

## ВОЛОКНО-УПРОЧНЕННЫЕ КОМПОЗИТЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

*А.А. Сапрыкин, к.т.н., Е.В. Бабакова, аспирант, Е.А. Ибрагимов, старший преподаватель  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел (384-51) 6-22-48  
E-mail: babakova@tpu.ru*

Технология быстрого прототипирования (БП) появилась около двадцати лет назад, с целью быстрого производства изделий непосредственно из трехмерной САД-модели. Она используется, чтобы сократить и упростить цикл разработки изделий разного назначения, включая аэрокосмическую, автомобильную, бытовую технику и другие. БП включает в себя последовательное послойное добавление материала для создания твердого тела заданной формы. С годами, сфера применения БП увеличилась и превратилась от производства прототипов для пригодного и функционального тестирования до производства конечных продуктов функционального назначения [1, 2].

Волокно-упрочненные композиты наилучшим образом воспринимают различные внешние нагрузки и имеют ряд преимуществ. К числу их специальных свойств относится низкая пористость, низкий коэффициент термического расширения, сохранение стабильной структуры и свойств, а также размеров изделий при нагревах до 2000°C и охлаждении, высокие механические свойства и другие [3]. Это позволило успешно их применять в качестве тормозных дисков в авиационных тормозах, соплах ракетных двигателей, в защитных накладках крыльев космических челноков, пресс-формах, тиглях, роторов турбин, труб высокого давления, для подшипников скольжения, уплотнений и т.д.

Методы БП, в которых получают волокно-упрочненные композиты являются стереолитография (SLA), моделирование методом наплавления (FDM) и технология изготовления объектов с использованием ламинирования (LOM). В порошковых методах быстрого прототипирования, таких как селективное лазерное спекание (SLS) и технология объемной наплавки (LENS), затруднительно получить однородный слой смеси порошок-волокно [4,5].

Стереолитография (Steriolithography Apparatus) – способ получения моделей посредством отверждения тонкого слоя жидкого фотополимера лазерным лучом. Разработан фирмой 3D Systems и представлен в 1987 г.

Для изготовления композиционного материала по технологии SLA, фотополимеры смешивают с частицами или волокнами, благодаря которым улучшаются свойства изделия, но может возникать ряд проблем. Во-первых, армированные частицы вызывают увеличение вязкости фотополимера, который в дальнейшем усложняет процесс получения новых слоев. Во-вторых, проблема, связанная с жидкой смесью – это частицы выпадают в осадок, вместо равномерного распределения в жидкой смоле, что ведет к их неравномерному распределению. В-третьих, проблема образования пузырьков в жидкости, приводящей к порам после затвердевания, которые впоследствии являются причиной образования трещин. В-четвертых, происходит более длительное затвердевание формы из-за частичного отражения лазерных лучей твердыми частицами, присутствующими в жидкой смеси [6].

Некоторые из выше указанных проблем можно избежать используя технологию Optoform. Это относительно новая технология, позволяющая обрабатывать пасты, содержащие керамику или металлический порошок. Такая паста изготавливается на основе фотополимера и акрилата, или эпоксидной смолы, с очень большим содержанием (до 60 %) твердых фракций. Технология довольно гибка в отношении материалов и выявляет изделия с относительно большим первоначальным содержанием (до 60 %) твердых фракций. Следующим этапом после обработки является разъединение связей и спекание [7].

В SLA для упрочнения композита применяют стекловолокно, углеволокно или керамику. Для создания волокно-упрочненных композитов используют короткие и непрерывные волокна [8].

SLS ( Selective Laser Sintering) – послойное лазерное спекание, способ формирования модели послойным спеканием порошковых материалов, в отличие от SLA лазер используется не как источник света, а так источник тепла. В качестве источника нагрева для сканирования и приведения частиц в заранее определенные размеры и формы слоев используются непрерывные или пульсирующие лазерные лучи. Геометрия отсканированных слоев соответствует различным разделам моделей установленной системой автоматизированного проектирования (САПР). После сканирование первого слоя, продолжает сканироваться второй слой, который находится над первым, повторяя процесс от основания до вершины, пока продукт не завершится [9].

В данном методе упрочнение происходит за счет армированного порошка, который используется в виде твердых частиц. Это связано с тем, что при упрочнение волокном могут возникнуть проблемы в процессе формирования гладкой поверхности [10]. Вместо взятия смеси полимерного и армированного порошка, также может быть использован один порошковый композит, например, наполненный стекловолокном полиамидный порошок и т.д. Одна из частей композита помогает преодолеть трудности, связанные со смешиванием порошков и дает равномерное распространение составных компонентов в конечном продукте. Так же может использоваться полиамидный порошок с коротким армированным углеволокном [11].

ЛОМ (Laminated Object Manufacturing) – послойное склеивание пленочных материалов, например, полимерной пленки или ламинированной бумаги с последующим формированием («вырезанием») модели с помощью лазерного луча. Данный метод БП разработан калифорнийской фирмой Helisys (в настоящее время этим занимается фирма Cubic Technologies).

ЛОМ является уникальной в том смысле, что слои продукта могут быть изменены при помощи ламината, состоящего из различных материалов с различным составом, чтобы получить разнообразные композиты. Эта возможность имеет свои ограничения в автоматизации, поскольку многие наборы ламинатов должны быть интегрированы в данный процесс [12].

В ЛОМ существует пример получения волокно-упрочненных композитов толщиной 0,5 мм путем присоединения слоев керамической ленты с волоконным препрегом.

Препрег – род композитных материалов, применяемый в различных сферах строительства и производства. Это целая череда материалов, общей чертой которых является способ их получения. Их получают, пропитывая упрочняющие материалы волоконной структуры связующими смолами-полимерами. Пропитка и волокнистая основа подбираются, чтобы максимально реализовать физико-химические свойства композитного препрега. Это даёт возможность производить непрерывные изделия сложной формы при минимуме производственных затрат. Препреги применяются как наполнители, прессовочные материалы, армирующие составляющие различных поверхностей. Это слоистые наполнители, стекловолоконная основа которых пропитана термически реактивным веществом, а после частично отвержена. Препреги выпускаются как непрерывное полотно в полиэтиленовой оболочке, сворачиваемое в рулоны [13].

Во время ЛОМ-обработки, процесс разделки непрерывных волокон  $\text{CO}_2$ -лазером сопровождается горением и тепловым повреждением соседних полимеров. Эта проблему можно было бы избежать с помощью лазеров на парах меди, так как он режет волокна механизмом фотоабляции (испарения) [14].

FDM (Fused Deposition Modeling) – послойная укладка расплавленной до полужидкого состояния нити (проволоки) в соответствии с геометрией математической модели (моделирование наплавлением). Процесс фирмы Stratasys (США).

Метод FDM способен создавать прочные композиты, так как происходит образование связующее вещество между слоями из-за частичного или полного плавления исходного волокна. В процессе моделирования наплавлением каждый слой изделия формируется путем выдавливания материала (термопластичного полимера, воска) в виде нити, проволоки или волокна, намотанного на катушку, нагретого в FDM-экструзионном сопле до расплавленного состояния (температура выдавливаемого материала незначительно превышает температуру его затвердевания), на платформу носителя.

Добавление волокон в случае FDM увеличивает жесткость термопласта и уменьшает отек ленты в экструзионной головке в течение производства [15]. Наличие волокна также повышает температуру размягчения и искажение лент [16]. Волокна с большим удлинением могут быть получены при экструзии пленки с помощью введения капель термотропных жидких кристаллических полимеров (TLCP) в смесь. В связи с тем, что температура обработка TLCP высока и, приводит к деградации исходного термопластика при плавлении смеси, необходимо расплавить их по отдельности, а позже смешать позже [17].

LENS (Laser Engineered Net Shaping) – построение металлической модели в среде аргона путем вдувания металлического порошка в зону плавления, формируемую лазерным лучом. Процесс разработан фирмой Optomec (США).

LENS используется для создания композитов, имеющие компоненты с различными степенями армирования, приводящие к получению функционально-градиентных материалов, путем использования различных порошков в среде нейтральных газов [18].

Для армирования в основном используется углеволокно и стекловолокно [4].

UC (Ultrasonic consolidation) – основана на соединении слоев металлической ленты с помощью ультразвуковой сварки и придание формы каждому слою, используя ЧПУ-фрезерование. Процесс фирмы Solidica (США) Vantico – фирма-производитель расходных материалов для RP-машин. Используется лента на основе Al, Cu, Fe, Ni и т.д. [19, 20].

В UC укладка армирующего волокна может быть осуществлена между слоями.

Технология UC имеет следующие преимущества по сравнению с другими методами БП в изготовлении волокно-упрочненных композитов:

- 1) точное размещение волокна в структуре;
- 2) отсутствие повреждения волокна из-за медленного подъема температуры.

Широкое применение в UC получил материал, называемый MetPreg [21].

MetPreg – это высокопрочный, высокотемпературный материал, который обладает преимуществами и металла, и композита, а также хорошо поддается обработке различными методами. По структуре этот материал представляет собой металл-матричный композит содержащий высокопрочные, высокотемпературные волокна поликристаллического оксида алюминия в металлической матрице. Компания Touchstone ltd. в настоящее время производит и продает MetPreg в форме препрег ленты. Благодаря высокой прочности и жесткости алюминиевой матрицы, металлические препреги обладают большим потенциалом по снижению массы соединений по сравнению с полимерными композитами [22, 23].

SLA и LOM имеют обширные потенциалы для изготовления армированных композитов из непрерывных волокон. Однако для быстрого и точного получения изделия, методы требуют дальнейшего усовершенствования. Развитие специальных смесей из порошков – это самый простой способ получить композиты с использованием технологий SLS и LENS.

Необходимо исследовать существующие технологии БП (например, увеличение пропускной способности машины для UC и т.д.) или создавать новые технологии БП (например, на основе плазменной сварки и т.д.) в целях расширения сферы применения изделий.

Литература.

1. P.K. Jain , K. Senthilkumaran, P.M. Pandeyand, P.V.M.Rao, 2006. Advances in Materials for powder based rapid prototyping, Proceedings of international conference on Recent Advances in Materials and Processing, at PSG College of Technology, Coimbatore, India, December 15-16, section 14.6.
2. A.V. Walter, Modeling of track overlapping effect on layer integrity in the process of laser sintering of polymer suspension, Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2012. [in Russian].
3. Лысенко В.А. Исследование углеродных волокнистых материалов – прекурсоров для пористых электродов / А.А. Лысенко, В.А. Лысенко, П.Ю. Сальникова [и др.] // International conference «Ion transport in organic and inorganic membranes»: Book of Abstracts. – Krasnodar: Membrane Institute KubSU, 2009. – С. 117 – 118.
4. Kumar, S., Kruth, J.-P. Composites by rapid prototyping technology. *Materials & Design*,31(2), 850–856, 2010
5. Pham, D.T. and Dimov, S.S. “Rapid Manufacturing: The technologies and applications of Rapid Prototyping and Rapid Tooling”, Springer-Verlag London Limited, 2001. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science January 1, 2003 vol. 217 no. 1 1-23
6. C.M. Cheah, J.Y.H. Fuh, A.Y.C. Nee, L. Lu, (1999) "Mechanical characteristics of fiber filled photo polymer used in stereolithography", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 5 Iss: 3, pp.112 – 119
7. G. Vaneetvelde, A.-M. Clarinval, T. Dormalb, J.-C. Nobenc, J. Lecomte-Beckersd, Optimization of the formulation and post-treatment of stainless steel for rapid manufacturing, *journal of materials processing technology* 196(2008) 160–164.
8. G Zak, M Haberer, CB Park, B Benhabib, Mechanical properties of short-fibre layered composites: prediction and experiment, *Rapid Prototyping Journal* 6 (2), 107-118,2000.
9. Kumar S., Selective laser sintering: A qualitative and objective approach, *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 2003 – Springer, Volume 55, Issue 10, pp 43-47.
10. Mazzoli A, Moriconi G, Pauri MG. Characterization of an aluminum-filled polyamide powder for applications in selective laser sintering. *Materials & Design*. 2007;28(3):993–1000.
11. Kruth JP, Levy G, Klocke F, and Childs T. Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layer manufacturing. *Ann CIRP* 2007; 56(2): 730-59.

13. Weisensel L, Travitzky N, Sieber H, and Greil P. Laminated Object Manufacturing (LOM) of SiSiC Composites. *Adv Eng Mat* 2004; 6 (11): 899-903.
14. <http://www.szs-stupino.ru/primenenie-prepreg.html>
15. Klosterman DA, Chartoff RP, Osborne NR, Graves GA, Lightman A, Han G, et al. Development of a curved layer LOM process for monolithic ceramics and ceramic matrix composites. *Rapid Proto J* 1999; 5 (2) :61-71.
16. Shofner ML, Lozano K, Rodriguez-Marcias FJ, and Barrera EV. Nanofiber-reinforced polymers prepared by fused deposition modeling. *J App Poly Sci* 2001; 89 (11): 3081-90.
17. Zhong W, Li F, Zhang Z, Song L, and Li Z. Short fiber reinforced composites for fused deposition modeling. *Mat Sci and Eng A* 2001;301: 125- 30.
18. Gray IV RW, Baird DG, and Bohn JH. Effects of processing conditions on short TLCP fiber reinforced FDM parts. *Rapid Proto J* 1998; 4 (1): 14-25.
19. Liu W and Dupont JN. Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by Laser Engineered Net Shaping. *Scripta Mater* 2003; 48: 1337-1342.
20. Kong CY and Soar RC. Fabrication of metal-matrix composites and adaptive composites using ultrasonic consolidation process. *Mat Sci and Eng A* 2005; 412 (1-2): 12-8.
21. Gibson I., Rosen D.W., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies. Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing.* New York, USA: Springer, 2009. – 459 pp.
22. Janaki Ram GD, Robinson C, Yang Y, and Stucker BE. Use of ultrasonic consolidation for formation of mult-material structures. *Rapid Proto J* 2007; 13(4): 226-35.
23. <http://metalcomposit.ru/publikatsii/zarubezhnyiy-ryinok-primenenie-mmk-v-obshhem-mashinostroenii/>
24. Yang Y, Janaki Ram GD, and Stucker BE. Bond formation and fiber embedment during ultrasonic consolidation. *J Mat Pro Techno* 2009; 209 (10) 4915-24.

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СНАБЖЕНИЕМ  
В МНОГОПРОФИЛЬНЫХ КОРПОРАЦИЯХ, РАБОТАЮЩИХ НА РЫНКАХ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

*Г.Д. Антонов, д.э.н., проф., О.П. Иванова, д.э.н., проф.*

*НОУ ДПО «Институт повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров»*

*Кемеровский государственный университет*

*650060, г. Кемерово, ул. Мичурина 13 «А»*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: gda-kuzbass@rambler.ru, prof-ivanova@rambler.ru*

Диверсифицированные корпорации способны лучше эксплуатировать источники ценности, занимаясь многочисленными направлениями бизнеса эффективнее, чем это делают специализированные фирмы. Однако, многопрофильные компании сталкиваются с проблемой структурирования компании и управления ею в целях наилучшей эксплуатации этих источников стоимости. Несмотря на теоретические аргументы в пользу корпораций, состоящих из множества подразделений, и эмпирические свидетельства ее эффективности, исследования показывают, что сочетание выгод от децентрализации и от координации до сих пор остается проблемой для многопрофильных компаний [1]. Генри Минцберг [2] указывает на две структурные особенности корпораций, состоящих из ряда подразделений, которые ограничивают децентрализацию и способность подразделений к адаптации. Во-первых, ограничения децентрализации, проявляющиеся в ограничении операционной свободы менеджеров подразделений корпоративным головным офисом в случаях каких-либо отклонений в деятельности подразделений. Во-вторых, проблемы сосуществования различных внутренних культур и систем управления разных подразделений, возможность дифференциации в соответствии с потребностями их бизнеса сталкиваются со стандартизацией менеджмента на уровне подразделений посредством общих систем контроля, процессов управления развитием, корпоративной культуры. Кро-