

ПРАКТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОПИТКОЙ В ОСНАСТКЕ

Введение

Среди наиболее важных требований, предъявляемых к конструкциям современных летательных аппаратов (ЛА), можно назвать: минимальную массу при соответствии техническим требованиям статической и динамической прочности, высокую надежность, низкие затраты на изготовление. В значительной мере перечисленные требования к конструкции обеспечиваются выбором материала и совершенством технологии изготовления конструкции из данного материала. В еще большей степени это относится к конструкциям ЛА из полимерных композиционных материалов (ПКМ).

В настоящее время известно множество технологических процессов переработки полимерных композиционных материалов (ПКМ) в изделия различных размеров, конфигурации и целевого назначения. Каждый технологический процесс имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Кроме того, каждый процесс обусловлен предельными технологическими возможностями формообразования изделий, параметрами процесса (давление, температура, скорость формования и т.п.), геометрии, формы, степенью автоматизации и реализации исходной прочности компонентов и т.д. [1].

Среди всего множества методов в последнее время возросло использование методов изготовления деталей из ПКМ пропиткой армирующего наполнителя связующим в оснастке. В связи с этим авторы провели поиск и анализ этих методов и дали их описание в своих предыдущих статьях [2, 3]. В данной статье предложена классификация ранее описанных методов (рисунок).

Классификация методов изготовления деталей из ПКМ пропиткой армирующего наполнителя связующим в оснастке

1. Во время изготовления деталей из ПКМ пропиткой армирующего наполнителя в оснастке на связующее действует сила гидравлического (гидродинамического) сопротивления, препятствующая движению связующего и увеличивающая время пропитки. Гидравлическое сопротивление направлено в сторону, противоположную движению.

Существует несколько способов преодоления гидравлического сопротивления движению связующего при пропитке.

- 1.1. Использование внешнего избыточного давления, прикладываемого к связующему (RTM) [4].
- 1.2. Использование внешнего давления, прикладываемого к связующему, и вакуума в оснастке (Light RTM, ZIP RTM) [5, 6].
- 1.3. Использование вакуума в полости оснастки (все варианты VARTM) [7].
- 1.4. Использование объемных сил – центробежных (Centrifugal RTM), гравитационных [8].

2. Для пропитки армирующего наполнителя связующим в большинстве методов требуется использовать давление или вакуум. Объектами приложения давления или вакуума может быть:

- 2.1. Связующее (RTM, VARTM) [4,7].
- 2.2. Наполнитель (RFI) [9].
- 2.3. Комбинированный способ (SLI) [10].

3. Высокое гидравлическое сопротивление, оказываемое плотно уложенным сухим наполнителем, ограничивает изготовление конструкций большого размера, особенно для высоковязких связующих или связующих с ограниченной жизнеспособностью. В производстве используется множество способов ускорения пропитки.

3.1. Увеличение давления пропитки (HP RTM, HS RTM) [11, 12].

3.2. Снижение вязкости связующего:

3.2.1. Нагреванием – обычно нагревание жидкого связующего сопровождается снижением ее вязкости вплоть до момента конкурирующего роста вязкости в связи с образованием полимерной сетки (HT RTM, VERITY) [13, 14]. Для обеспечения низкой вязкости нагреванию должны подвергаться не только само связующее, но и оснастка, подводящие каналы, оборудование для приготовления связующего.

3.2.2. Применение реакционных и нерекционных разбавителей низкой вязкости (SA-RTM) [15]. Большинство применяемых реакционных разбавителей снижают теплопрочностные свойства отвержденного изделия. Нерекционные разбавители требуют решения вопроса образования пористой низкопрочной матрицы.

3.2.3. Применение вибрационного воздействия на связующее и наполнитель при пропитке, приводящее к снижению вязкости высоковязких связующих неньютоновской реологии.

3.3. Снижение гидравлического сопротивления.

3.3.1. Применение транспортных каналов (pervious conduit):

3.3.1.1. Одномерных внешних каналов на оснастке (HyPerVARTM) [16], спиральных и пористых трубок (OmegaFlow фирмы Airtech, VIP OMEGA CHANNEL фирмы

Richmond) [17, 18], подачи связующего на нерабочую поверхность детали).

3.3.1.2. Одномерных, интегрированных в деталь бороздок на поверхности пенопластового заполнителя, внутренних деталей-трубопроводов, каналов на оснастке (VIMP) [19].

3.3.1.3. Двухмерных внешних – сеток, тканей, нетканых материалов (Airtech, Richmond, DelStar Technologies) [17, 18, 20].

3.3.1.4. Двухмерных, интегрированных в деталь пористых заполнителей и нетканых листов повышенной проницаемости (EnkaFusion фирмы Colbond Inc., Lantor Soric® фирмы Lantor Soric, Polybeam® и HIFLUXФ90™ фирмы Polynova Composites) [21, 22, 23].

3.3.2. Образование временных транспортных каналов на оснастке:

3.3.2.1. Механическим манипулированием оснасткой (ZPM, RTCM, CARTM) [24-26].

3.3.2.2. Снижением давления над вакуумным мешком, способствующим его раздуванию фронтом связующего (CARTM, FASTRAC, FFC, VIPR) [26-29].

3.4. Уменьшение длины пропитки.

3.4.1. Пропитка сквозь толщину пакета наполнителя (RFI, RLI, SC RTM) [9, 30, 31].

3.4.2. Последовательный многоточечный впрыск (DRIV, SMRIM) [32, 33] или последовательная подача через параллельно уложенные каналы (технология фирмы Airtech).

4. Использование различных схем расположения точек вакуумирования и подачи связующего. Схемы пропитки выбираются исходя из размеров и формы детали, реологических параметров связующего, метода изготовления, номенклатуры вспомогательных материалов:

4.1 Центростремительная — движение связующего от наружного контура детали к центру. Схема позволяет ускорить пропитку в связи с благоприятным градиентом давления. Для деталей вытянутой формы вместо точки вакуумирования и отвода связующего следует применять трубку, сокращая расстояние движения связующего. Отличается повышенным расходом связующего в системе подвода. Не реализуется в случае деталей большого размера.

4.2 Центробежная — движение связующего от точки подачи в центре детали к наружному контуру. Наиболее низкая скорость пропитки пакета в такой схеме имеет ряд преимуществ по простоте организации подачи связующего, его минимальному расходу. Для деталей вытянутой формы вместо точки подачи связующего следует применять трубку, сокращая расстояние

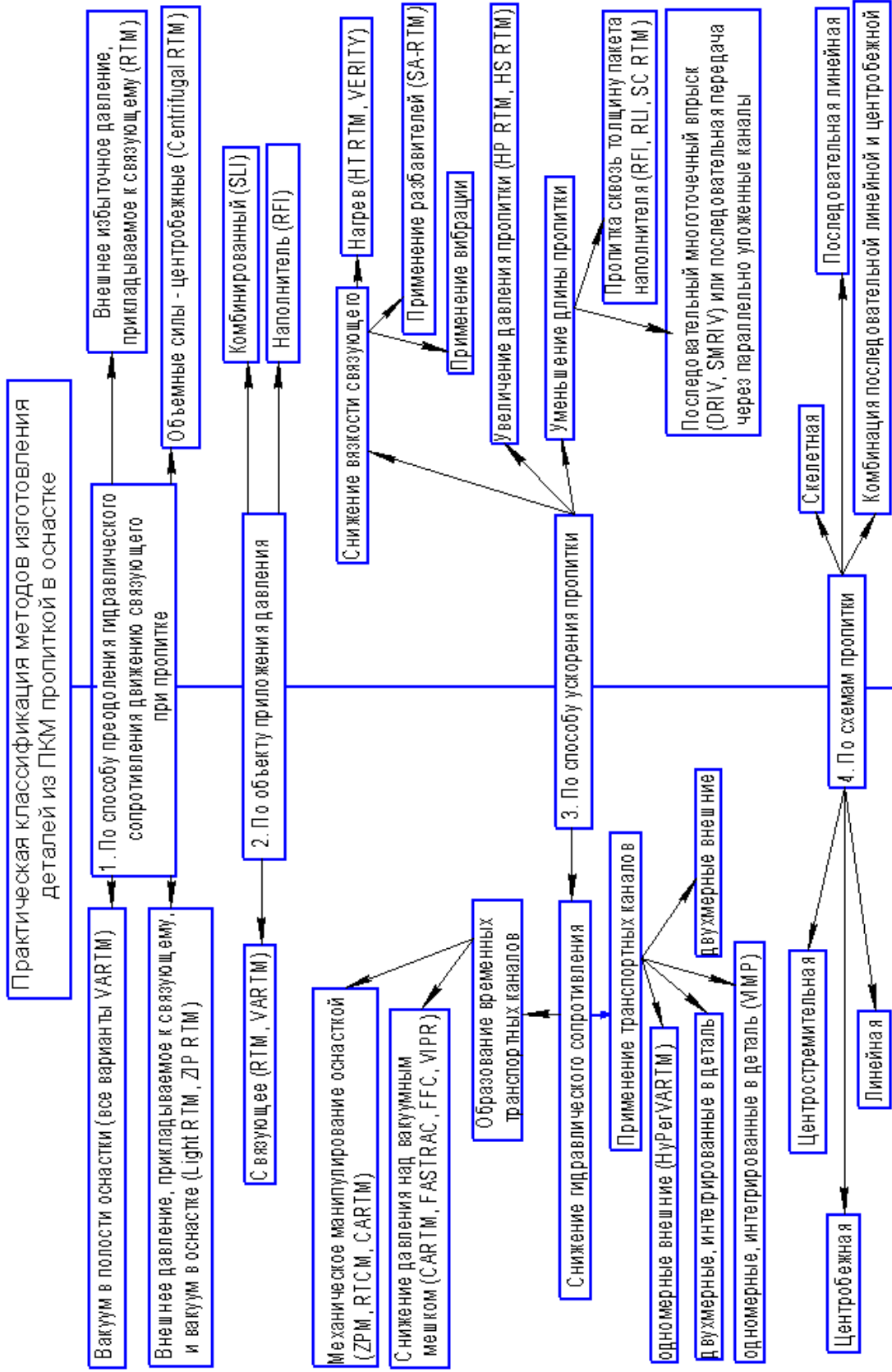


Схема практической классификации методов изготовления деталей из ПКМ способом пропитки армирующего наполнителя связующим в оснастке

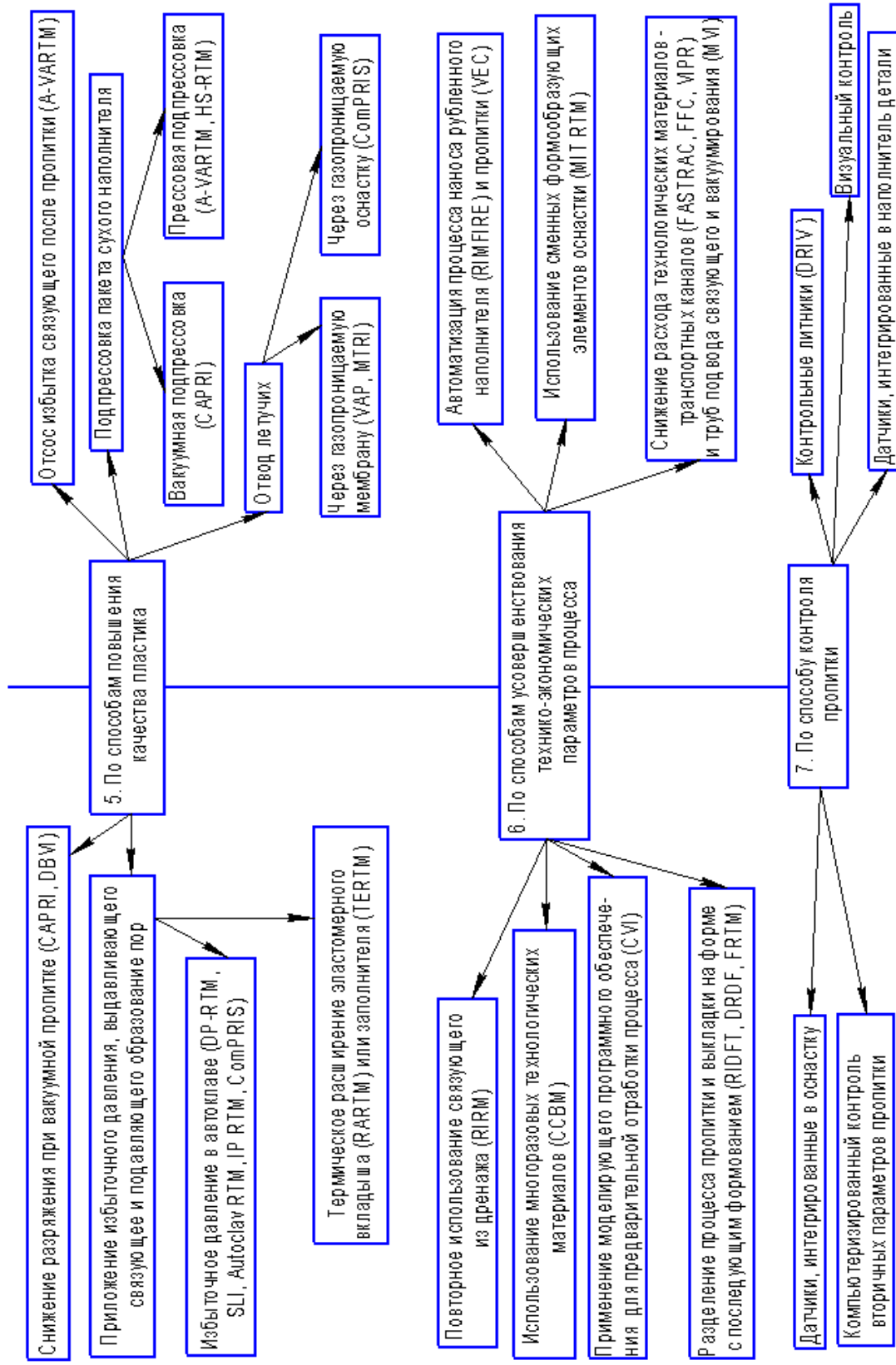


Схема практической классификации методов изготовления деталей из ПКМ способом пропитки армирующего наполнителя связующим в оснастке (окончание)

движения связующего. Не подходит для деталей большого размера.

- 4.3. Линейная — параллельное движение фронта связующего от линейного источника подачи связующего, находящегося на одном из краев детали, к противоположному краю. Применяется в основном для деталей с формой, близкой к прямоугольной.
- 4.4. Скелетная — трубки подачи связующего расположены так, что на оснастке от одного или нескольких продольных каналов отходят множество поперечных каналов таким образом, что продольные каналы преимущественно играют роль подводящих связующее к поперечным. Фронт связующего представляет собой множество парабол, ветви которых лежат на поперечных каналах, а вершины обращены к продольному.
- 4.5. Последовательная линейная. При такой схеме подачи связующее подается в одну трубку на границе изделия и движется по направлению к трубке, уложенной на некотором расстоянии от нее в сторону противоположного края. По достижению этой трубки фронтом связующего подача через первую трубку прекращается, и включается подача через указанную вторую трубку, и процесс повторяется до полного достижения фронтом противоположного края изделия. Разделение линейной схемы на отдельные участки существенно сокращает время пропитки, так как скорость фронта связующего пропорциональна кратчайшей длине от трубки подачи до фронта. Схема применяется для крупногабаритных изделий. Для ускорения пропитки применяется схема с движением связующего от центральной трубки подачи к двум противоположным границам.
- 4.6. Комбинация последовательной линейной и центробежной. Характеризуется контурным вакуумированием и параллельным расположением трубок последовательной подачи. Применяется для пропитки изделий большого габарита.
5. Процесс вакуумной пропитки изделия из ПКМ характеризуется неоднородным содержанием наполнителя по поверхности детали в связи с неоднородным распределением давления в мешке: в зоне подачи связующего давление почти соответствует атмосферному, а в зоне перед фронтом связующего — разряжению. Это приводит к «вспуханию» пакета наполнителя в зоне подачи связующего по сравнению с зоной вакуумирования, снижению относительной доли наполнителя. При вакуумной пропитке возможно образование пористости в связи со следующими особенностями: неабсолютная герметичность оснастки и подсос воздуха; схлопывание фронтов течения связующего; образование застойных зон фронтом связующего в углах и зонах загрязненного наполнителя; выделение (вскипание) низколетучих фракций связующего при низком

давлении (неактивных растворителей, воды и алифатических аминных отвердителей, нетоварных фракций связующего — эпихлоргидрина, хлора, стирола). При отверждении порообразование может усугубляться разогревом связующего, механизмами реакции отверждения с выделением низкомолекулярных фракций (поликонденсация, в том числе как побочный процесс при основной реакции полиприсоединения или полимеризации). Как известно, пористость матрицы крайне негативно влияет на прочностные свойства ПКМ, водопоглощение. Для повышения монолитности и качества формовки в процессах изготовления деталей пропиткой наполнителя в оснастке применяются следующие методы:

5.1. Приложение избыточного давления, выдавливающего избыток связующего и подавляющего образование пор (схлопывание газовых пузырей при избыточном давлении).

5.1.1. Избыточное давление в автоклаве (DP-RTM, SLI, Autoclave RTM, IP RTM, ComPRIS) для предотвращения изменения толщины детали [34, 10, 35-37].

5.1.2. Термическое расширение эластомерного вкладыша (RARTM) [38] или наполнителя (TERTM) для удаления избытка связующего [39].

5.2. Отсос избытка связующего после пропитки (A-VARTM) [40].

5.3. Снижение разряжения при вакуумной пропитке (CAPRI, DBVI) для повышения относительной объемной доли наполнителя [41, 42].

5.4. Подпрессовка пакета сухого наполнителя.

5.4.1. Прессовая подпрессовка (A-VARTM, HS-RTM) [40, 12].

5.4.2. Вакуумная подпрессовка (CAPRI) [41].

5.5. Отвод летучих:

5.5.1. Через газопроницаемую мембрану, непроницаемую для связующего (VAP, MTRI) [43, 44].

5.5.2. Через газопроницаемую формообразующую оснастку или вкладыши (ComPRIS) [37].

6. Одними из основных тенденций развития техники являются снижение технологических издержек при производстве, применение механизированных и автоматизированных процессов производства. Для методов пропитки наполнителя в оснастке предложены следующие методы повышения технологических и экономических показателей:

6.1. Автоматизация процесса нанесения рубленого наполнителя (RIMFIRE) [45] и пропитки (VEC) [46].

6.2. Использование сменных формообразующих элементов оснастки (MIT RTM) [47].

6.3. Повторное использование связующего из дренажа (RIRM) [48].

- 6.4. Использование многоразовых технологических материалов (CCBM) [49].
- 6.5. Применение моделирующего программного обеспечения для предварительной отработки процесса (CVI) [50].
- 6.6. Разделение процесса пропитки и выкладки на форме с последующим формованием (RIDFT, DRDF, FRTM) [51-52].
- 6.7. Снижение расхода технологических материалов — транспортных каналов (FASTRAC, FFC, VIPR) [27-29] и трубок подвода связующего и вакуумирования (MVI) [53].
7. Необходимым условием получения бездефектного изделия является качественная пропитка сухого наполнителя, показателями которой являются однородность и сплошность. Применяют следующие методы контроля качества пропитки наполнителя:
 - 7.1. Визуальный контроль – использование прозрачных элементов оснастки или оболочек вакуумного мешка (пленки, силиконовые мембраны, окна на оснастке, оснастка из прозрачных или полупрозрачных материалов (стеклопластики, термопласты типа поликарбоната или полиметилметакрилата).
 - 7.2. Контрольные литники (DRIV™ фирмы North Coast Tool and Mold Corp.) [32].
 - 7.3. Датчики, вмонтированные в оснастку (датчики давления PVSensor фирмы Plastech) [54].
 - 7.4. Датчики, вмонтированные в наполнитель детали.
 - 7.5. Компьютеризированный контроль параметров пропитки – давления, вакуума, температуры, расхода связующего (VEC) [46].

Выводы

1. Предложена практическая классификация методов изготовления деталей из ПКМ методом пропитки наполнителя в оснастке.

2. Практическая классификация дает представление о направлениях развития методов изготовления деталей из ПКМ пропиткой наполнителя в оснастке, способах устранения существующих недостатков, повышения качества продукции и снижения технологических затрат на изготовление, а также позволяет прогнозировать возникновение проблемных моментов при отработке указанных методов создания деталей из ПКМ и выявить способы их решения.

3. Структурированная практическая классификация ориентирована на прогнозирование и создание новых способов изготовления деталей из ПКМ методом пропитки наполнителя в оснастке.

Список использованной литературы

1. Буланов, И.М. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов [Текст]: учеб. для вузов / И.М. Буланов, В.В. Воробей; – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.
2. Джоган, О.М. Методы изготовления деталей из композиционных материалов пропиткой в оснастке. Часть 1. Методы пропитки под давлением [Текст] / О.М. Джоган, О.П. Костенко // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (68). – Х., 2011. – С. 111 – 125.
3. Джоган, О.М. Методы изготовления деталей из композиционных материалов пропиткой в оснастке. Часть 2. Методы вакуумной пропитки [Текст] / О.М. Джоган, О.П. Костенко // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 1 (69). – Х., 2012. – С. 80 – 92.
4. Patent № 5,306,448 (US), Int. Cl.⁵ B29C 43/10. Method for resin transfer molding process [Text] / Robert V. Kromrey; United Technologies Corp. – Appl. No.: 138,776; Filed: Dec. 28, 1987; Date of Patent: Apr. 26, 1994.
5. Black, S. New approaches to cost-effective tooling [Text] / Sara Black // High Performance Composites. – July, 2003. – P. 34 - 38.
6. Patent № 6,558,590 B1 (US), Int. Cl.⁷. B29C 43/20. Method and machine for manufacturing molded structures using zoned pressure molding [Text] / David H. Steward. – Appl. No.: 09/936,874; Filed: Mar. 17, 2000; Date of Patent: May 6, 2003.
7. Composite materials handbook [Text] // in 5 volumes. US Army Research Laboratory Weapons & Materials Research Directorate. - Ford Belvoir, 2002. - Volume 3: Polymer matrix composites materials usage, design, and analysis. – 693 p.
8. Patent № 5,393,215 (US), Int. Cl.⁶ B29C 45/02. Centrifugal resin transfer molding [Text] / Thomas P. Donovan; United Technologies Corp. – Appl. No.: 998,095; Filed: Dec. 30, 1992; Date of Patent: Feb. 28, 1995.
9. Patent № 4,622,091 (US), Int. Cl.⁴ B32B 31/20. Resin film infusion process and apparatus [Text] / Leslie E. Letterman; The Boeing Comp. – Appl. No.: 676,427; Filed: Nov. 29, 1984; Date of Patent: Nov. 11, 1986.
10. Herrmann A.S. SLI-RTM Fairings for Fairchild Dornier Do 328 Jet [Text] / A.S. Herrmann// 22nd SAMPE Europe International Conference, Paris.
11. www.speautomotive.com/SPEA_CD/SPEA2010/pdf/ET/ET5.pdf [Электронный ресурс].
12. Characterization and failure analysis of plastics [Text]: collection of articles from ASM International handbook. - ASM International, 2003. – 482 p.

13. Patent № 2009/0189320 A1 (US), Int. Cl. B29C 43/02. Heat vacuum assisted resin transfer molding process for manufacturing composite materials [Text] / Ronnie L. Bolick, Ajit D. Kelkar; North Carolina Agricultural and Nechnical State University. – Appl. No.: 12/361,224; Filed: Jan. 28, 2009; Date of Patent: Jul. 30, 2009.

14. Srinava, V. Non-destructive evaluation of co-cured wing for SARAS [Text] / V. Srinava & ors // Proceeding of the International Conference on Aerospace and Technology, Bangalore, India, 2008.

15. Patent № 6,784,276 B1 (US), Int. Cl.⁷ C08G 73/10. High-solids polyimide precursor solutions [Text] / Chun-Hua Chuang; The United States of America as represented by the United States National Aeronautics and Space Administration. – Appl. No.: 10/202,643; Filed: Jul. 25, 2002; Date of Patent: Aug. 31, 2004.

16. Patent № 6,964,562 B2 (US), Int. Cl.⁷ B29C 70/48. High-performance infusion system for VARTM fabrication [Text] / Michael Louderback, Daniel Brennan, Raymond Cabales; V System Composites, Inc . – Appl. No.: 10/420,398; Filed: Apr. 22, 2003; Date of Patent: Nov. 15, 2005.

17. www.airtechline.com [Электронный ресурс].

18. www.richmondaircraft.com [Электронный ресурс].

19. Hammami. Analysis of the Vacuum Infusion Molding Process [Text] / Hammami, B.R. Gebart // Polymer Composites, Vol. 21, No.1, P. 28 - 40.

20. www.delstarinc.com [Электронный ресурс].

21. www.colbond-usa.com [Электронный ресурс].

22. www.lantor.nl [Электронный ресурс].

23. www.polynovacomposites.com [Электронный ресурс].

24. Patent № 6,558,590 B1 (US), Int. Cl.⁷ B29C 43/20. Method and machine for manufacturing molded structures using zoned pressure molding [Text] / David H. Steward. – Appl. No.: 09/936,874; Filed: Mar. 17, 2000; Date of Patent: May 6, 2003.

25. Bhat, P. Process analysis of compression resin transfer molding [Text] / P. Bhat, J. Merotte, P. Simacek, S.G. // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 40, Issue 4, April 2009, P. 431 - 441.

26. Patent № 6,919,039 B2 (US), Int. Cl.⁷ B29C 43/12. Channel assisted resin transfer molding [Text] / Eric J. Lang, Richard W. Rydin. – Appl. No.: 10/161,442; Filed: Jun. 3, 2002; Date of Patent: Jul. 19, 2005.

27. Walsh, S.M. Achieving low cost composite processes through intelligent design and control [Text] / Shawn M. Walsh, Bruse K. Fink // U.S. Army Research Laboratory, SM1.- P. 1 - 12.

28. Patent № 2007/040797 A2 (WO), Int. Cl. B29C 70/00. Vacuum assisted resin transfer molding techniques with flow flooding chamber [Text] / N. Vernin & ors; University of Delaware – Filing Date: 01.08.2006; Publ. Date: 12.04.2007.

29. Patent № 2010/0072677 A1 (US), Int. Cl. B29C 45/16. Apparatus and method for perform relaxation and flow control in liquid composite

molding processes [Text] / Justin B. Alms, James L. Glancey, Suresh G. Advani; University of Delaware – Appl. No.: 12/541,004; Filed: Aug. 13, 2009; Date of Patent: Mar. 25, 2010.

30. Schwartz, M. H. Innovations in materials manufacturing, fabrication, and environmental safety [Text] / Mel H. Schwartz. – CRC Presse, 2010. – 814 p.

31. Yamasaki, M. Alstec program: characterization of a Short Cycle RTM for mass production [Text] / M. Yamasaki I. Taketa & ors. // 16th International Conference on Composite Materials. – Kyoto, Japan, 2007.

32. Gardiner, G. RTM showcase: One-Piece Rudder [Text] / Ginger Gardiner // High Performance Composites. – January, 2010. – P. 34 - 38.

33. Shark, P. Molding a one-pieces chassis for electric car [Text] / Paul Shark // Mechanical Engineering. – September, 1999. – P. 50 – 53.

34. Winkler, P.-J. Materials for transportation technology [Text] / P.-J. Winkler – WILEY-VCH, EUROMAT-volume 1, 2000. – 372 p.

35. Patent № 5,441,692 (US), Int. Cl.⁶ B29C 70/48. Process and apparatus for autoclave resin transfer molding [Text] / Todd Taricco; Thermal Equipment Corp. – Appl. No.: 196,409; Filed: Feb. 14, 1994; Date of Patent: Aug. 15, 1995.

36. Patent № 5,863,452 (US), Int. Cl.⁶ B22D 19/00. Isostatic pressure resin transfer molding [Text] / Robert L. Harshberger, Keith A. Olsen & ors; Northrop Grumman Corp. – Appl. No.: 837,402; Filed: Apr. 17, 1997; Date of Patent: Jan. 26, 1999.

37. Patent № 7,300,894 B2 (US), Int. Cl. B32B 5/26. Composite pressure resin infusion system (ComPRIS) [Text] / Barry S. Goodell, Roberto A. Lopez-Anido, Benjamin Herzog; University of Maine. – Appl. No.: 10/732,584; Filed: Dec. 9, 2003; Date of Patent: Nov. 27, 2007.

38 ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa./19950021847.

39. Patent № 5,061,418 (US), Int. Cl.⁵ B29C 67/00. Thermal expansion resin transfer molding [Text] / Maximilian Ware; Tertm, Inc. – Appl. No.: 436,776; Filed: Nov. 15, 1989; Date of Patent: Oct. 29, 1991.

40. Patent № 7,0785,525 B2 (US), Int. Cl. B29B 13/08. RTM molding method [Text] / Noriya Hayashi, Hiroshi Mizuno, Koichi Hasegawa, Kazuo Ota ; Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. – Appl. No.: 11/989,133; Filed: Jul. 27, 2006; Date of Patent: Aug. 31, 2010.

41. Patent № 7,334,782 B2 (US), Int. Cl. B29C 45/14. Controlled atmospheric pressure resin infusion process [Text] /Jack A. Woods, Andrew E. Modin & ors; The Boeing Comp. – Appl. No.: 10/485,725; Filed: May. 28, 2003; Date of Patent: Feb. 26, 2008.

42. Patent № 7,413,694 B2 (US), Int. Cl. B29C 45/02. Double bag vacuum infusion process [Text] / John C. Waldrop, Bruce Harshman & ors; The Boeing Comp. – Appl. No.: 09/731,945; Filed: Dec. 7, 2000; Date of Patent: Aug. 19, 2008.

43. Patent № 01/68353 A1 (WO), Int. Cl.⁷ B29C 70/44. Method and device for producing fibre-reinforced components an injection method [Text] / J. Filsinger, T. Lorenz & ors. – Filed: 17.03.2000; Date of Patent: 20.09.2001.

44. Patent EP 1 393 883 B1, Int. Cl. B29C 70/44. Vorrichtung, werkzeuganordnung und verfahren zur herstellung von bauteilen aus faserverbundwerkstoffen mittels temperature-und druckgesteuerter injektionstechnik [Text] / T. Lorenz, G. Stegmaier & ors; MT Aerospace AG. – Date of Patent: 06.09.2006.

45. Patent № 7,597,760 (US), Int. Cl.³ B05B 15/02. Apparatus and method for making preforms in mold [Text] / Scott A. Lammers, Johathan W. Schacher, Christian S. Anderson, Steve H. Olson; Brunswick Corp. – Appl. No.: 391,25; Filed: Mar. 29, 2006; Date of Patent: Oct. 6, 2009.

46. Sorencen, E. Sorencen's guide to powerboats: how to evaluate design, construction, and performance [Text] / E. Sorencen // International Marine – Ragged Mountain Press, 2007. – 497 p.

47. Гроховский, А. Современное пластиковое судостроение [Текст] / А. Гроховский // Катера и яхты. – 2009. – №217. – С. 152 – 155.

48. Lewit, S.M. Boatbuilding & Closed Molding: new advances expand options [Text] / Scott M. Lewit // Composites Manufacturing. – October, 2006. – P. 12 - 15.

49. Patent № 5,665,301 (US), Int. Cl.⁶ B29C 70/44. Apparatus and method for forming fiber reinforced composite articles [Text] / John Sulo Matias Alanko; Arctek Inc. – Appl. No.: 500,590; Filed: Jul. 11, 1995; Date of Patent: Sep. 9, 1997.

50. www.polyworx.com/pwx/cvi [Электронный ресурс].

51. Patent № 2007/0278718 A1 (US), Int. Cl. B29C 41/00. Resin infusion between double flexible tooling system [Text] / Okenwa O.I. Okoli, Alvin Paul Lim – Appl. No.: 11/789,805; Filed: Apr. 25, 2007; Pub. Date: Dec. 6, 2007.

52. Patent № 5,322,665 (US), Int. Cl.⁵ B29C 67/14. Disposable self contained cartridge or resin transfer molding and resin transfer molding method [Text] / Edward Bernardon, Michael F. Foley; The Charles Stark Draper Laboratories, Inc.– Appl. No.: 912,840; Filed: Jul. 13, 1992; Date of Patent: Jun. 21, 1994.

53. Miskbay, A.O. Process characterization of composite structures manufactured using resin impregnation techniques [Text]: Thesis for the degree of Master of Science in Mechanical Engineering. – Middle East Technical University, 2008. – 123 p.

54. www.mvpind.com [Электронный ресурс].

Поступила в редакцию 14.01.2013.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*