

С. А. ЗАБЕРЕЖНЫЙ, М. Б. ИСМАИЛОВ, Б. А. БАЙСЕРИКОВ*

*АО «Национальный центр космических исследований и технологий»,
Алматы *m.ismailov@spaceres.kz*

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ ПЛАСТИН

В настоящее время одним из важных направлений аэрокосмического производства является поиск новых, более совершенных материалов. Одним из перспективных направлений в материаловедении является разработка и применение углепластиковых деталей. В данной работе проведен первичный анализ компонентов углепластика, исследованы свойства двух марок эпоксидных смол ЭД-20 и Этал-257у. Определено оптимальное массовое содержание отвердителя, которое для ЭД-20 составляет 15 %, для Этал-257у – 27,5 %. Изучены условия отверждения эпоксидной смолы и ее термообработки. Термообработка проводится при температуре 120 °С в течение 8 ч. Данная операция позволяет увеличить прочность на растяжение на 20 %. Проведено сравнение трех методов формования углепластика: механического прессования, вакуумного формования и вакуумной инфузии. Определены преимущества и недостатки каждого из методов. Выявлено, что метод вакуумной инфузии позволяет получать образцы с наибольшим содержанием углепластика, наименьшей пористостью и, соответственно, большей прочностью, чем два других метода. Впоследствии для дальнейших исследований применялся и совершенствовался метод вакуумной инфузии, как самый перспективный и высокотехнологичный. Для метода вакуумной инфузии разработана технология изготовления углепластиковых пластин, собрана лабораторная установка. Данным методом получены образцы, имеющие матовую шершавую поверхность с двух сторон, обладающие низкой пористостью, массовым содержанием углеткани 70 % и прочностью на растяжение 367 МПа.

Ключевые слова: углепластик, эпоксидная смола, термообработка, механическое прессование, вакуумное формование, вакуумная инфузия, прочность.

Введение. Углепластик – это современный аэрокосмический материал, обладающий рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с классическими материалами. В отличие от легких металлов, которые довольно часто подвергаются коррозии, углепластик обладает высокой стойкостью к воздействию окружающей среды, высокими физико-техническими характеристиками и малым весом. При этом его прочность не уступает стали. В современных летательных аппаратах массовая доля углепластика в несущей конструкции достигает до 80 % [1, 2].

Благодаря высоким характеристикам, углепластик причисляется к материалам двойного назначения, что делает технологию его получения секретной и закрытой для импорта в Казахстан. Для применения углепластика в отечественном аэрокосмическом производстве требуется создание собственной технологии его получения [3].

Важнейшим компонентом углепластика является матрица (связующее) – эпоксидная смола. Она характеризуется многими свойствами: прочностью, вязкостью, пластичностью, термостойкостью, степенью адгезии к углеткани.

Одной из самых распространенных смол является ЭД-20 – реакционноспособный олигомерный продукт на основе диглицидилового эфира дифенилолпропана. Характеристики смолы позволяют работать при комнатной температуре, при отверждении смола приобретает высокую прочность.

Также была использована смола Этал-257у, обладающая низкой вязкостью и лучшей адгезией к углеткани, но меньшей, по сравнению с ЭД-20, прочностью.

Цель настоящей работы – выбрать связующее для композита, определить соотношение смола/отвердитель, найти оптимальные режимы термообработки смолы. Исследовать три различных метода формования углепластика, выбрать метод, позволяющий получать образцы наилучшего качества с максимальными прочностными характеристиками.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. Первым этапом испытаний было определение свойств смол независимо от углеткани. Для испытаний готовились цилиндрические образцы эпоксидной смолы диаметром 20 мм и высотой 30 мм при различном массовом содержа-

нии отвердителя. Далее проводилось испытание образцов на сжатие на прессе ИП 6082-100-0 до полного разрушения. Результаты испытаний приведены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Зависимость прочности двух марок эпоксидной смолы в зависимости от содержания отвердителя

Как видно из графика, максимальная прочность на сжатие для смолы ЭД-20 достигается при содержании отвердителя ПЭПА 15 %, а для смолы Этал-257у – при содержании отвердителя 27,5 %. Дальнейшие эксперименты проводились с этими рецептурами смесей.

Исследование для определения оптимальных температур отверждения смол осуществлялось в сушильной печи. Эксперименты проводились при температурах: 25, 60, 90, 120, 150 °С. Термообработка осуществлялась в течение 8 ч, результаты представлены на рисунке 2 [4].

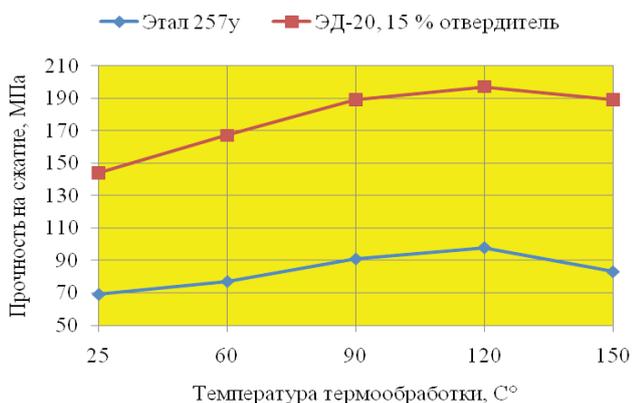


Рисунок 2 – Зависимость прочности эпоксидной смолы от температуры термообработки (продолжительность 8 ч)

Из полученных данных видно, что термообработка повышает прочность материала. Для смолы ЭД-20, как и для смолы Этал-257у оптимальной температурой термообработки является 120 °С. Полученные данные применимы как для углепластиков, так и для других материалов, в создании которых применяется эпоксидная смола.

Дальнейшим этапом исследования было экспериментальное определение оптимального метода формования углепластиков. В исследовании использовалась углеткань плетения твил 2/2-3К-1000-200. В каждом из методов было использовано 6 слоев ткани. После выкладки проводилась термообработка при 120 °С, в течение 8 часов. Испытания на растяжение проводились на машине ZD-10/90 на заготовках размером 20 на 100 мм.

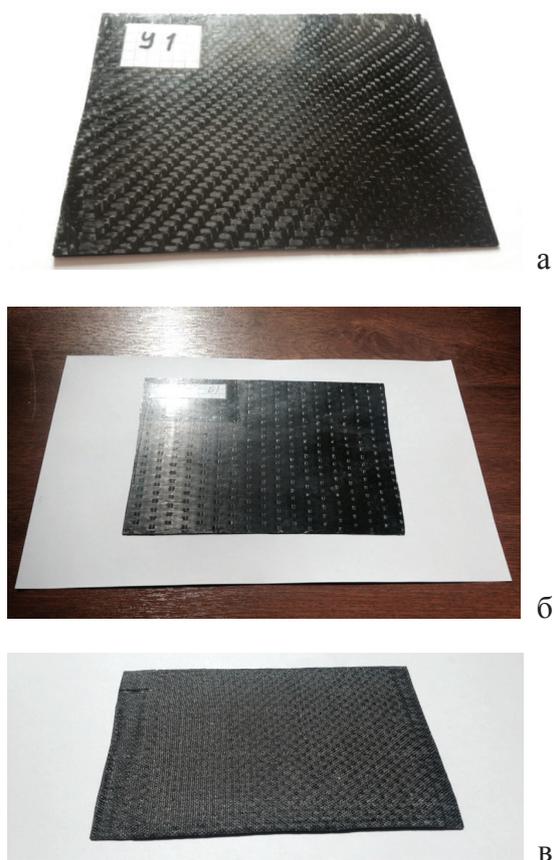
Первым был выбран метод ручного формования с механическим прессованием. Данная технология является экономичной и применяется при выпуске изделий малыми и средними партиями.

Процесс ручного формования состоит из следующих этапов. Подготавливается матрица, в нашем случае была использована алюминиевая пластина, на матрицу наносится разделительный слой, позволяющий впоследствии отделить заготовку. Углеткань раскраивается и выкладывается послойно в матрицу. Каждый слой пропитывается эпоксидной смолой ЭД-20 с помощью кисточки или мягкого валика. На завершающем этапе углепластик подвергается прикатке с помощью жесткого валика, так как прикатка позволяет избавиться от пузырьков воздуха в материале. Отверждение может проходить под давлением или без него. В нашем случае использовалась ответная матрица, на которую было приложено давление. Извлечение изделия из матрицы проводится только после полного отверждения, которое занимает до 24 часов [5]. Изделие имеет глянцевую поверхность с двух сторон с высоким содержанием пор, массовое содержание углеткани составляет 50 %, прочность на растяжение 245 МПа (рисунок 3 а).

Вторым методом было выбрано вакуумное формование. Для данного метода был собран стенд, состоящий из вакуумного насоса, автоматического предохранителя, вакуумметра и вакуумных трубок.

Эксперимент проводится на столе с покрытием из закаленного стекла. В подготовительной части на стекло наносится разделительный спирт, выкладывается спиральная трубка, служащая для распределения давления по периметру, а также укладывается герметизирующий жгут.

Далее проводится ручная выкладка углеткани с послойным нанесением эпоксидной смолы ЭД-20 с помощью валика.



а) образец, полученный методом механического прессования
 б) образец, полученный методом вакуумного формования
 в) образец, полученный методом вакуумной инфузии

Рисунок 3 – Образцы углепластика, полученные различными методами

На углеткань укладывается жертвенная ткань, которая во время пропитки позволяет проходить смоле и воздуху, но в то же время отделяется от изделия после его отверждения. Следующим слоем выкладывается проводящая сетка, равномерно распределяющая давление по поверхности и впитывающая излишки эпоксидной смолы.

Далее укладывается вакуумная пленка, пакет герметизируется, подключается трубка для откачки воздуха. Происходит вакуумирование, при котором выводится воздух из тела изделия, происходит распределение смолы, уплотняется композит. Изделие, полученное данным методом, имеет одну поверхность глянцевую, вторую – матовую и шероховатую. Матовая поверхность облегчает вторичную обработку изделия, а также ее покраску. Массовое содержание углеткани составляет 60 %, присутствует слабая пористость, прочность на растяжение 310 МПа (рисунок 3 б).

При вакуумной инфузии различия от предыдущего метода заключаются в том, что выкладывается сухая углеткань, и помимо вакуумной трубки

к пакету подсоединяется трубка подачи смолы. Для улучшения качества пропитки снизу добавлен слой проводящей сетки и жертвенной ткани. Трубка подачи смолы опускается в емкость с эпоксидной смолой Этал-257у и пережимается посередине зажимным устройством. После проверки пакета на герметичность и предварительной откачки воздуха зажим убирается, и под действием разницы атмосферного давления и давления, создаваемого в пакете, смола начинает пропитывать слои углеткани. После полной пропитки трубка перекрывается, но вакуум поддерживается вплоть до полного отверждения. При инфузии важно, чтобы глубина вакуума не превышала 0,7, в противном случае возможно закипание смолы [6]. Образцы, полученные вакуумной инфузией, имеют матовую шершавую поверхность с двух сторон, обладают низкой пористостью и массовым содержанием углеткани 70 %, прочностью на растяжение 367 МПа (рисунок 3 в). Данное содержание углеткани обеспечивает максимальную прочность углепластика. Дальнейшее повышение содержания возможно только при неполной пропитке и наличии воздушных пор, что будет приводить к понижению прочности.

Выводы. В результате исследований двух марок эпоксидных смол ЭД-20 с отвердителем ПЭПА и Этал-257у с отвердителем Этал-45 получены оптимальные соотношения смолы и отвердителя. Найденные экспериментальным путем оптимальные соотношения следующие: смола ЭД-20 – 85 %, отвердитель ПЭПА – 15 %; смола Этал-257у – 72,5 %, отвердитель Этал-45 – 27,5 %. Показано, что оптимальная температура полимеризации смолы составляет 120 °С.

Проведен сравнительный анализ трех методов формования углепластиковых пластин: ручного формования, вакуумного формования и вакуумной инфузии. В ходе анализа было установлено, что вакуумная инфузия позволяет получать образцы с минимальной пористостью, наибольшим содержанием углеткани и, соответственно, большей прочностью. Получены образцы с прочностью на растяжение 367 МПа.

ЛИТЕРАТУРА

1 Большая энциклопедия нефти и газа. Экономия-масса [Электрон. ресурс]. – 2014. – URL: <http://www.ngpedia.ru/id609592p2.html> (дата обращения: 27.03.16).

2 Молчанов Б.И., Гудимов М.М. Свойства углепластиков и области их применения. – М.: ВИАМ, 1996. – 10 с.

3 Жантаев Ж.Ш., Исмаилов М.Б. Режимы экспортного контроля и их возможное влияние на развитие космической отрасли Казахстана на примере конструкционных материалов и дви-

гательных систем // Космические исследования и технологии. – 2013. – № 2. – С. 14-19.

4 Карнаухова А.В. Исследование термостойкости конструкционных стеклопластиков на эпоксидных связующих. / Карнаухова А.В., Огрель Л.Ю. // Успехи в химии и химической технологии: Том XVI: № 3, РХТУ им. Д.И. Менделеева. – Москва, 2002. – С. 35-36.

5 Технология ручного формования. Стеклопластик ПК [Электрон. ресурс]. – 2015. – URL: <http://stekloplastics.com/ruchnoe-formovanie> (дата обращения: 05.10.15).

6 Полимерные композиционные материалы: методы получения. Методическое руководство. под ред. Яблоковой М.Ю. – М. 2011. – 54 с.

REFERENCES

1 *Bol'shaya ehntsiklopediya nefti i gaza. ehkonomiya-massa* (Great encyclopedia of oil and gas, weigh reduction) [electronic resource]. 2014. URL: <http://www.ngpedia.ru/id609592p2.html> (accessed date 27.03.16) (in Russ.).

2 Molchanov B.I., Gudimov M.M. *Svojstva ugleplastikov i oblasti ikh primeneniya* (Properties of carbon and it's application). Moscow: VIAM, 1996. 10. (in Russ.).

3 Zhantaev Zh.Sh., Ismailov M.B. *Rezhimy ehksportnogo kontrolya i ikh vozmozhnoe vliyanie na razvitie kosmicheskoy otrasli Kazahstana na primere konstrukcionnykh materialov i dvigatel'nykh system* (Security system of export control and it's possible effect on development of space branch of Kazakstan through the example of composite materials and engine system). *Kosmicheskoe issledovaniya i tekhnologii=Space research and technology*. 2013. 2. 14-19 (in Russ.).

4 Karnauhova A.V. *Issledovanie termostojkosti konstrukcionnykh stekloplastikov na ehpoksidnykh svyazuyushchikh* (Research of heat resistant composite fiberglass materials on epoxy bonding). *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii = Progress in chemistry and chemical technology*. 2002. Volume XVI, 3, D.I. Mendeleev's RHTU. 35-36 (in Russ.).

5 *Tekhnologiya ruchnogo formovaniya* (Process of hand moulding). Stekloplastik PK [electronic resource]. 2015. URL: <http://stekloplastics.com/ruchnoe-formovanie> (accessed date: 05.10.15), (in Russ.).

6 *Polimernye kompozitsionnye materialy: metody polucheniya* (Polymer composite structures: procedure manual). Edited by Yablokova M.Yu. Moscow, 2011. 54 (in Russ.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Қазіргі таңда аэроғарыштық өндірістің маңызды бағыттарының бірі жаңа, әрі неғұрлым жетілдірілген материалдарды іздеу болып табылады. Материалтанудағы болашағы зор бағыттардың бірі ол – көмірпластикті бөлшектерді өндіру және пайдалану болып табылады. Бұл жұмыста көмірпластиктің компоненттерінің бірінші реттік талдауы жүргізілген, екі түрлі маркалы ЭД-20 және Этал-257у эпоксидті шайырларының қасиеттері зерттелген. Қатырғыштың оптималды массалық үлесі анықталған, ЭД-20 үшін 15% құрайды, ал Этал-257у үшін – 27,5 %. Эпоксидті шайырларды қатыру жағдайлары және оның термоөңдеуі зерттелген. Термоөңдеу 120 °С температурада 8 сағат көлемінде жүргізіледі. Бұл әдіс созуға беріктікті 20 %-ға арттыруға мүмкіндік береді. Көмірпластикті қалыптаудың үш түрлі әдісін салыстыру жүргізілді: механикалық пресстеу әдісі, вакуумдық қалыптау әдісі және вакуумдық инфузия әдісі. Әрбір әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды. Вакуумдық инфузия әдісі арқылы, басқа екі әдіске қарағанда, көмірпластиктің құрамы жоғары, кеуектілігі аз және, сәйкесінше, беріктігі жоғары болатын сынамаларды алуға мүмкіндік беретіндігі анықталып берілді. Нәтижесінде, келесі зерттеулерде, болашағы бар және жоғары технологиялық әдіс ретінде, вакуумдық инфузия әдісі қолданылды және жетілдірілді. Вакуумдық инфузия әдісі үшін көмірпластикті пластиналарды дайындау технологиясы жасап шығарылды, зертханалық қондырғы құрастырылды. Берілген әдіспен екі жағы бұлыңғыр дерекі бетті, төмен кеуектілікті, көміртекті матаның массалық үлесі 70 % және созылуға беріктігі 367 МПа болатын сынамалар алынды.

Түйінді сөздер: көмірпластик, эпоксид шайыры, термоөңдеу, механикалық пресстеу әдісі, вакуумдық қалыптау, вакуумдық инфузия, беріктік.

SUMMARY

Currently one of the major trends of development in aerospace industry is searching of new advanced materials. One of such advanced materials is carbon-plastic, which is strong and lightweight with great corrosive resistivity. In the current paper basic analysis of carbon-plastic's components are carried out. Two types of epoxy resin (ED-20 and Etal-257u) were examined. For given resins optimal proportion of hardener were determined: for ED-20 is 15 % and for Etal-257u – 27.5 %. Conditions of resin curing and its heat treatment were studied. Heat treatment is carried out at temperature 120 °C for 8 hours. Such processing improves tensile strength of obtained samples by 20 %. Comparing of three methods of carbon-plastic moulding was studied, namely method of mechanical press moulding, vacuum moulding and vacuum infusion. Research showed that samples obtained by vacuum infusion have higher concentration of carbon fiber and less porosity which leads to better strength in comparison with other two methods. Hereafter for further researches vacuum infusion method only was used and improved as most advanced. For chosen method a laboratory machine for producing of carbon-plastic plates was constructed and the technology was developed. The samples which have mat rough surface with low porosity, containing 70 % of carbon fiber and have tensile strength 367 MPa were obtained by this method.

Key words: carbon-filled plastic, epoxy resin, heat treatment, mechanical press moulding, vacuum moulding, vacuum infusion, tensile strength.

Поступила 12.04.2016