УДК 678-465

Quality Control Parametrs of Manufacturing Composite Antenna Reflector

Olesya A. Kupriyanova,
Mariya V. Serzhantova* and Mariya N. Banschikova
*Siberian State Aerospace University
31 Krasnoyarskiy rabochiy, Krasnoyarsk, 660014, Russia*

Received 28.11.2014, received in revised form 12.01.2015, accepted 30.03.2015

The article describes a complex of means and methods of control to ensure the quality of manufacture of the product as an example of a parabolic antenna, made RTM-method and partial polymerization in conjunction with the power of the shell frame.

The data presented in the paper are based on the practical experience of the application of methods and tools when working with Russian companies, which operate successfully on the Russian and foreign markets: JSC "ISS", JSC "SPE "Wireless".

Keywords: control, parabolic reflector, polymer composite materials, resin transfer molding.

Параметры контроля качества производства композитных рефлекторов антенн

О.А. Куприянова,
М.В. Сержантова, М.Н. Банщикова
*Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. академика М.Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 31*

В статье приведено исследование параметров, позволяющих контролировать качество производства композитных параболических антенн, получаемых инжектированием компаунда и частичной полимеризацией при соединении оболочечной части с силовым каркасом. Описан комплекс мероприятий по обеспечению качества изделий из полимерных композиционных материалов, изготавливаемых с использованием технологии трансферного формования. Выделены основные требования к системе качества по производству рефлекторов этим методом.

Данные, приведенные в статье, основаны на практическом опыте применения методов и инструментов контроля качества при работе с российскими высокотехнологичными предприятиями: ОАО «ИСС», ОАО «НПП «Радиосвязь».

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: sunrise.86@mail.ru

Ключевые слова: контроль, параболический рефлектор, полимерные композиционные материалы (ПКМ), метод трансферного формования (RTM).

Введение

В настоящее время в аэрокосмической и оборонной промышленности широкое распространение получили полимерные композиционные материалы (ПКМ), состоящие из армирующих волокон (угле- и стеклоткань) и эпоксидных смол [1]. Это обусловлено тем, что ПКМ обладают такими свойствами, как коррозионная стойкость, высокая прочность и легкость, стабильность размеров, минимальное поглощение влаги и возможность изготовления изделий сложной формы.

Выбор технологии изготовления конкретного изделия определяется физико-механическими характеристиками и стоимостью конечного изделия. Существенным параметром, характеризующим технологию изготовления изделий из ПКМ, является возможность серийного выпуска изделий с гарантированным качеством.

Основными параметрами, влияющими на физико-механические характеристики ПКМ, служат модуль упругости волокнистого наполнителя, его объемное содержание и содержание пор в ламинате.

В зависимости от технологии формования значения свойств полимерных композитов могут отличаться в несколько раз. Выбор технологии зависит от конструкции изделия, условий его эксплуатации, объема изготовления и имеющихся производственных ресурсов.

Существует несколько технологий получения ПКМ, однако наибольшее распространение получили автоклавная и безавтоклавная технологии. Автоклавную технологию целесообразно применять при изготовлении большой серии крупных и сложных изделий из-за высоких эксплуатационных расходов и трудоемкости изготовления. Для мелкосерийного производства конкурентоспособных прецизионных изделий сложной формы рационально использовать безавтоклавную технологию. К безавтоклавной технологии относится пропитка армирующего наполнителя под давлением (трансферное формование, или Resin Transfer Molding – RTM).

Изготовление деталей с использованием RTM-технологии заключается в пропитке армирующего наполнителя, уложенного в оснастку закрытого типа, полимерным связующим с низкой вязкостью, подаваемым в форму под давлением [2-11]. При этом процессы пропитки наполнителя и формования детали совмещены в единый цикл. К преимуществам данного метода относятся: возможность изготовления деталей сложной формы, возможность использования различных наполнителей, точность геометрических размеров получаемых изделий, возможность организации крупносерийного производства деталей.

Поскольку ПКМ изучены менее подробно, чем металлы [12], их использование в изделиях с повышенными требованиями к надежности (например, в космической технике, антенных установках) сопряжено с риском. Неправильная организация техпроцесса, неудовлетворительная подготовка исходных компонентов, несоблюдение технологических режимов (давления прессования, продолжительности и температуры процесса, предписаний по подготовке сырья и материалов) и многие другие причины могут значительно изменять свойства готовых изделий. Поэтому очень важно не только грамотно, с учетом конструкции и условий эксплуата-

ции изделий, построить технологический процесс, но и при его реализации четко соблюдать технологические режимы. С этой целью необходимо на всех стадиях процесса осуществлять текущий контроль технологических параметров и свойств изготавливаемого изделия.

Обеспечение качества продукции стратегического назначения – многоуровневый процесс, который включает контроль и управление выявленными несоответствиями на каждом этапе производства. Поэтому данная работа посвящена определению и исследованию параметров необходимых и достаточных для контроля технологического процесса изготовления изделий из ПКМ и принятия решений по регулированию процесса производства на основе полученных данных.

Модели и методы

Контроль качества в производственной среде предполагает проверки и испытания композитов на всех этапах производства препрегов и части производства. Проводятся испытания волокна и смолы в виде отдельных материалов, а также композитного препрега материала [13].

Контроль операций технологического цикла производства изделий из ПКМ необходим для обеспечения высокого качества готовой продукции и оперативного изменения условий протекания процессов в случае отклонения параметров. Тесты, проводимые на каждом этапе, должны давать оценку критических свойств ПКМ и информацию о возможности дальнейшего изготовления и использования готового продукта.

Комплекс мероприятий по обеспечению качества изделий из ПКМ, изготавливаемых с использованием технологии трансферного формования (RTM), можно описать моделью, содержащей следующие параметры:

- входные параметры (параметры связующего, параметры армирующего материала, параметры пресс-формы);
- влияющие регулируемые параметры (параметры и показатели состояния технологического оборудования, энергии, технологические параметры (скорость обработки, температура и влажность, время и т.п.);
- влияющие нерегулируемые параметры (параметры, имеющие случайную природу или принимающие таковой характер ввиду отсутствия методов и средств, фиксирующих их изменение и влияние на технологический процесс);
- выходные параметры (параметры, которые определяют качественный состав продукции, получаемой в результате произведенного процесса, – функциональные параметры продукции и его эксплуатационные показатели или потребительские свойства [14]).

Результаты

Разработанный комплекс для контроля технологического процесса изготовления рефлекторов антенн из полимерных композиционных материалов методом RTM включает [15, 16] входной контроль, операционный контроль и приемочный контроль.

Входной контроль

Качество готового изделия из ПКМ зависит от качества сырья и материалов, поэтому при изготовлении изделий с повышенными требованиями к надежности, работающих в условиях

дестабилизирующих факторов космического пространства, обязателен входной контроль материалов на соответствие техническим данным и требованиям нормативной документации.

При производстве рефлекторов антенн из ПКМ входному контролю подвергаются: армирующие материалы, связующие материалы (включая исследование кинетики отверждения связующего материала), оснастка.

Контроль армирующего материала осуществляется по таким параметрам, как условия хранения, влажность, вязкость, целостность сетевого угла и проницаемость. Нарушение требований, предъявляемых к данным параметрам, влияет на качество готового изделия, а именно:

- при высоком содержании влаги в материалах возникают гигроскопические деформации, что недопустимо в готовом изделии;
- в результате нарушения целостности сетевого угла происходит коробление изделия, что исключает годность изделия;
- нарушение проницаемости армирующего материала влияет на степень пропитки изделия.

При контроле связующих материалов рассматриваются следующие показатели: условия и срок хранения, пропорция смешивания смоляной части и отвердителя, влажность, вязкость, время гелеобразования, температура и время экзотермического пика, температура стеклования.

Влияние вышеперечисленных параметров на качество изделия:

- в случае превышения допустимого значения вязкости велика вероятность плохой пропитки армирующего материала;
- обеспечение надежности связующего вещества за счет протекания всего процесса пропитки во время гелеобразования;
- возможный перегрев и коробление будущего изделия, а также неравномерная усадка вследствие нарушения времени экзотермического пика;
- на основании температуры стеклования возможно судить о температурных границах применимости изделия из ПКМ.

Для качественной пропитки волокнистой заготовки методом RTM большое значение имеет текучесть связующего вещества, определяющая скорость (кинетики) процесса. Существует ряд параметров, характеризующих качество связующего. К ним относятся: реакционная способность (времени гелеобразования), степень конверсии, степень поперечного сшивания.

Степень поперечного сшивания связующего вещества авторами статьи определялась на основе данных о температуре стеклования. Для этого образец отвержденного материала подвергали нагреву до предполагаемой температуры стеклования в динамическом механическом анализаторе и затем выдерживали в течение часа при изотермических условиях, при этом регистрировали данные об изменении динамического модуля упругости. После окончания выдержки температура испытаний увеличивали на 10 °С и образец снова выдерживали при изотермических условиях в течение часа. При неполном отверждении динамический модуль упругости в изотермических условиях возрастает. Нагревание образца продолжается до тех пор, пока модуль упругости при изотермических условиях прекратит возрастать. Температура выхода динамического модуля упругости на плато является температурой постотверждения.

Если полимерная матрица отверждена не полностью, возможно снижение теплостойкости материала, ухудшение таких эксплуатационных характеристик, как водо- и влагостойкость, снижение сопротивления материала к действию агрессивных сред, а также изменение характера разрушения материала при статическом и усталостном динамическом нагружении.

Для материала, получаемого формованием из связующего и армирующего, проводят измерение коэффициента теплового расширения – проверку на размеростабильность.

Таким образом, показано, что кинетика отверждения связующих может быть определена по таким параметрам, как время гелеобразования, минимальная вязкость связующего, температура стеклования с помощью диэлектрического анализатора DEA 288 Epsilon (Netzsch, Зельб, Германия), динамического механического анализатора DMA 242 E Artemis (Netzsch, Зельб, Германия) и вискозиметра Брукфильда (модель DV2T LV, США), без применения дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Входной контроль технологической оснастки включает проверку на соответствие требованиям конструкторской документации, в том числе геометрического размера и формы, расположения входного канала для инъекции и вентилирующих отверстий, герметичности оснастки, проверку смыкаемости, в том числе герметичность формы; контроль качества клеевых закладных элементов, контроль правильности установки и особенности проверки рабочего состояния ловителей для смолы, контроль чистоты оснастки; проверку на отсутствие механических повреждений.

Операционный контроль

Операционный контроль подразумевает контроль качества изделия после окончания каждой технологической операции. При производстве антенны основой обеспечения качества изделия является соблюдение параметров технологического процесса:

- контроль укладки армирующего материала (целостность сетевого угла, соблюдение правил выкладки). Результатом нарушения укладки армирующего материала служит коробление изделия;
- контроль сборки (смыкания) оснастки (герметичность формы). Нарушение герметичности формы приводит к уменьшению степени уплотнения слоев наполнителя;
- контроль пропитки изделия связующим. Несоблюдение параметров настройки дозирующе-смешивающей установки приводит к непропитанным участкам материала;
- контроль параметров при отверждении (температура, давление, скорость нагревания и охлаждения, время прессования, кинетика полимеризации (поликонденсации), когезионная прочность слоев армирующего материала).

Температура, время прессования, скорость нагрева определяют химическую сторону образования прочности полимерного связующего и практически зависят от конструкции детали. Излишняя выдержка изделия после завершения отверждения приводит к термодеструкции, образованию пористости, трещин, расслоений, снижению физико-механических характеристик (прочности, жесткости и др.). Изменение всех внешних факторов (температура, давление и др.) вызывает изменение кинетики процесса отверждения, скоростью которой определяет физико-механические свойства материала и изделия.

Приемочный контроль

Приемочный контроль – это основной инструмент организации в обеспечении качества готовой продукции. Данный этап обеспечения качества включает:

1. Контроль готовой детали и конструкции на соответствие требованиям технической документации, в том числе согласно ГОСТ Р 51989-2002, ГОСТ Р 51138-98; ГОСТ Р 51269-99; конструкторской документации, в том числе проверка шероховатости, геометрических размеров, отклонение геометрии поверхности от теоретического профиля (среднеквадратическое отклонение) с помощью неразрушающего лазерного метода контроля, измерение толщины изделия с помощью ультразвукового толщиномера, проверка качества поверхностного слоя с помощью неразрушающего оптического метода.
2. Контроль механических свойств и качества отвержденного изделия, в том числе размеростабильность и температурный диапазон устойчивости изделия, поверхностная масса рефлектора (отнесенная к диаметру апертуры), прочностные параметры и точность, гигроупругие деформации, температурные деформации в эксплуатационном диапазоне температур, стойкость к внешним воздействиям по ГОСТ РВ 20.39.304-98; ГОСТ РВ 20.39.304-98, ГОСТ РВ 20.57.305-98, ГОСТ РВ 20.57.306-98.

Заключение

В ходе работы были определены три типа контроля производства рефлекторов антенн из полимерных композиционных материалов методом трансферного формования (RTM): входной, операционный и приемочный.

В каждом типе контроля были выделены параметры, отвечающие за качество технологического процесса и, как следствие, за качество готового изделия. Наиболее критичными параметрами при производстве изделий из ПКМ являются: степень поперечного сшивания связующего, температура и скорость нагрева изделия, время прессования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, государственный контракт № 02.G25.31.0043.

Список литературы

- [1] *Bunsell A.R., Renard J.* Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials. Bristol, UK: Inst. of Phys. Publ. Ltd., 2005. P. 391.
- [2] *Lee, D.H., Lee W.I., Kang M.K.* // Composite science and technology. 2006. Vol. 66. P. 3281–3289.
- [3] *Park C.H., Lebel A., Saouab A.* // Composites Part A: Applied science and manufacturing. 2011. Vol. 42. P. 658–668.
- [4] *Khoun L., Maillard D., Bureau M.N.* // Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2006. Vol. 25. N 10. P. 1027–1037.
- [5] *Kendall K.N., Rudd C.D., Owen M.J.* // Composites Manufacturing. 1992. Vol. 3. N 4. P. 235–249.
- [6] *Kang M.K., Lee W.I.* // Polymer composites. 1999. Vol. 20. N 2. P. 293 – 304.

- [7] *Bhat P., Merotte J., Simacek P.* // Composites Part A: Applied science and manufacturing. 2009. Vol. 40. N 4. P.431 – 441.
- [8] *Chang C-Y.* // Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2012. Vol. 31. N 23. P. 1630–1637.
- [9] *Kang M.K., Lee W.I., Hahn H.T.* // Composites Part A: Applied science and manufacturing. 2001. Vol. 32. N 11. P. 1553–1560.
- [10] *Lim S.T., Lee W.I., Lim, S.T.* // Composite science and technology. 2000. Vol.60. N 7. P. 961–975.
- [11] *Hattabi M., Echaabi J., Bensalah M.O.* // Korea – Australia Rheology journal. 2008. Vol. 20. N 1. P. 7–14.
- [12] *Метьюз Ф., Ролингс Р.* Композиционные материалы, механика и технология: пер. с англ. С.И. Баженова. М.: Техносфера, 2004. 224 с.
- [13] Compositr materials handbook, volume 3. Polymer matrix composites materials usage, disigne, and analysis. USA: Department of defense, 2002. P. 693.
- [14] ГОСТ Р 50-601-20-91. Рекомендации по оценке точности и стабильности технологических процессов (оборудования). – Введ. 1991-11-29. М.: Изд-во стандартов, 1991.
- [15] *Лопатин А.В., Пасечник К.А., Власов А.Ю. и др.* // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2013. № 3. С. 73–78.
- [16] *Власов А.Ю., Филенкова Н.В., Кравчук Д.В.* // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2013. № 3. С. 166–168.