

DOI: 10.15593/2224-9877/2016.3.14

УДК 621.74

А.А. Шумков, Т.Р. АблязПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ МОДЕЛИ В ПРОЦЕССЕ
ПОСТРОЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ ПРОТОТИПА**

Технологии быстрого прототипирования получили широкое применение в литейном производстве при изготовлении точных электродов-инструментов для электроэрозионной обработки. Точность прототипов, изготовленных по технологии быстрого прототипирования, зависит от многих параметров процесса, таких как ориентация модели на рабочей плоскости построения, толщина слоев, материал построения, режимы засветки, постобработка. В настоящее время в качестве материала используются эпоксидные и акриловые смолы, обладающие усадкой материала и наличием остаточных напряжений в процессе послойного отверждения и постобработки, что приводит к потере размерной точности. В работе представлен анализ размерной точности образцов, изготовленных по технологии масочной стереолитографии из фотополимерного материала на акриловой основе SI500, в зависимости от ориентации модели. Для оценки точности смоделированы образцы прямоугольной формы, экспериментально подобран режим построения на установке Envisiontec Perfactory Xede и углы наклона модели к рабочей поверхности построения. Измерения образцов после построения проводились по трем сечениям между параллельными плоскостями. В результате исследования установлено, что ориентация модели под минимальными углами в 5, 10, 15° оказывает влияние на размерную точность прототипов. Максимальные отклонения размеров по сечениям между плоскостями образца наблюдаются при ориентации модели под углом 5 и 15° и составляют 0,26 и 0,14 мм соответственно. Наиболее точный образец получен при ориентации модели под углом 10°, максимальное отклонение его размеров составляет 0,09 мм. В качестве второго показателя точности определена неплоскостность плоскостей образцов. Минимальная неплоскостность поверхностей сохраняется при ориентации образца к поверхности построения в 10° и составляет 0,02 мм.

Ключевые слова: масочная стереолитография, точность, фотополимер, полимеризация, усадка, ориентация модели, быстрое прототипирование, электрод-инструмент, электроэрозионная обработка, прототип, неплоскостность.

A.A. Shumkov, T.R. Abliaz

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**INFLUENCE OF ORIENTATION OF THE MODEL
IN THE PROCESS OF BUILDING ON THE ACCURACY
OF THE PROTOTYPE FORM**

Rapid prototyping technologies are widely used in the foundry industry in the manufacture of precision electrodes-tools for EDM. The accuracy of manufacturing of prototypes for rapid prototyping technology depends on a number of process parameters, such as, model focus on building a working

plane, the thickness of the layers, construction material, exposure modes, post-processing. Currently used as an epoxy material and acrylic resin material having a shrinkage and the presence of residual stresses in layer wise solidification process and post processing, which leads to loss of dimensional precision. The paper presents an analysis of the dimensional accuracy of the samples for the manufacture of photopolymer mask stereolithography material technology based on acrylic SI500, depending of type of model orientation. To evaluate the accuracy, simulated samples of rectangular form, the experimentally chosen mode of construction to install Envisiontec Perfactory Xede and tilt angles of the model to the working surface of the construction. Measurements of the samples after the construction were carried out in three sections between parallel planes. A result of research found that the orientation of the model under the minimum angles in 5°, 10°, 15° affects the dimensional accuracy of the prototype. The maximum size of the deviation of the sample sections between by planes are observed at the orientation of the model at an angle of 5 and 15° and make 0.26 mm and 0.14 mm, respectively. The most accurate sample obtained by the model orientation at an angle of 10°, the maximum deviation of the size which is 0.09 mm. As a second indicator of the accuracy is defined non planarity samples planes. Minimum surface non planarity is retained when the surface orientation of the sample in building 10° and makes 0,02 mm.

Keywords: mask stereolithography, accuracy, photopolymer, polymerization, shrinkage, model orientation, rapid prototyping, electrode-tool, electrical discharge machining, prototype, non planarity.

Технологии быстрого прототипирования (Rapid prototyping – Rp) получили широкое применение при создании твердотельных прототипов. Rp позволяют повысить эффективность производства за счет сокращения времени и затрат при разработке инновационных продуктов. Одним из Rp-методов является стереолитография (SLA), позволяющая послойно создавать сложные пластиковые формы по компьютерным 3D-моделям (CAD).

Процесс построения прототипов включает следующие этапы (рис. 1).

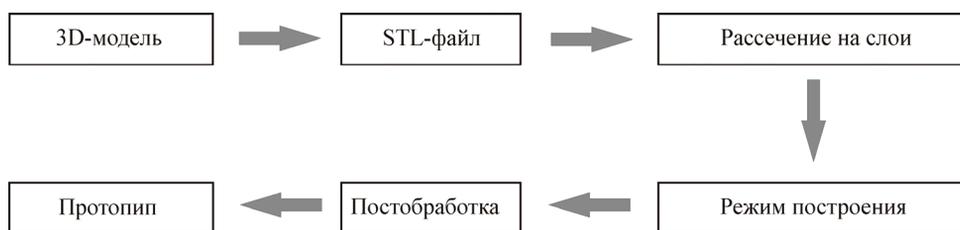


Рис. 1. Этапы построения прототипа по SLA-технологии

Актуальной областью применения SLA-технологии является изготовление сложнопрофильных электродов-инструментов (ЭИ) для электроэрозионной обработки деталей. При этом SLA-технология создает мастер-модели для литья по выжигаемым (выплавленным) моделям ЭИ.

Одним из ключевых параметров, влияющих на точность формы SLA-прототипа и качество поверхности, является ориентация модели в рабочем пространстве перед началом рассечения на тонкие слои [1–3]. Процесс построения модели слой за слоем вносит погрешность в размере прототипа по сравнению со спроектированной моделью. Данная ошибка возникает из-за эффекта «лестницы» на поверхности и негативно влияет на точность размеров.

Из анализа работы [4] установлена зависимость влияния ориентации и толщины слоя модели на качество выращенного прототипа. При ориентации ответственных частей модели параллельно поверхности среза и уменьшении толщины слоя погрешность формы прототипа снижается (рис. 2). Показано, что при изменении угла наклона модели на 45° происходит повышение качества поверхности прототипа.

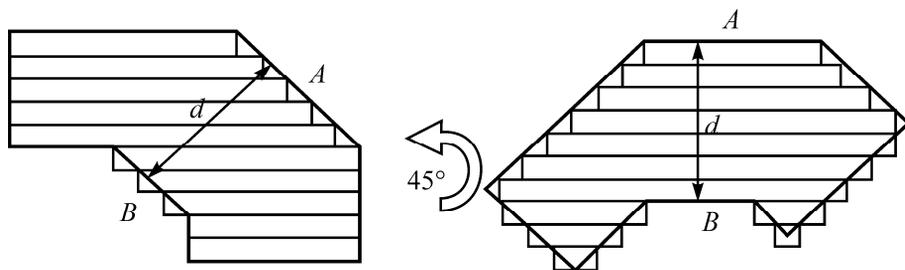


Рис. 2. Снижение погрешности поверхности прототипа граней *A* и *B* при вращении модели на 45°

Анализ работы [5] показал, что уменьшение высоты модели за счет ориентации снижает время построения прототипа в 1,5 раза. В работах [6–13] исследования авторов направлены на разработку методик выбора ориентации модели в процессе построения SLA-прототипа. Проведен анализ различных исследований ориентации SLA-модели, влияющей на повышение точности и снижение времени построения. Анализ литературных источников показал, что угол выращивания прототипа оказывает существенное влияние на качество выращенной поверхности. Не в полной мере изучен вопрос влияния параметров позиционирования модели на точность формы. Изготовление моделей сложной формы с большим количеством выращиваемых элементов, расположенных в пространстве под углами 45° , может быть ограничено. Актуальным является изучение влияния ориентации модели на точность формы прототипа под углами менее 45° .

Цель исследования – изучить влияние ориентации модели на точность формы SLA-прототипов из фотополимерного материала SI500.

В качестве технологии для изготовления экспериментальных образцов использована масочная стереолитография (SLA) компании Envisiontec. Суть процесса заключается в послойном наращивании фоточувствительного акрилового материала SI500.

Для исследования влияния ориентации модели на точность формы прототипа смоделированы три образца квадратного сечения 15×15×15 мм, высотой 30 мм, которые ориентированы под углами 5, 10, 15° к рабочей платформе установки (рис. 3).

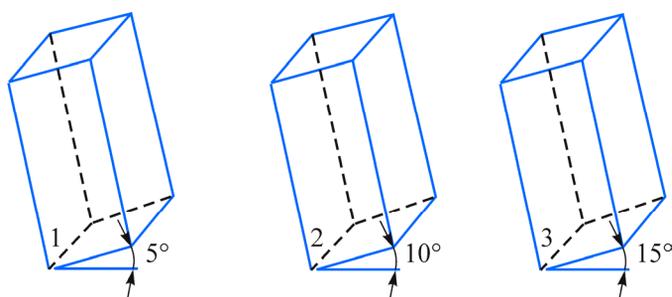


Рис. 3. Модели образцов

Ниже представлен режим построения SLA-прототипов на установке Envisiontec Perfactory Xede.

Режим процесса построения на стереолитографической установке Envisiontec Perfactory Xede:

Толщина слоя, мкм	Толщина поддержек, мкм	Высота поддержек, мм	Время засветки сечений прототипа, мс	Время засветки поддержек, мс
50	280	3	8500	8500

Для определения влияния ориентации модели на точность образцов после окончания процесса построения проводили измерения на трехкоординатной машине Carl Zeiss CONTURA G2 АКТИВ [14, 15]. Схема измерений изображена на рис. 4.

Определение влияния ориентации модели на точность формы SLA-прототипа заключалось в измерении расстояния между П1–П2 и П3–П4 по сечениям 1, 2, 3 с разными углами ориентации (см. рис. 3). Так же определена неплоскостность плоскостей П1–П2.

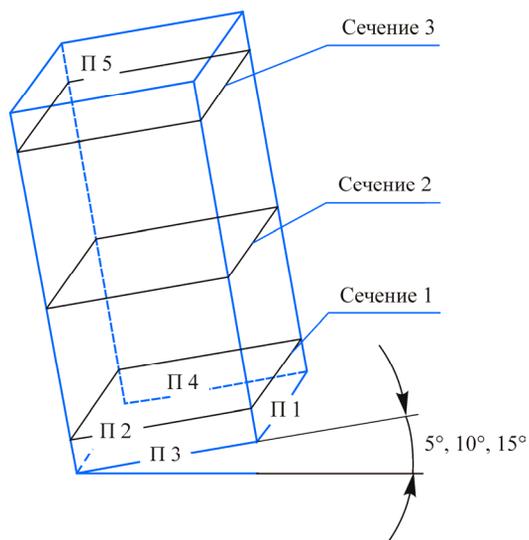


Рис. 4. Схема измерений размеров образцов

Данные для оценки точности формы образцов, построенных по технологии стереолитографии из фотополимерного материала SI500, сведены в таблицу.

Результаты измерения образцов на трехкоординатной машине
Carl Zeiss CONTURA G2 AKTIV

Угол	Расстояние L между плоскостями, мм						Неплоскостность	
	П1–П2			П3–П4			Плоскость	
	Сечение			Сечение				
	1	2	3	1	2	3	1	2
5°	15,1000	15,1030	15,2610	15,0926	15,0574	15,0573	0,0231	0,0817
10°	15,0756	15,0690	15,0978	15,0883	15,0652	15,0467	0,0233	0,0258
15°	15,0361	15,0289	15,1497	15,0646	15,0565	15,0415	0,0187	0,0957

По данным таблицы построена диаграмма отклонения размеров по трем сечениям между плоскостями П1–П2 и П3–П4 (рис. 5).

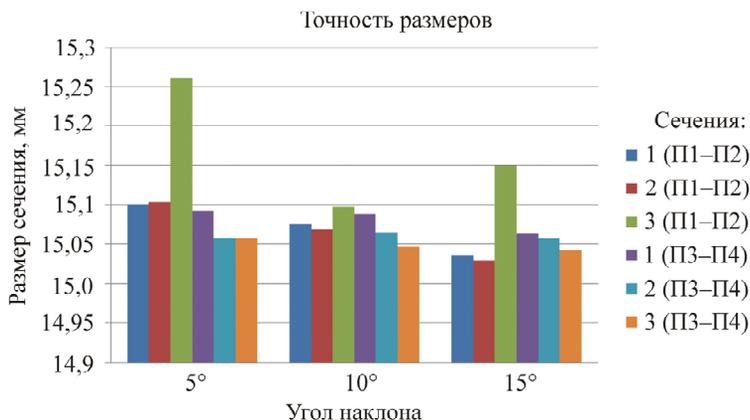


Рис. 5. Отклонение размеров по сечениям образца в зависимости от угла наклона к плоскости построения

По рис. 5 видно, что максимальные отклонения размеров наблюдаются при ориентации образца под углом в 5° (сечение 3 (П1-П2)) и 15° (сечение 3 (П2-П1)), отклонение размеров составляет 0,26 и 0,14 мм соответственно. Заданная точность размеров, равная 0,1 мм, сохраняется при ориентации образца к плоскости построения на угол в 10°. На рис. 6 определена неплоскостность поверхностей П1 и П2.

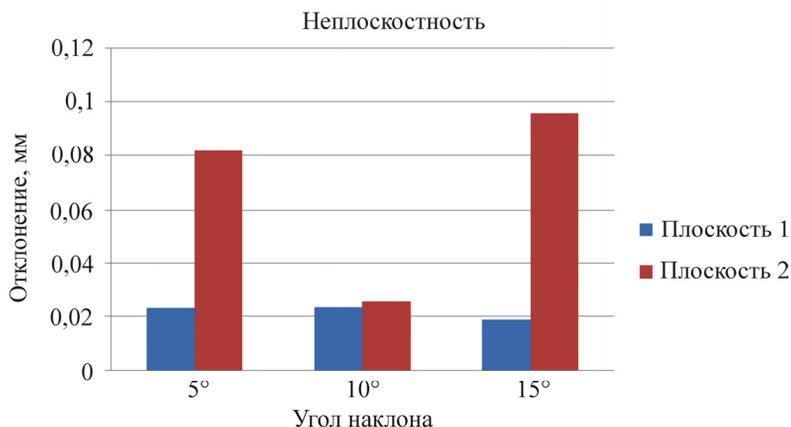


Рис. 6. Неплоскостность поверхностей П1 и П2 образцов в зависимости от угла наклона к поверхности построения

По рис. 6 видно, что минимальная неплоскостность поверхностей П1 и П2 наблюдается при ориентации образца к плоскости построения

под углом в 10° . Максимальные отклонения наблюдаются при ориентации образца под углами в 5 и 15° к поверхности построения и составляют $0,08$ и $0,09$ мм соответственно для плоскостей П1 и П2. Минимальная неплоскостность поверхностей П1 и П2 сохраняется при ориентации образца к поверхности построения в 10° и составляет $0,02$ мм.

По результатам проведенной работы определено, что ориентация образцов в процессе построения влияет на точность размеров прототипов, изготовленных по SLA-технологии. Наиболее точные образцы получены при ориентации моделей к плоскости построения на угол в 10° .

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-5310.2016.8.

Список литературы

1. Schaub D.A., Chu K-R., Montgomery D.C. Optimising stereolithography throughput // Journal of Manufacturing Systems. – 1997. – Vol. 16. – P. 290–303.
2. Zhou J., Herscovici D., Chen C. Parametric process optimization to improve the accuracy of rapid prototyped stereolithography parts // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 1999. – № 40. – P. 1–17.
3. Investigation of the effect of various build methods on the performance of rapid prototyping (stereolithography) / R.E. Williams, S.N. Komaragiri, V.L. Melton, R.R. Bishu // Journal of Materials Processing Technology. – 1996. – № 61. – P. 173–178.
4. Onuh S.O., Hon K.K.B. Optimising build parameters for improved surface finish in stereolithography // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 1998. – Vol. 38, iss. 4. – P. 329–342.
5. Masood S.H., Lim B.S. Concurrent intelligent rapid prototyping environment // J. Intell. Manuf. – 1995. – № 6(5). – P. 291–310.
6. Karalekas D., Aggelopoulos A. Study of shrinkage strains in a stereolithography cured acrylic photopolymer resin // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – № 136. – P. 146–150. DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00028-1

7. Canellidis V., Giannatsis J., Dedoussis V. Efficient parts nesting schemes for improving stereolithography utilization // *Computer-Aided Design*. – 2013. – № 45. – P. 875–886.

8. Multi-objective optimisation of part-building orientation in stereolithography / W. Cheng [et al.] // *Rapid Prototyping J.* – 1995. – № 1(4). – P. 12–23.

9. Determining fabrication orientations for rapid prototyping with stereolithography apparatus / P.T. Lan, S.Y. Chou, L.L. Chent, D. Gemmill // *Comput. Aided Des.* – 1997. – № 29(1). – P. 53–62.

10. Hur J., Lee K. The development of a CAD environment to determine the preferred build-up direction for layered manufacturing // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 1998. – № 14. – P. 247–254.

11. Optimum part deposition orientation in stereolithography / S.K. Singhal, A.P. Pandey, P.M. Pandey, A.K. Nagpal // *Computer Aided Design and Applications*. – 2005. – № 2. – P. 1–4.

12. Pandey P.M., Reddy N.V., Dhande S.G. Part deposition orientation studies in layered manufacturing // *Proceeding of International Conference on Advanced Manufacturing Technology*. – 2004. – P. 907–912.

13. Pham D.T., Demov S.S. *Rapid manufacturing: The technologies and applications of rapid prototyping and rapid tooling*. – London: Springer-Verlag, 2001. – 267 p. DOI: 10.1007/978-1-4471-0703-3

14. Шумков А.А., Абляз Т.Р. Экспериментальное определение деформаций поверхностей литевых мастер-моделей при послойном синтезе фотополимерного материала // *Металлообработка*. – 2015. – № 3(87). – С. 54–57.

15. Эффект искажения формы RP-моделей в процессе послойного наращивания и постобработки синтезируемого материала / А.А. Шумков, Т.Р. Абляз, Е.В. Матыгуллина, П.Н. Килина // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. – 2016. – Т. 18, № 1. – С. 160–174. DOI: 10.15593/2224-9877/2016.1.11

References

1. Schaub D.A., Chu K-R., Montgomery D.C. Optimising stereolithography throughput. *Journal of Manufacturing Systems*, 1997, vol. 16, pp. 290-303.

2. Zhou J., Herscovici D., Chen C. Parametric process optimization to improve the accuracy of rapid prototyped stereolithography parts. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1999, no. 40, pp. 1-17.

3. Williams R.E., Komaragiri S.N., Melton V.L., Bishu R.R. Investigation of the effect of various build methods on the performance of rapid prototyping (stereolithography). *Journal of Materials Processing Technology*, 1996, no. 61, pp. 173-178.

4. Onuh S.O., Hon K.K.B. Optimising build parameters for improved surface finish in stereolithography. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1998, vol. 38, iss. 4, pp. 329-342.

5. Masood S.H., Lim B.S. Concurrent intelligent rapid prototyping environment. *Journal Intell. Manuf.*, 1995, no. 6(5), pp. 291-310.

6. Karalekas D., Aggelopoulos A. Study of shrinkage strains in a stereolithography cured acrylic photopolymer resin. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, no. 136, pp. 146-150. DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00028-1

7. Canellidis V., Giannatsis J., Dedoussis V. Efficient parts nesting schemes for improving stereolithography utilization. *Computer-Aided Design*, 2013, no. 45, pp. 875-886.

8. Cheng W. Multi-objective optimisation of part-building orientation in stereo-lithography. *Rapid Prototyping Journal*, 1995, no. 1(4), pp. 12-23.

9. Lan P.T., Chou S.Y., Chent L.L., Gemmill D. Determining fabrication orientations for rapid prototyping with stereo-lithography apparatus. *Computer Aided Design*, 1997, no. 29(1), pp. 53-62.

10. Hur J., Lee K. The development of a CAD environment to determine the preferred build-up direction for layered manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1998, no. 14, pp. 247-254.

11. Singhal S.K., Pandey A.P., Pandey P.M., Nagpal A.K. Optimum part deposition orientation in stereolithography. *Computer Aided Design and Applications*, 2005, no. 2, pp. 1-4.

12. Pandey P.M., Reddy N.V., Dhande S.G. Part deposition orientation studies in layered manufacturing. *Proceeding of International Conference on Advanced Manufacturing Technology*, 2004, pp. 907-912.

13. Pham D.T., Demov S.S. Rapid manufacturing: the technologies and applications of rapid prototyping and rapid tooling. London: Springer-Verlag, 2001. 267 p. DOI: 10.1007/978-1-4471-0703-3

14. Shumkov A.A., Abliaz T.R. Eksperimental'noe opredelenie deformatsii poverkhnostei lit'evykh master-modelei pri posloinom sinteze fotopolimernogo materiala [Experimental determination of deformations of surfaces of molded master models for the synthesis of layered photopolymer material]. *Metalloobrabotka*, 2015, no. 3(87), pp. 54-57.

15. Shumkov A.A., Abliaz T.R., Matygullina E.V., Kilina P.N. Effekt iskazheniia formy RP-modelei v protsesse posloinogo narashchivaniia i postobrabotki sinteziruemogo materiala [The effect of distortion of the RP-models in the layered build-up and post-processing of the synthesized material]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2016, vol. 18, no. 1, pp. 160-174. DOI: 10.15593/2224-9877/2016.1.11

Получено 5.07.2016

Об авторах

Шумков Алексей Александрович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: Shumkov_89@mail.ru.

Абляз Тимур Ризович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

About the authors

Aleksei A. Shumkov (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Materials, Technologies and Constructions of Machines, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: Shumkov_89@mail.ru.

Timur R. Abliaz (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Materials, Technologies and Constructions of Machines, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.