

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛО-, УГЛЕПЛАСТИКОВ И МАТЕРИАЛОВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО ТЕХНОЛОГИЯМ 3DP И FDM

© 2018

И.В. Злобина, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Техническая механика и детали машин»

Н.В. Бекренев, доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Техническая механика и детали машин»

С.П. Павлов, доктор физико-математических наук, профессор,

профессор кафедры «Математика и моделирование»

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов (Россия)

Ключевые слова: аддитивные технологии; порошковые и волокнистые композиционные материалы; полимерная нить; межслоевое взаимодействие; предел прочности; внутренние напряжения; кинетика нагрева; температуропроводность; теплопроводность; тепловое поле.

Аннотация: Композиционные материалы широко используются в воздушных и наземных транспортных системах, хотя и имеют существенный недостаток, заключающийся в значительной анизотропии физико-механических характеристик и малой прочности, особенно при изгибе, сложном деформированном состоянии и в условиях динамических знакопеременных нагрузок. Применение электрофизического и, в частности, СВЧ модифицирования структуры изделий из таких материалов позволяет существенно повысить прочностные характеристики. В связи с сопровождающими воздействием СВЧ электромагнитного поля термическими эффектами для оптимизации технологических режимов модифицирования важно изучить теплофизические характеристики материалов сложного состава и неоднородной структуры для прогнозирования возможных последствий СВЧ воздействия. Авторами выполнены исследования кинетики нагрева, коэффициентов температуро- и теплопроводности образцов, изготовленных из стекло- и углепластика, армированного углеволокном материала с квазиизотропной структурой, аддитивных материалов – пластика *ABS* и композита на основе порошка *Zp130*, пропитанного цианокрилатом *Z-BondTM90*. Изучен нагрев образцов из пластика *ABS* с дополнительной топологической композитной структурой на основе углеродного волокна. Установлено существенное (до 8 раз) различие теплофизических параметров аддитивных пластиков *ABS* и композиционных материалов. В то же время прессованные стекло- и углепластики имеют в 4–6 раз меньшую температуропроводность, чем композит из порошка *Zp130*. Отвержденные композиты с квазиизотропной структурой имеют на порядок и более высокие значения коэффициентов температуро- и теплопроводности, что, по-видимому, связано со значительно большей плотностью структуры. Изложенное подтверждает необходимость при разработке конструкций армированных изделий из аддитивных материалов с топологической структурой и технологий их модифицирования осуществлять подбор компонентов не только по критерию повышения прочности, но и корреляции теплофизических параметров.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ научно-технической литературы, материалов конференций и выставок свидетельствует об интенсивном развитии производства композиционных материалов на основе углеродных волокон и стеклотканей и их широком применении в авиационной, автомобильной, судостроительной промышленности, ракетостроении и космической технике [1; 2]. Композиционные материалы характеризуются выраженной анизотропией физико-механических характеристик, определяемой видом и ориентацией армирующих компонентов [1; 2]. Путем моделирования полей напряжений в сложных по конструкции изделиях выявлена потенциальная возможность повышения их эксплуатационной прочности за счет размещения в составе материала изделия упрочненных областей, ориентация и форма которых коррелируют с формой полей напряжений, возникающих при функционировании изделия [3–5].

Одним из новых путей реализации данной возможности по сравнению с предыдущими исследованиями является оптимизация микроструктуры посредством распределения включений, их ориентации, варьирования объемной доли и формы включений по отношению к заданной целевой функции. Путем внесения арми-

рующих компонентов станет возможным создание элементарных ячеек, которые будут являться наименьшей структурой, периодически повторяющейся в композиционном материале [6; 7]. При изменении объемной доли или формы включений, топологии элементарной ячейки материал будет приобретать различные свойства. Современные аддитивные технологии позволяют формировать трехмерные изделия с оптимальным законом распределения компонентов [8–11]. Данная оптимизация может быть проведена не только путем внесения компонентов, но и их модифицированием путем электрофизических воздействий, что значительно проще реализовать, поскольку процесс является управляемым благодаря регулированию технологических режимов без вмешательства в синтез материала [12–15].

Использование традиционных технологий, тем не менее, для практической реализации данного результата представляется затруднительным, что вызывает необходимость дополнительного исследования в области создания научных основ технологического обеспечения данного решения [16–19].

Цель исследований – изучение кинетики нагрева полимерных композиционных материалов и неметаллических материалов, используемых в технологиях трех-

мерной печати, для определения их характеристик теплопроводности, позволяющих выработать рекомендации по составу армированных композитов, обеспечивающему оптимальные условия упрочняющей финишной обработки в СВЧ электромагнитном поле.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Были исследованы образцы из стекло-, углепластиков в виде пластин с размерами $80,0 \times 15,0 \times 2,0$ мм, а также сформированные на основе аддитивных технологий: из порошкового материала с последующей стабилизирующей пропиткой (технология *3DP*) и из расплавляемой полимерной нити (технология *FDM*) в виде пластин с размерами $80,0 \times 10,0 \times 7,5$ мм.

В экспериментах с использованием порошкового материала использовали 3D принтер модели *ZPrinter450*. В соответствии с технологией *3DP* из диэлектрического порошка марки *Zp130* формировали образцы в виде стержней длиной 80 мм, диаметром 5,5 мм. Применяли дополнительную пропитку для повышения прочности на основе цианокрилата *Z-BondTM90*.

Для исследования теплофизических характеристик образцов с топологической структурой, полученных путем 3D печати, использовали нить толщиной 1,75 мм из пластика *ABS*, из которой на 3D принтере *Felix 3.1 Single Extruder* формировали пластины соответственно

длиной, шириной и толщиной 120, 40 и 5,0 мм. В соответствии с чертежом в образцах выполнены на противоположных сторонах пазы, заглубленные до средней линии симметрии. При моделировании использовали программную среду *Comsol*, твердотельную модель нагружали растягивающими силами в 1000 Н. Чертеж образца с выявленными полями напряжений выполняли в программной среде *Kompas-3D V.15*, затем полученное трехмерное изображение транслировали в формат *STL* и осуществляли печать. Полости послойно заполняли углеродным волокном производства ООО «Балаково Карбон Продакшн» (г. Балаково Саратовской обл.) и эпоксидной смолой ЭД-20 с отвердителем ПЭПА. Волокна распределяли таким образом, чтобы они без разрывов связывали все полости и углубления, сформированные принтером согласно твердотельной модели. Распределение полей напряжений, 3D модель, сформированная на принтере заготовка и готовый образец представлены на рис. 1.

Для определения теплофизических характеристик образцов применяли метод Паркера в варианте, описанном в [20; 21]. Для нагрева образцов использовали специально разработанную установку с источником в виде прожектора *FL(ИО) 1000 IP54 ИЭК LPI01-1-1000-K01* (Россия) (рис. 2) и механизмом регулирования расстояния от источника теплового излучения до образца.

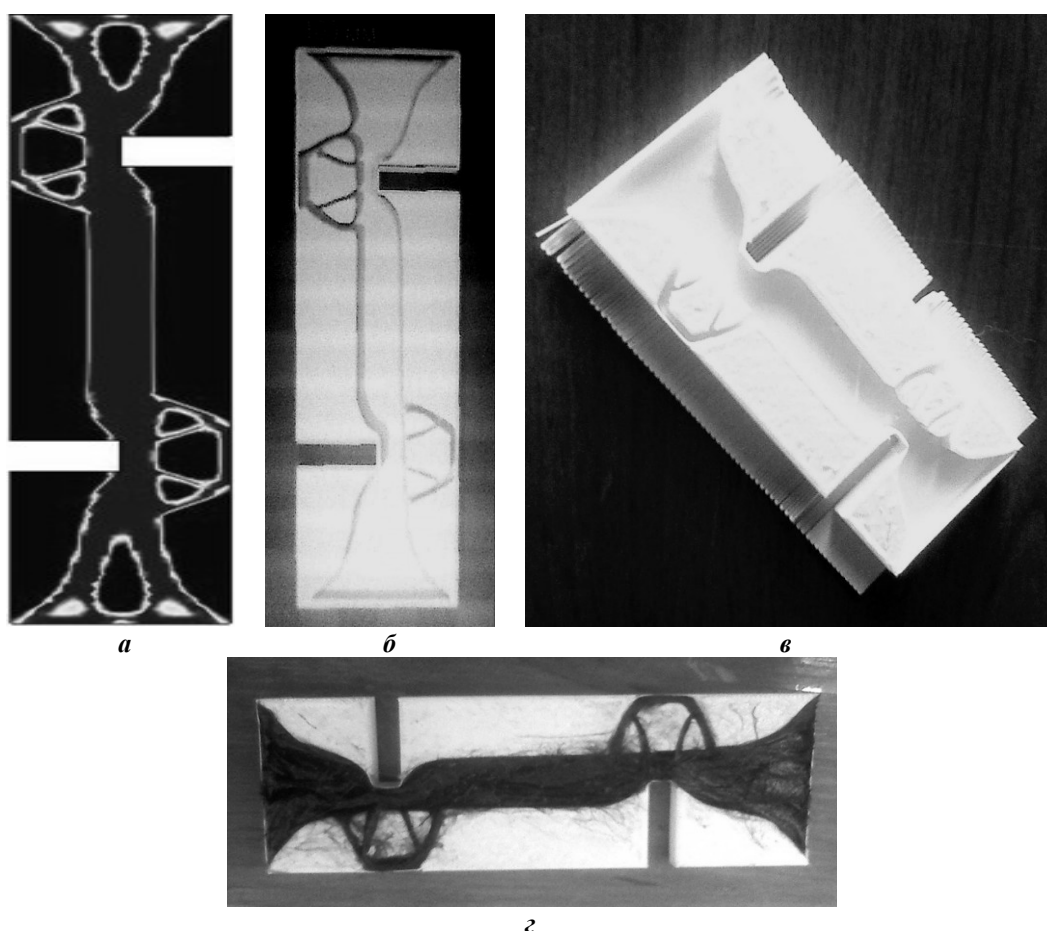


Рис. 1. Образец с топологической композиционной структурой:

а – поле внутренних напряжений при моделировании растяжения; б – 3D модель образца;

в – заготовка, сформированная на 3D-принтере;

г – образец, армированный углепластиком согласно топологии

Тепловые поля записывали при помощи тепловизора модели FLIR E40 (США) с калибровкой температуры в опорных точках при помощи пирометра Testo 830-T1 (Германия). Источник теплового излучения закрывался металлическим экраном с вертикальной щелью длиной 100 и шириной 8 мм, напротив которой устанавливали образец. Тепловизор размещали за образцом на расстоянии в соответствии с паспортными данными. Нагрев выполняли до появления на экране тепловизора полей, соответствующих температуре 150 °С.

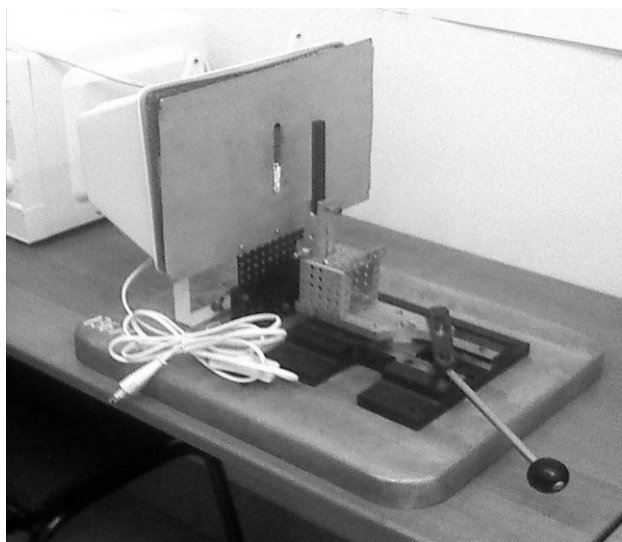


Рис. 2. Экспериментальная установка для нагрева образцов (в оснастке закреплён образец из квазиизотропного углекомпози́та)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализировали тепловые поля для каждого из изучаемых материалов, при этом в соответствии с методикой [21] по термограмме определяли время нагрева образца до температуры, соответствующей половине конечного значения. На основе полученных данных по ниже приведенным зависимостям [21] рассчитывали коэффициенты температуро- и теплопроводности. Для изучения кинетики нагрева с термограммы каждые 10 с снимали значения температуры образца в среднем сечении и на его периферии.

Полученные результаты представлены на рис. 3–5.

Коэффициент теплопроводности получили из следующих формул:

$$\alpha = F_0 \frac{L^2}{\tau_{0,5}},$$

$$T_{st} = \frac{W\alpha}{\lambda L}, \text{ откуда } \lambda = \frac{W\alpha}{T_{st}L},$$

где α – коэффициент температуропроводности, м²/с;
 $F_0=0,1388$ – число Фурье, коэффициент при времени нагрева $\tau=\tau_{0,5}$;
 L – толщина пластины (образца);

$\tau_{0,5}$ – время достижения половины амплитуды перегрева образца;

T_{st} – избыточная температура (стационарное значение) задней поверхности образца;

W – плотность поглощенной энергии;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/мК.

Анализ термограмм показывает, что за установленный промежуток времени наиболее равномерно прогреваются образцы из углепластика и порошка Zp130, пропитанного цианокрилатом. Область температур (130–1400) °С занимает почти 2/3 поверхности образца из углепластика и 3/4 поверхности образца из порошка. Для стеклопластика это соотношение не превышает 1/2, а квазиизотропный углекомпозит имеет зональный прогрев: в то время как прилегающая к одной из боковых поверхностей зона имеет температуру около 150 °С и доходит почти до среднего сечения, противоположная сторона нагрета только до 135 °С.

Возможно, наблюдается влияние различной ориентации углеродных волокон, образующих квазиизотропную относительно равнопрочную структуру. В отмеченных зонах волокна имеют взаимноперпендикулярную направленность, что приводит к изменению тепловых потоков и различному количеству поглощенной тепловой энергии. У углепластика, полученного послойной выкладкой, углеродные волокна являются основными проводниками тепла и однонаправлены, что приводит к стабильному тепловому потоку и равномерному нагреву. Композит на основе порошка Zp130 имеет микропористую структуру, заполненную связкой (цианокрилат), свойства которой после отверждения сходны с порошком, поэтому тепловое поле здесь почти равномерно для всей поверхности.

Теплофизические коэффициенты исследованных материалов существенно различаются. Минимальный коэффициент температуропроводности имеет углепластик, в то же время этот коэффициент у квазиизотропного углекомпозита выше почти на 2 порядка. Скорее всего, это может быть связано со значительно меньшей плотностью углепластика, полученного выкладкой слоев армирующих волокон и матрицы. Коэффициент температуропроводности стеклопластика выше, чем у углепластика почти в 2,6 раза и его отличие от данного параметра квазиизотропного углекомпозита – 9 раз. Наиболее близка температуропроводность композита на основе порошка Zp130 и квазиизотропного углекомпозита – различие не превышает 70 %, а коэффициенты теплопроводности различаются не более, чем на 28 %. В целом различие коэффициентов теплопроводности для исследованных материалов качественно повторяет зависимость для температуропроводности. Из графиков кинетики нагрева видно, что наиболее равномерный нагрев образца (по оценке противоположной источнику тепла поверхности) наблюдается для композита на основе порошка Zp130, пропитанного цианокрилатом. При этом температура 140 °С достигается практически через 40 с нагрева. За тот же период времени квазиизотропный композит нагревается до 120 °С, углепластик – до 105 °С, стеклопластик – до 110 °С. Композит на основе порошка Zp130 характеризуется высокой равномерностью прогрева: температуры центральной и периферийной зон отличаются в течение всего цикла не более чем на (5–8) °С. Наибольшую неравномерность

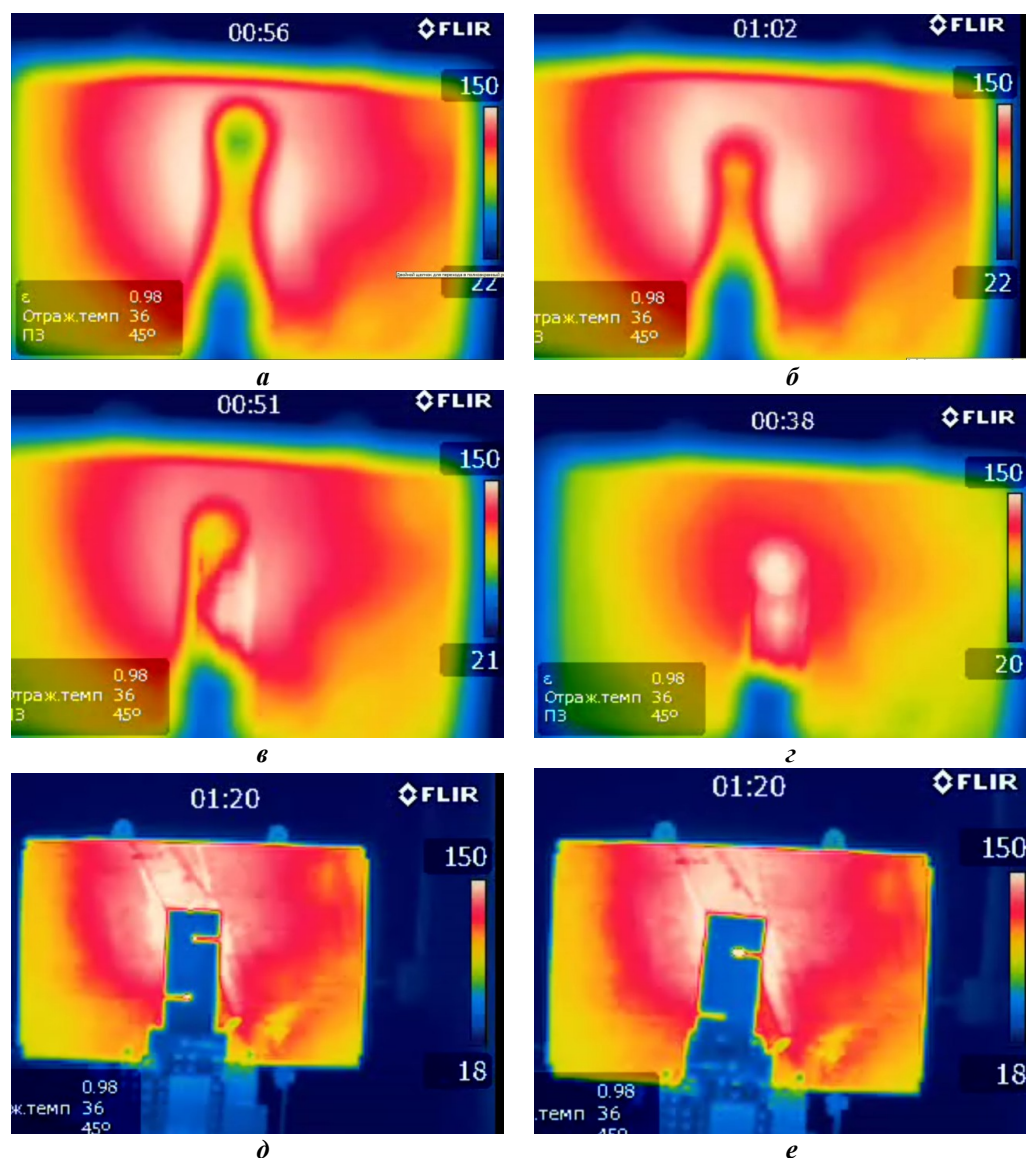


Рис. 3. Термограммы образцов в момент окончания процесса нагрева: стеклопластик (а), углепластик (б), квазиизотропный углекомпозит (в), композит на основе порошка Zr130 (г), термопласт ABS (д), термопласт ABS с армированной композитом на основе углеродных волокон топологической структурой (е)

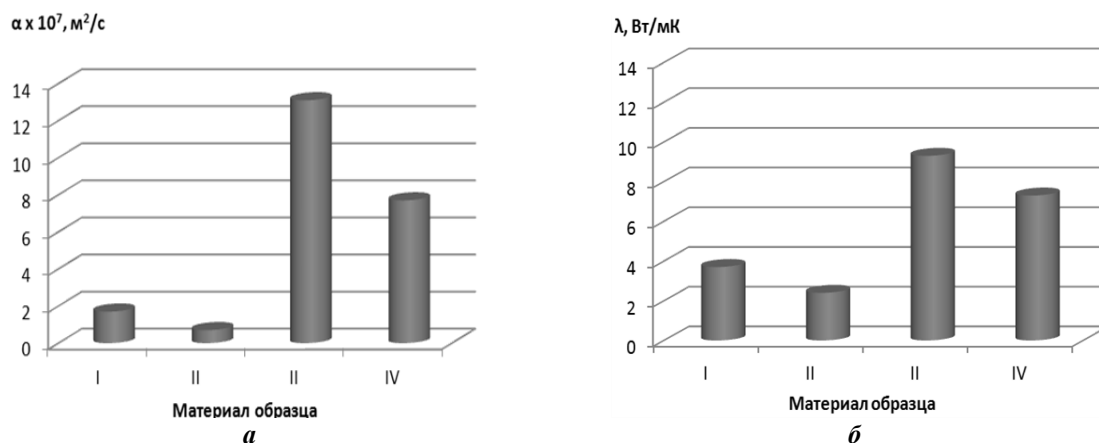


Рис. 4. Значения коэффициентов температуропроводности α (а) и теплопроводности λ (б) различных материалов: I – стеклопластик; II – углепластик; III – квазиизотропный углекомпозит; IV – композит на основе порошка Zr130, сформированный путем трехмерной печати

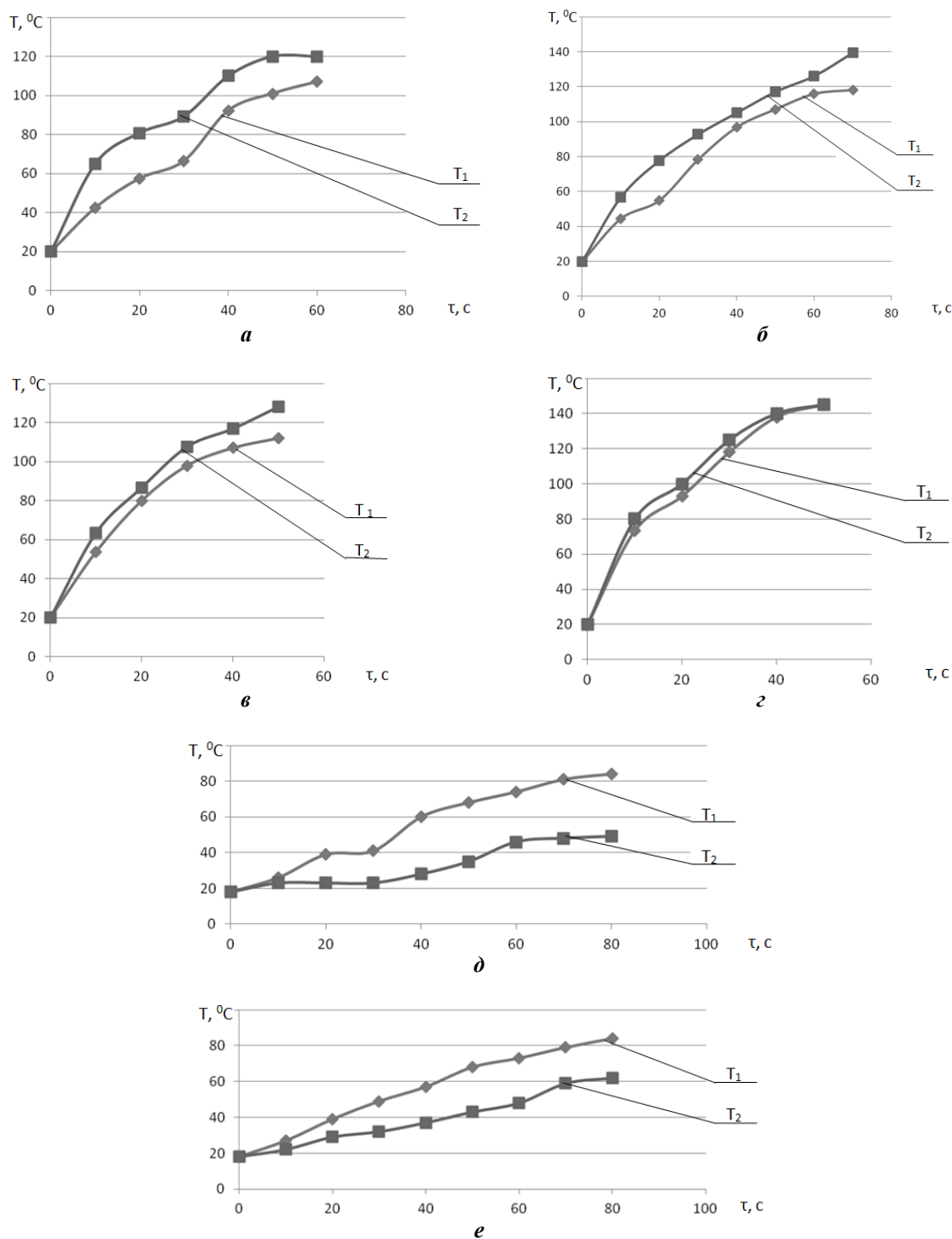


Рис. 5. Кинетика нагрева образцов из композиционных материалов: стеклопластик (а); углепластик (б); квазиизотропный углекомпозит (в); композит на основе порошка Zp130 (г); термопласт ABS (д); термопласт ABS с армированной композитом на основе углеродных волокон топологической структурой (е). T_1 – область вблизи оси образца; T_2 – боковая поверхность

прогрева имеет образец из стеклопластика. Расхождение значений температур достигает 20 $^{\circ}\text{C}$.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе анализа полученных результатов можно заключить, что для применяемых в качестве конструкционных композиционных материалов, армированных углеродными волокнами и волокнами синтетического

стекла, а также аддитивных материалов характерно существенное различие теплофизических параметров, что вызывает необходимость подбора компонентов при упрочнении изделий из аддитивных материалов путем формирования топологических структур. В частности, для упрочнения изделий на основе порошка Zp130 целесообразно применение слоев, подобных квазиизотропному углепластику. При СВЧ модифицировании

стекло- и углепластиков, полученных послойной выкладкой, вследствие их низкой температуро- и теплопроводности необходимо сокращать время воздействия СВЧ электромагнитного поля и его напряженность в рабочей зоне во избежание разогрева поверхностных слоев и у кромок изделия вследствие неизбежных тепловых эффектов, присущих воздействию данного поля на диэлектрические материалы.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 17-03-00720 «Методология оптимизационного микроконструирования композиционных материалов для объектов сложной формы повышенной динамической прочности, послойно формируемых электротехнологическими методами».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1. С. 3–33.
2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // *Вестник Российской академии наук*. 2012. Т. 82. № 6. С. 520–530.
3. Павлов С.П., Крысько В.А. Оптимизация формы термоупругих тел. Саратов: Изд-во СГТУ, 2000. 160 с.
4. Павлов С.П., Жигалов М.В., Балабуха Т.С. Оптимальное армирование стержней в задачах кручения // *Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: межвуз. науч. сб.* Саратов: Изд-во СГТУ, 2009. С. 151–157.
5. Павлов С.П., Пальков Р.С. Влияние свойств межфазового слоя на эффективные механические характеристики нано композитов // *Деформация и разрушение материалов и наноматериалов (DFMN-2013): материалы V междунар. конф.* М., 2013. С. 554–556.
6. Ahmad A.A., Abdalla M.M., Gurdal Z. Optimal Design of Tow-Placed Pressurized Fuselage Panels for Maximum Failure Load with Bucking Considerations // *Journal of Aircraft*. 2010. Vol. 47. № 3. P. 775–782.
7. Nomura T., Dede E.M., Matsumori T., Kawamoto A. Simultaneous Optimization of Topology and Orientation of Anisotropic Material using Isoparametric Projection Method // *11th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization*. Sydney, 2015. P. 728–733.
8. Bourell D.L., Beaman J.J.Jr., Leu M.C., Rosen D.W. A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead // *RapidTech 2009: U.S.-Turkey Workshop on Rapid Technologies*. Erfurt, 2009. P. 5–11.
9. Ehrenberg R. The 3-D Printing Revolution: Dreams Made Real One Layer at a Time // *Science News*. 2013. March 9. P. 20–25.
10. Идрисов Г.И., Кузьмина А.С., Рожкова Е.С., Санатов Д.В., Султанов Д.К. Новая технологическая революция: вызовы и возможности для России: экспертно-аналитический доклад. М.: Центр стратегических разработок, 2017. 136 с.
11. Панин В.Е., Егорушкин В.Е., Панин А.В. Физическая мезомеханика деформируемого твердого тела как многоуровневой системы. I. Физические основы многоуровневого подхода // *Физическая мезомеханика*. 2006. Т. 9. № 3. С. 9–22.
12. Архангельский Ю.С. Справочная книга по СВЧ-электротермии. Саратов: Научная книга, 2011. 560 с.
13. Estel L., Lebaudy Ph., Ledoux A., Bonnet C., Delmotte M. Microwave assisted blow molding of polyethylene-terephthalate (PET) bottles // *Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications*. Austin, 2004. P. 33–34.
14. Ибаев М.О., Студенцов В.Н., Черемухина И.В. Совершенствование технологии полимерной арматуры из реактопластов с применением постоянного электрического поля // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2012. № 5. С. 132–134.
15. Коломейцев В.А., Кузьмин Ю.А., Никуйко Д.Н., Семенов А.Э. Экспериментальные исследования уровня неравномерности нагрева диэлектрических материалов и поглощенной мощности в СВЧ устройствах резонаторного типа // *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2013. Т. 18. № 12. С. 25–31.
16. Zlobina I.V., Bekrenev N.V. The influence of electromagnetic field microwave on physical and mechanical characteristics of CFRP (carbon fiber reinforced polymer) structural // *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 870. P. 101–106.
17. Zlobina I.V., Bekrenev N.V., Muldasheva G.K. Increasing of the endurance of polymeric construction materials with the multilevel hierarchical structure in the microwave electromagnetic field // *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1783. P. 020236.
18. Злобина И.В., Бекренев Н.В. Исследование микроструктуры конструкционных слоистых углепластиков, модифицированных путем электрофизических воздействий // *Вестник РГАТУ*. 2017. № 1. С. 236–242.
19. Злобина И.В., Бекренев Н.В. Исследование изгибной прочности объектов 3D печати из диэлектрических материалов, модифицированных в СВЧ электромагнитном поле // *Динамика систем, механизмов и машин*. 2016. Т. 1. № 1. С. 308–312.
20. Фалилеев А.Д. Практическая реализация метода Паркера для определения температуропроводности // *Современные техника и технологии: сб. XVIII междунар. научно-практ. конф.* В 3 т. Т. 3. Томск, 2012. С. 137–138.
21. Вавилов В.П., Торгунаков В.Г., Нестерук Д.А., Маринетти С., Бизон П., Гринцато Э. Определение теплофизических характеристик материалов методом термографии // *Известия Томского политехнического университета*. 2006. Т. 309. № 2. С. 130–134.

REFERENCES

1. Kablov E.N. Innovative development FGUP "VIAM" SSC RF on implementation of the "Strategic directions of development of materials and technologies of their reprocessing for the period till 2030". *Aviatsionnye materialy i tekhnologii*, 2015, no. 1, pp. 3–33.
2. Kablov E.N. Materials and chemical technology for aircraft engineering. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2012, vol. 82, № 3, pp. 158–167.
3. Pavlov S.P., Krysko V.A. *Optimizatsiya formy termouprugikh tel* [Shape optimization of thermoelastic bodies]. Saratov, SGTU Publ., 2000. 160 p.
4. Pavlov S.P., Zhigalov M.V., Balabukha T.S. Optimal reinforcement rods in problems of torsion.

- Mezhyuzovskiy nauchnyy sbornik "Problemy prochnosti elementov konstruktiv pod deystviem nagruzok i rabochikh sred"*. Saratov, SGTU Publ., 2009, pp. 151–157.
5. Pavlov S.P., Palkov R.S. The influence of the properties of the interfacial layer on the effective mechanical properties of nano composites. *Materialy V mezhdunar. konf. "Deformatsiya i razrushenie materialov i nanomaterialov (DFMN-2013)"*. Moscow, 2013, pp. 554–556.
 6. Ahmad A.A., Abdalla M.M., Gurdal Z. Optimal Design of Tow-Placed Pressurized Fuselage Panels for Maximum Failure Load with Buckling Considerations. *Journal of Aircraft*, 2010, vol. 47, no. 3, pp. 775–782.
 7. Nomura T., Dede E.M., Matsumori T., Kawamoto A. Simultaneous Optimization of Topology and Orientation of Anisotropic Material using Isoparametric Projection Method. *11th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization*. Sydney, 2015, pp. 728–733.
 8. Bourell D.L., Beaman J.J.Jr., Leu M.C., Rosen D.W. A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead. *RapidTech 2009: U.S.-Turkey Workshop on Rapid Technologies*. Erfurt, 2009, pp. 5–11.
 9. Ehrenberg R. The 3-D Printing Revolution: Dreams Made Real One Layer at a Time. *Science News*, 2013, March 9, pp. 20–25.
 10. Idrisov G.I., Kuzmina A.S., Rozhkova E.S., Sanatov D.V., Sultanov D.K. *Novaya tekhnologicheskaya revolyutsiya: vyzovy i vozmozhnosti dlya Rossii. Ekspertno-analiticheskiy doklad* [New technological revolution: challenges and opportunities for Russia]. Moscow, Tsentr strategicheskikh razrabotok Publ., 2017. 136 p.
 11. Panin V.E., Egorushkin V.E., Panin A.V. Physical mesomechanics of a deformed solid as a multilevel system. I. Physical fundamentals of the multilevel approach. *Fizicheskaya mezomekhanika*, 2006, vol. 9, no. 3, pp. 9–22.
 12. Arkhangelsky Yu.S. *Spravochnaya kniga po SVCh-elektrotermii* [Reference book on microwave electrothermics]. Saratov, Nauchnaya kniga Publ., 2011. 560 p.
 13. Estel L., Lebaudy Ph., Ledoux A., Bonnet C., Delmotte M. Microwave assisted blow molding of polyethylene-terephthalate (PET) bottles. *Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications*. Austin, 2004, pp. 33–34.
 14. Ibaev M.O., Studentsov V.N., Cheremukhina I.V. Improvement of technology of polymeric fittings from reaktoplast with use of constant electric field. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*, 2012, no. 5, pp. 132–134.
 15. Kolomeyts V.A., Kuzmin Yu.A., Nikuyko D.N., Semenov A.E. Experimental study of the level of uneven heating of dielectric materials and the absorbed power in the microwave resonator-type devices. *Elektromagnitnye volny i elektronnyye sistemy*, 2013, vol. 18, no. 12, pp. 25–31.
 16. Zlobina I.V., Bekrennev N.V. The influence of electromagnetic field microwave on physical and mechanical characteristics of CFRP (carbon fiber reinforced polymer) structural. *Solid State Phenomena*, 2016, vol. 870, pp. 101–106.
 17. Zlobina I.V., Bekrennev N.V., Muldasheva G.K. Increasing of the endurance of polymeric construction materials with the multilevel hierarchical structure in the microwave electromagnetic field. *AIP Conference Proceedings*, 2016, vol. 1783, p. 020236.
 18. Zlobina I.V., Bekrennev N.V. Microstructure analysis of structural laminar carbon-fiber composites modified by electro physical effects. *Vestnik RGATU*, 2017, no. 1, pp. 236–242.
 19. Zlobina I.V., Bekrennev N.V. Investigation of the Flexural strength of objects 3D printing of dielectric materials, modified in a microwave electromagnetic field. *Dinamika system, mekhanizmov i mashin*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 308–312.
 20. Falileev A. Practical implementation of the method of Parker to determine the thermal diffusivity. *Sbornik XVIII mezhdunar. nauchno-prakt. konf. "Sovremennaya tekhnika i tekhnologii"*. Tomsk, 2012, vol. 3, pp. 137–138.
 21. Vavilov V.P., Torgunakov V.G., Nesteruk D.A., Marinetti S., Bizon P., Grintsato E. Definition of thermal physical characteristics of materials using IR thermography method. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2006, vol. 309, no. 2, pp. 130–134.

**THE STUDY OF THERMAL CHARACTERISTICS OF GLASS-, CARBON FIBER MATERIALS
AND MATERIALS PRODUCED BASING ON THE ADDITIVE TECHNOLOGIES
USING 3DP AND FDM TECHNOLOGIES**

© 2018

I.V. Zlobina, PhD (Engineering),
assistant professor of Chair “Engineering Mechanics and Machinery”
N.V. Bekrenev, Doctor of Sciences (Engineering), Professor,
Head of Chair “Engineering Mechanics and Machinery”
S.P. Pavlov, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor,
professor of Chair “Mathematics and modeling”
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov (Russia)

Keywords: additive technologies; powder and fiber composite materials; polymer thread; interlayer interaction; tensile strength; internal stresses; heat kinetics; thermal diffusivity; thermal conductivity; thermal field.

Abstract: Composites are widely used in the air and land transport systems, although they have a significant disadvantage that is a considerable anisotropy of physical and mechanical characteristics and low strength especially under bending, in complex deformed state and under the dynamic alternating loads. The application of the electrophysical and, more specifically, microwave modification of the structure of the products made of such materials allows improving significantly the strength properties. Due to the thermal effects accompanying the influence of the microwave electromagnetic field, to optimize the technological modes of modification, it is important to study thermal characteristics of complex materials with heterogeneous structure for predicting possible effects of microwave exposure. The authors carried out the study of heat kinetics, coefficients of thermal conductivity and thermal diffusivity of the samples made of glass- and carbon fiber materials, carbon fiber reinforced material with a quasi-isotropic structure, additive materials – *ABS* plastic and *Zp130* powder-based composite material impregnated with the *Z-BondTM90* cyanoacrylate. The heating process of samples of carbon fiber-based *ABS* plastics with the additional topological composite structure has been studied. The significant (up to eight times) difference in thermal parameters of the additive *ABS* plastics and composite materials has been determined. At the same time, molded glass- and carbon fiber materials have thermal conductivity 4-6 times lower than the *Zp130* powder-based composites. The cured composites with the quasi-isotropic structure have the values of thermal conductivity and thermal diffusivity coefficients an order of magnitude and higher, what is apparently caused by the much higher structure density. All these facts confirm the necessity to carry out the selection of the components according to both the strength improvement criterion and the thermal parameters correlation when developing the structures of reinforced products made of additive materials with the topological structure and the technologies of their modification.