. T., Protsenko O. M., Study on heat resistance organoplastikov PA-6, *Situation and the perspective of research and development in chemical and mechanical industry*, **2**, 25 (Krusevac, 2001). (in Russ.).
47. Burya A. I., Chigvinceva O. P., Tkach L. N., Study on thermophysical properties of reinforced plastics based on polyamide-6, *Materials, technologies, tools*, **3** (3), 37 (1998). (in Russ.).
48. Burya A. I., Friction and wear of organoplastics based on polyamide-6, *Friction and wear*, **19** (5), 671 (1998). (in Russ.).
49. Burya A. I., Arlamova N. T., Makarova R. A., Chukalovskij P. A., Development of aromatic polyamide based organoplastics phenylone, *Materials, technologies, tools*, **11** (2), 79 (2006). (in Russ.).