

УДК 620.22:678

Манько Т. А.<sup>1</sup>, Гусарова И. А.<sup>2</sup>, Роменская О. П.<sup>2</sup>, Самусенко А. А.<sup>2</sup>, Шилина Е. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара. Украина, г. Днепр

<sup>2</sup> Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля». Украина, г. Днепр

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНО-КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ НАМОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА

*В работе с целью интенсификации процесса и обеспечения стабильности физико-механических характеристик рассмотрен метод получения полимерных композиционных материалов с применением инфракрасного (ИК) нагрева.*

*Представлена технология изготовления намоточных изделий из углепластика использованием конвективного и ИК нагрева. Определены механические характеристики композитов, изготовленных по предложенной и традиционной технологиям.*

*Показана эффективность изготовления конструкций методом намотки с применением ИК нагрева.*

Ключевые слова: инфракрасный, полимерный композиционный материал; углепластик, намотка; физико-механические характеристик; испытания образцов.

Удельный вес полимерно-композиционных материалов (ПКМ) в авиа- и ракетостроении составляет около 70%. Это, корпуса ракетных двигателей, элементы сопловых блоков, теплозащита, головные части. Основными преимуществами ПКМ, способствующими их широкому использованию, является высокая прочность при малом удельном весе, высокая химическая стойкость, возможность управления механическими, физико-механическими, тепловыми и электрическими характеристиками за счет рациональной схемы армирования.

Наиболее перспективным материалом в аэрокосмической технике являются полимерные композиции на основе угольных наполнителей.

В настоящее время основным сырьем для получения углеродных волокон являются целлюлозные, полиакрилонитрильные волокна (так называемые

прекурсоры), получение которых является дорогостоящим, трудоемким и технологически сложным процессом. Специалистами ГП «Конструкторское бюро «Южное» совместно с партнёрами в рамках проекта «NEWSPEC» (Седьмая Европейская рамочная программа) участвуют в создании новых экономически эффективных прекурсоров для углеродного волокна, а также в разработке методов создания углепластика с требуемым уровнем прочностных свойств на основе дешевых низкомолекулярных углеродных волокон.

### Изготовление изделий методом намотки

В работе формование изделий из углепластиков проводили методом «мокрой» намотки, т.к. он позволяет создавать ориентированную структуру наполнителя в изделиях с учетом их формы и осо-

бенностей эксплуатации, что обеспечивает максимальную прочность.

Поскольку технологический процесс получения изделий из углепластика является длительным из-за продолжительного времени термоотверждения композита в «КБ «Южное» с целью интенсификации процесса отверждения и обеспечения стабильных механических характеристик разрабатывается технология использования установок с инфракрасным (ИК) нагревом.

Инфракрасный нагрев предполагается применять при намотке конструкции из углеродного волокна. При этом учитываются такие факторы как температура связующего, смачиваемость волокон, натяжение наполнителя при намотке, а также конструктивные особенности пропиточно-натяжного тракта намоточного станка.

Процесс получения препрега включает пропитку волокнистого наполнителя жидким связующим, подогрев связующего непосредственно в пропитывающей ванне до 40°C для снижения вязкости, улучшения смачиваемости волокон. После выхода из ванны наблюдается некоторое остывание препрега, что при намотке может нарушить его плотную укладку и это одна из причин снижения прочности готового пластика.

Использование ИК нагрева во время намотки позволяет обеспечивать более плотную намотку, поскольку каждый последующий слой ложится как бы на полуотвержденный предыдущий. Это позволяет повысить прочность материала.

В работе использовалось эпоксидное трёхкомпонентное связующее производства компании Huntsman (Германия). Зависимость вязкости связующего Huntsman от температуры приведено на рис. 1.

Как видно из рисунка, связующее обладает самой низкой вязкостью (лучшими пропитывающими свойствами и смачиваемостью) в диапазоне температур 60–80°C.

Для обеспечения постоянной температуры связующего при намотке подогрев производится

в установленном диапазоне температур с помощью ИК нагревателя.

Традиционный метод намотки изделий из углеродного волокна состоит из следующих основных операций:

- Подготовка исходных материалов: выбор типа углеродных армирующих материалов (нитей, жгутов) и установка их на шпулярник; выбор связующего с отвердителем и другими компонентами полимерной матрицы и заполнение ими пропиточной ванны.

- Подготовка оправки: установка ее на намоточный станок, очистка поверхности оправки от загрязнений, пыли, частиц полимера, оставшихся от намотки предыдущего изделия, и покрытие оправки составом на основе фторполимеров или кремнийсодержащих соединений для улучшения последующего отделения изделия.

- Намотка: в зависимости от заданной схемы армирования подбирается соотношение скорости вращения оправки и скорости перемещения траверсы, несущей шпулярник с нитями или жгутами; скорость намотки (движения нитей) обычно составляет 10–30 м/мин.

- Отверждение: осуществляется в термокамере при соответствующей температуре (в случае эпоксидных смол при 120°C); время отверждения обычно составляет 8–10 ч; в процессе отверждения желательно продолжать вращение оправки;

- Извлечение оправки из изделия.
- Окончательная отделка изделия: зачистка и обработка его торцов и т.д.

С целью интенсификации процесса в работе намотку препрега с использованием **ИК нагрева** проводили по следующей схеме:

- Равномерный нагрев оправки при помощи ИК нагревателя до температуры 40±5°C. При этом в процессе намотки температура композита составляла 40±5°C.

- Намотку проводили следующим образом: 15 слоев наполнителя на ширину ~ 30 мм и толщину 3–4 мм.

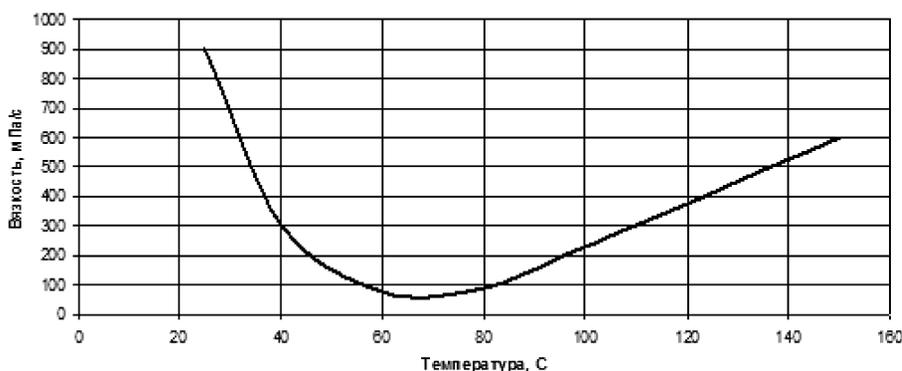


Рис. 1. График зависимости вязкости связующего Huntsman от температуры

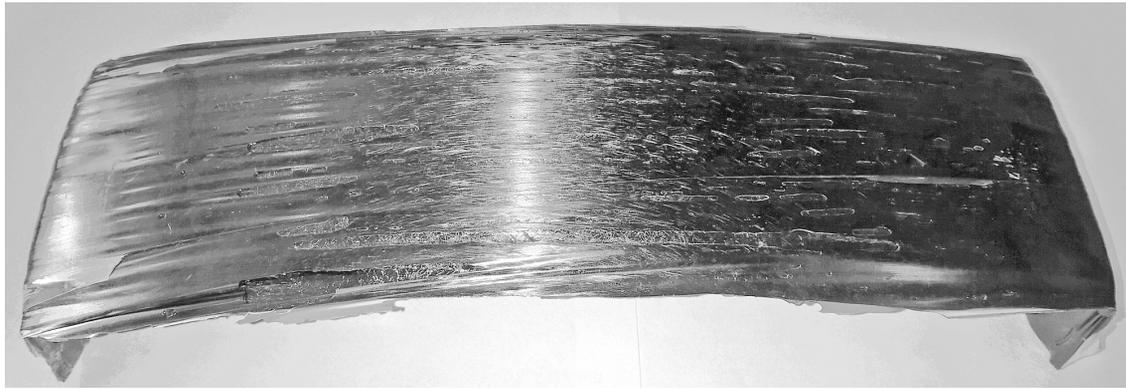


Рис. 2. Углепластик, изготовленный методом намотки с применением ИК нагрева

- Регулирование температуры в зоне намотки осуществлялось изменением расстояния источника ИК нагрева до поверхности оправки.

- После завершения намотки изделие выдерживалось под источником ИК нагрева при температуре  $80^{\circ}\text{C}$  – 30 минут; при температуре  $120^{\circ}\text{C}$  – 30 минут;

- Затем оправка помещалась в электрическую печь для проведения режима доотверждения и снятия внутренних напряжений.

Режим полимеризации изделий с применением ИК нагрева следующий:

- выдержка  $4^{+0,25}$  часа при температуре  $120^{\pm 5^{\circ}\text{C}}$ ;
- давление 3 атм.;
- охлаждение под вакуумом с закрытой дверью до  $60^{\circ}\text{C}$ .

- Контроль температурных полей в зоне намотки осуществлялся при помощи тепловизора. Измерения дублированы термопарами.

Для сравнения отверждение углепластиков проводили конвективным нагревом по следующему режиму:

- выдержка  $4^{+0,25}$  часа при температуре  $80^{\pm 5^{\circ}\text{C}}$ ;
- выдержка  $4^{+0,25}$  часа при температуре  $120^{\pm 5^{\circ}\text{C}}$ ;
- давление 3 атм.;
- охлаждение под вакуумом с закрытой дверью до  $60^{\circ}\text{C}$ .

#### Результаты испытаний изготовленных углепластиков

В работе оценивали механические характеристики углепластика, определяли разрушающие напряжения при изгибе и межслоевом сдвиге. Измерения величин разрушающих нагрузок производили по датчику силоизмерителя модернизированной испытательной машины TriA Test-2300. Изготовленные предварительно образцы при этом помещали в специализированную оснастку, как показано на рисунке 2. Характеристики определяли в соответствии с ОСТ 92-1462-76 – Пластмассы теплозащитного и конструкционного назначения.



Рис. 3. Оснастка для испытания образцов на поперечный изгиб по трёхточечной схеме

Метод испытания на изгиб (по трёхточечной схеме) и ОСТ 92-1472-78 – Пластмассы теплозащитного и конструкционного назначения. Метод испытания на сдвиг.

Результаты испытаний на изгиб углепластика изготовленного методом намотки с применением

Таблица 1

Результаты испытаний углепластиков на изгиб

Образец	Образцы, изготовленные с применением ИК нагрева		Образцы, отвержденные конвективным нагревом	
	Нагрузка, Н	Разрушающее напряжение, МПа	Нагрузка, Н	Разрушающее напряжение, МПа
1	2308,78	1204,81	1572,82	899,03
2	2145,24	1323,32	1851,28	920,92
3	2247,17	989,39	1970,09	884,43
4	2079,45	1307,99	2052,36	1024,24
5	1673,25	1074,05	2062,21	1010,84
6	1978,50	1102,71	1358,96	721,71
Среднее	2072,07	1167,04	1811,29	910,20

ИК и конвективного нагревов представлены в таблице 1.

Результаты испытаний на сдвиг углепластика изготовленного методом намотки с применением ИК и конвективного нагревов представлены в таблице 2.

Образцы углепластика, прошедшие испытания представлены на рисунках 4, 5.

**Выводы**

Сравнительный анализ результатов испытаний образцов показал, что углепластики, изготовленные методом намотки и отвержденные ИК облучением,

имеют более высокую прочность как при изгибе, так и при сдвиге, в сравнении с углепластиковыми, отвержденными конвективным нагревом. При изгибе эта величина составляет 20%, при сдвиге – 14%.

Установлено, что наблюдается повышение физико-механических характеристик материала, что может быть связано с ускорением сшивки на макромолекулярном уровне. Кроме того, следует отметить определенную (в 2 раза) интенсификацию процесса отверждения.

Целесообразно проведение дальнейших исследований с целью оптимизации процесса изготовления конструкции с применением ИК нагрева.

Таблица 2

Результаты испытаний углепластика на сдвиг

Образец	Образцы, изготовленные с применением ИК нагрева		Образцы, отвержденные конвективным нагревом	
	Нагрузка, Н	Разрушающее напряжение, МПа	Нагрузка, Н	Разрушающее напряжение, МПа
1	2847,12	87,03	2200,57	54,71
2	2732,30	78,57	2512,08	66,03
3	2404,94	79,70	2320,76	64,09
4	2125,86	67,45	2745,21	66,33
5	2262,65	64,77	2404,11	64,32
6	2556,30	72,81	2680,13	73,34
Среднее	2488,20	75,06	2477,14	64,80

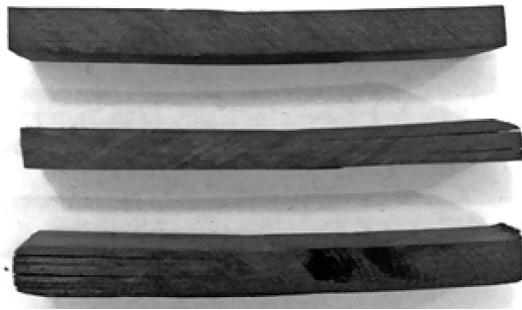


Рис. 4. Образец углепластика, изготовленный с применением ИК нагрева (после испытаний)

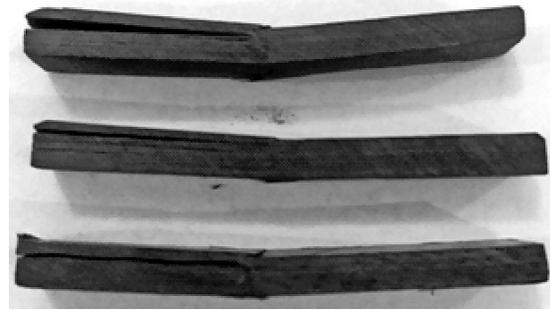


Рис. 5. Образец углепластика, отвержденный конвективным нагревом (после испытаний)

### Литература

- [1] Е. О. Джур, Л. Д. Кучма, Т. А. Манько. Полімерні композиційні матеріали в РКТ, К., Вища школа, 2003, 399 с.
- [2] И. И. Новиков. Металловедение, термообработка, М., Металлургия, 1994, 480 с.
- [3] Паспорт на материалы. Эпоксидное трёхкомпонентное связующее Araldite LY 1135-1 A/Aradur 917 CH/Accelerator 960 1, компании Huntsman (Германия).
- [4] Комков М. А., Тарасов В. А. Влияние вязкости связующего в пропиточной ванне на пористость композита при мокром способе намотки. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014, с. 192–199.
- [5] ОСТ 92-1462-76 – Пластмассы теплозащитного и конструкционного назначения. Метод испытания на изгиб (по трехточечной схеме).
- [6] ОСТ 92-1472-78 – Пластмассы теплозащитного и конструкционного назначения. Метод испытания на сдвиг по слою.

Manko T. A.<sup>1</sup>, Gysarova I. A.<sup>2</sup>, Romenskaya O. P.<sup>2</sup>, Samusenko A. A.<sup>2</sup>, Shilina E. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Oles Honchar Dnipro National University. Ukraine, Dnepropetrovsk

<sup>2</sup> Yuzhnoye, State-owned Design Office named after M. K. Yangel. Ukraine, Dnepropetrovsk

### MANUFACTURING OF STRUCTURES WITH POLIMERIC COMPOSITE MATERIALS BY THE METHOD OF WINDING WITH APPLICATION OF INFRA-RED HEATING

*In work for the intensification of process and maintenance of stable mechanical characteristics the method of reception of polymeric composite materials with application infra-red (IR) heating is considered.*

*The manufacturing techniques winding products from carbon plastic by using convection and IR heating are presented. Mechanical characteristics of the composites made on offered and traditional technologies are defined.*

*Efficiency of manufacturing of designs by a method of winding with application of IR heating is shown.*

*Keywords: infra-red (IR); polymeric composite material; carbon plastic; winding; mechanical characteristics; tests of samples.*

### References

- [1] E. O. Dzhur, L. D. Kuchma, T. A. Manko. Polymeric composite materials, K, 2003, 399.
- [2] I. I. Novikov. Metallurgical science, heat treatment, M, Metallurgija, 1994, 480.
- [3] The Passport on materials. Epoxy binding Araldite LY 1135-1 A/Aradur 917 CH/Accelerator 960-1, companies Huntsman (Germany).
- [4] Komkov M. A., Tarasov V. A. Influence of viscosity binding in to a bath on porosity of a composite at a wet way of winding. M: Publishing house of MGTU of AD Bauman, 2014, 192–199.
- [5] OST 92-1462-76 – Plastic of heat-shielding and constructional appointment. A test method on a bend (under the three-dot scheme).
- [6] OST 92-1472-78 – Plastic of heat-shielding and constructional appointment. A test method on shift on a layer.