

DOI: 10.15593/2222-9877/2016.2.12

УДК-621.9.048.4

**Т.Р. Абляз, А.А. Шумков**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ-ИНСТРУМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ**

Основным из сдерживающих факторов применения копировально-прошивных электроэрозионных станков является ограниченность технологических возможностей изготовления сложнопрофильных электродов-инструментов (ЭИ). При традиционном изготовлении сложного электрода-инструмента его модель разбивается на элементарные участки, каждый участок изготавливается по отдельности, а в дальнейшем они собираются в один инструмент. Полученные составные электроды не позволяют обрабатывать детали с высокой точностью. Стоимость изготовления составного электрода зависит от сложности рабочего профиля, и зачастую создание перспективных деталей таким электродом становится экономически не выгодным. Цель работы – исследование возможности применения технологии быстрого прототипирования при создании сложнопрофильных электродов-инструментов. Проведен эксперимент по созданию сложнопрофильного электрода-инструмента в форме панели мобильного телефона с применением технологий SLA для литья по выплавляемым моделям. Для создания 3D-модели использован принцип обратного инжиниринга с применением координатной измерительной машины Contura Carl Zeiss G2. Выращивание мастер-модели электрода проводилось на установке масочного типа Envisiontec Perfactory XEDE. На основе полученной мастер-модели сформирован модельный комплект для реализации технологии литья по выплавляемой модели. Отклонение размеров обработанной детали от размеров ЭИ не превысило 20 %. Процесс обработки сопровождался стабильным искрообразованием без возникновения замыкания. При увеличении глубины обработки, в связи с ухудшением условий вымывания продуктов эрозии (шлам), производительность процесса ЭЭО снизилась. Наибольшая концентрация шлама наблюдалась на вогнутых поверхностях электрода. Анализ экономической эффективности применения технологий быстрого прототипирования и литья по выплавляемым моделям при создании электрода-инструмента выбранной детали показал снижение экономических затрат на 35 %. Снижение затрат достигается за счет отсутствия в процессе изготовления электрода-инструмента дорогостоящего мелкогабаритного лезвийного инструмента и технологической оснастки. Применение технологий обратного инжиниринга совместно с быстрым прототипированием и литьем по выплавляемым моделям позволяет сократить время на подготовку технологии электроэрозионной обработки.

**Ключевые слова:** быстрое прототипирование, аддитивные технологии, электроэрозионная обработка, технология литейного производства, точность, электрод-инструмент, сложный профиль, копировально-прошивная электроэрозионная обработка, мастер-модель, изготовление электродов-инструментов.

**T.R. Abliaz, A.A. Shumkov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **INFLUENCE OF VOLTAGE AND WIRE SPEED ON FORMING THE MACHINED SURFACE ROUGHNESS DURING WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING**

**Abstract:** The main constraints of the application of copy-piercing EDM machines is the limited technological capabilities of manufacturing complex-electrode-tool (ET). In traditional manufacturing of complex electrode-tool, its model is divided into elementary sections and each section is manufactured separately and subsequently assembled to form a tool. The resulting composite electrodes do not allow processing parts with high precision. The cost of manufacturing the composite electrode depends on the complexity of the work profile and often the creation of advanced components such electrode becomes economically advantageous. Purpose - to investigate the possibility of the use of rapid prototyping technology to create complex electrodes. An experiment to create complex-tool-electrode in the form of mobile phone panel with the use of SLA technology for investment casting. To create a 3D model used reverse engineering principle with the use of a coordinate Contura Carl Zeiss G2 measuring machine. Growing master electrode model was conducted on the mask Installation type Envisiontec Perfactory XEDE. On the basis of the master model formed by the model kit for the implementation of the technology of casting, investment casting. Deviation from the workpiece dimensions of ET dimensions not exceeding 20%. The treatment process was accompanied by stable without causing sparking circuit. By increasing the depth of processing, due to the deteriorating conditions washout erosion products (sludge), the performance of EDM process decreased. The highest concentration of the slurry was observed on the concave surface of the electrode. Analysis of economic efficiency of application of rapid prototyping and casting techniques, investment casting to create an electrode-tool selected items showed a decline in the economic costs of 35%. Cost reduction is achieved by the absence in the manufacturing process of the electrode-tool blade expensive small-sized tools and tooling. The use of reverse engineering techniques, together with the rapid prototyping and casting, investment casting can reduce the time to prepare EDM technology.

**Keywords:** rapid prototyping, additive technology, electrical discharge machining, casting technology, accuracy, electrode-tool, complex profile, die sinking EDM, master model, production of electrode-tool.

Изготовление деталей сложного профиля из труднообрабатываемых материалов с высокой точностью невозможно без применения электроэрозионной обработки (ЭЭО) [1].

Основным из сдерживающих факторов применения копирувально-прошивных электроэрозионных станков является ограниченность технологических возможностей изготовления сложнопрофильных электродов-инструментов (ЭИ) [2]. Из общего времени технологического процесса изготовления деталей методом ЭЭО от 25 до 40 % приходится на изготовление ЭИ.

При традиционном изготовлении сложного ЭИ его модель разбивается на элементарные участки и каждый участок изготавливается по отдельности. Отдельные элементы электрода в дальнейшем собираются в один инструмент. Полученные составные электроды не позволяют

обрабатывать детали с высокой точностью. Стоимость изготовления составного электрода зависит от сложности рабочего профиля, и зачастую создание перспективных деталей таким электродом становится экономически невыгодным [2, 3].

Цель работы – исследование возможности применения технологии быстрого прототипирования при создании сложнопрофильных электродов-инструментов.

Применение аддитивных технологий (АТ) для изготовления ЭИ обеспечивает сокращение сроков подготовки производства, а также способствует сокращению потерь и отходов. Выделяют прямое и косвенное производство ЭИ с применением АТ [4–7].

При прямом производстве ЭИ выращенная модель без последующих технологических операций используется в качестве электрода. Один из примеров прямого производства – создание ЭИ методом селективного лазерного сплавления (СЛС) порошковых материалов. Недостатком данного метода является грубая шероховатость полученных прототипов, требующая последующей доработки. С экономической точки зрения применение технологии СЛС для создания ЭИ целесообразно при изготовлении штучных электродов сложной формы [8].

При косвенном использовании АТ выращенная модель является промежуточным этапом в технологической цепочке изготовления ЭИ. Одним из перспективных направлений изготовления сложнопрофильного ЭИ косвенным методом является сочетание технологий быстрого прототипирования и литейного производства.

Широкое применение в изготовлении мастер-моделей сложнопрофильных ЭИ из жидких фотополимерных материалов получила технология стереолитографии (SLA). Основой SLA-технологии является изменение фазового состояния материала, переход из жидкого состояния в твердое. Существует две разновидности SLA-технологии: лазерная и масочная. Основное отличие заключается в способе инициирования реакции полимеризации используемого материала. В лазерной стереолитографии для генерирования реакции полимеризации используются He–Cd или Ar-ионный лазеры, работающие в области УФ-излучения. Лазерный луч последовательно штрихует сечение прототипа на поверхности жидкого материала сфокусированным пучком УФ-лучей. Основным недостатком метода является длительное время построения, необходимость проведения дополнительного отвержде-

ния. Существенными преимуществами обладает масочная стереолитография. Реакция отверждения происходит за счет создания изображения сечения модели с УФ-излучением. В создании такого рода засветки лежит принцип цифровой обработки светом (Digital Light Processing – DLP). Основные преимущества стереолитографии, основанной на DLP-методе, являются скорость построения и равномерное отверждение всей зоны засвечиваемого сечения. Рабочими материалами при SLA-технологиях являются светочувствительные акриловые и эпоксидные смолы [9–15].

В работе проведен эксперимент по созданию сложнопрофильного электрода-инструмента в форме панели мобильного телефона с применением технологий SLA и литья по выплавляемым моделям. На рис. 1 представлена блок-схема создания сложнопрофильного электрода.

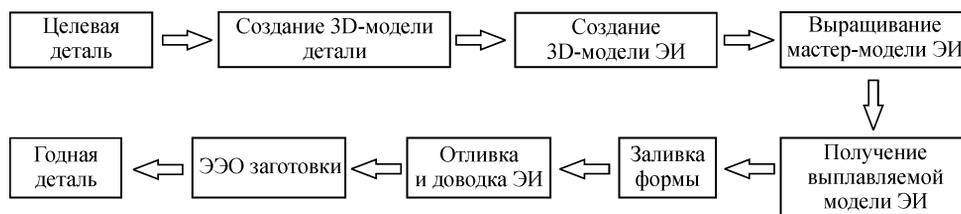


Рис. 1. Этапы создания ЭИ

Для создания 3D-модели использован принцип обратного инжиниринга с применением координатной измерительной машины Contura Carl Zeiss G2. С целевой модели снимается облако точек, которое в дальнейшем преобразуется в трехмерную компьютерную модель в формате STL. Последующая обработка компьютерной модели ЭИ в STL-формате проводилась программой Magics12 фирмы Materialize. Обработка модели состоит из следующих этапов: удаление артефактов, образовавшихся в процессе создания объемной модели, позиционирование в рабочей области SLM-машины, проектирование поддержек.

Выращивание мастер-модели электрода проводилось на установке масочного типа Envisiontec Perfactory XEDE.

Спроектированная модель позиционируется в рабочей области построения и рассекается на слои с заданным шагом построения по оси  $z$ . В процессе построения модели на каждом последующем слое формируется маска изображения сечения модели, и слой засвечивается с определенным интервалом времени. Режим построения представлен

ниже. Платформа после засветки слоя опускается на заданную толщину следующего слоя. Процесс построения повторяется до полного завершения засветки всех слоев модели. Скорость построения прототипов при толщине слоя в 0,05 мм составляет 10 мм/ч. Точность размеров при шаге построения 0,05 мм составляет 0,1 мм, шероховатость прототипов  $Ra = 0,1$ .

Режимы построения:

Толщина слоя, мм	Толщина поддержек, мм	Высота поддержек, мм	Время засветки сечений прототипа, мс	Время засветки поддержек, мс
0,050	0,280	3	10 000	10 000

Выращенная мастер-модель ЭИ представлена на рис. 2.

На основе полученной мастер-модели формируется модельный комплект для реализации технологии литья по выплавляемой модели. С изготовленного прототипа снимается силиконовая форма для заливки восковой выплавляемой модели.



Рис. 2. Выращенная мастер-модель



Рис. 3. Электрод-инструмент

Полученная восковая модель является частью сборного модельного воскового комплекта. В подготовленный металлический короб устанавливается восковой комплект, состоящий из выплавляемой мастер-модели с литниковой системой, и заливается формовочный материал. После затвердевания формовочного материала форма подготавливается к заливке (см. рис. 1).

Отливка полученного ЭИ представлена на рис. 3. Материал ЭИ – латунь ЛЦ40С по ГОСТ 17711–93.

Отработка технологии ЭЭО проводилась на копировально-прошивном станке SmartCNC. Режимы обработки представлены ниже. В качестве рабочей жидкости использовано индустриальное масло И-20А.

Режимы обработки:

Программный код режимных таблиц станка (Е-код)	Сила тока $I_p$ , А	Напряжение $U$ , В	Полярность станка
21	1	50	Прямая

В качестве обрабатываемого материала использована конструкционная легированная сталь марки 40ХН2МА по ГОСТ 1133–71.

Площадь обработки составляет более 30 см<sup>2</sup>. Схема процесса ЭЭО представлена на рис. 4.

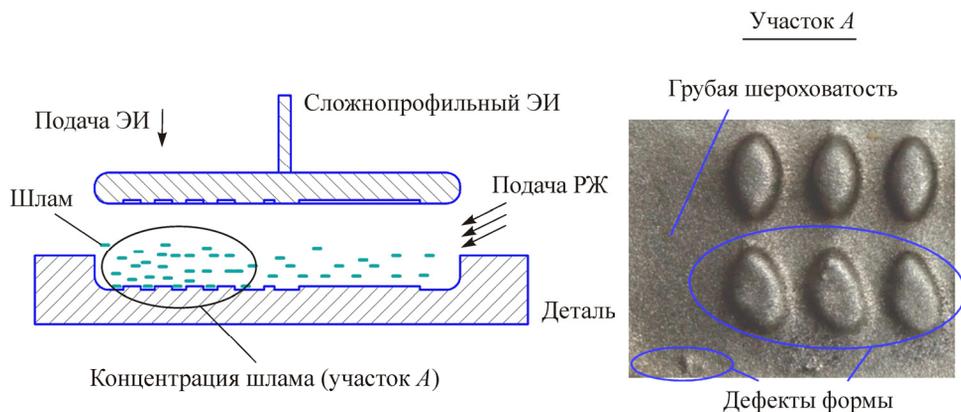


Рис. 4. Схема обработки

Процесс обработки сопровождался стабильным искрообразованием без возникновения замыкания. При увеличении глубины обработки, в связи с ухудшением условий вымывания продуктов эрозии (шлам), производительность процесса ЭЭО понизилась. Наибольшая концентрация шлама наблюдалась на вогнутых поверхностях электрода.

Максимальная концентрация шлама на обработанной поверхности наблюдается на участке *A* (см. рис. 4).

Шероховатость обработанной поверхности в зоне скопления шлама (участок *A*)  $R_a = 3,0$  мкм (см. рис. 4). Средняя шероховатость обработанных поверхностей  $R_a = 1,6$  мкм, что соответствует выбранному режиму согласно программному коду.

Показано, что на обработанной детали детализированы все элементы профиля ЭИ. Отклонение размеров обработанной детали от размеров ЭИ не превысило 20 %.

Анализ экономической эффективности применения технологий быстрого прототипирования и литья по выплавляемым моделям при создании ЭИ выбранной детали показал снижение экономических затрат на 35 %. Снижение затрат достигается за счет отсутствия в процессе изготовления ЭИ дорогостоящего мелкогабаритного лезвийного инструмента и технологической оснастки.

Применение технологий обратного инжиниринга совместно с быстрым прототипированием и литьем по выплавляемым моделям позволяет сократить время на подготовку технологии электроэрозионной обработки.

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

### Список литературы

1. Абляз Т.Р., Ханов А.М., Хурматуллин О.Г. Современные подходы к технологии электроэрозионной обработки материалов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 112 с.
2. Influence of process parameters and electrode shape configuration on material removal rate, surface roughness and electrode wear in die sinking EDM: a review / A.K. Sarathe [et al.] // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (IJETAЕ). – 2014. – Vol. 4, iss. 4. – P. 138–145.
3. Dickens P.M., Smith P.J. Stereolithography tooling // Proceedings of the 1st European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing. – 6–7 July. – Nottingham, 1992. – P. 309–317.
4. Semon G. A practical guide to electro discharge machining. – 2nd ed. – Geneva: Ateliers des Charmilles, 1975. – Ch. 9. – P. 63–76.
5. Meshram D., Puri Y. EDM electrodes manufacturing using rapid tooling concept // International Journal of Engineering Research and Development. – 2012. – Vol. 3, iss. 4. – P. 58–70.

6. Ferreira J.C., Mateus A.S. Rapid tooling aided by reverse engineering to manufacture EDM electrodes // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 2007. – № 34. – P. 1133–1143.

7. Dimla D.E., Rothe H. Investigation of complex rapid EDM electrodes for rapid tooling applications // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 2004. – № 23. – P. 249–255.

8. Yucheng Ding, Hongbo Lan. An integrated manufacturing system for rapid tooling based on rapid prototyping // *Robotics and CIM.* – 2004. – № 20. – P. 281–288.

9. Ferreira J.C., Mateus A.S. Computer simulation before rapid tooling to produce EDM electrodes // *9th European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing / University of Nottingham.* – 2000. – P. 1–10.

10. Gibson I., Rosen D.W., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies: rapid prototypin to direct digital manufacturing.* – New York: Springer, 2010. – 473 p.

11. Fabrication and cutting performance of cemented tungsten carbide micro-cutting tools / E. Kai, H. Shigeyuki, T. Sho, M. Yusuke // *Precis Eng.* – 2011. – № 35–4. – P. 547–553.

12. Effects of electrical discharge energy on machining performance and bending strength of cemented tungsten carbides / Y.C. Lin, L.R. Hwang, C.H. Cheng, P.L. Su // *J. Mater. Process. Technol.* – 2008. № 206. – P. 491–499.

13. Kumara S., Batra U. Surface modification of die steel materials by EDM method using tungsten powder-mixed dielectric // *J. Manuf. Process.* – 2012. – № 14. – P. 35–40.

14. Lin Y.C., Yan B.H., Huang F.Y. Surface modification of Al–ZnMg aluminum alloy using the combined process of EDM with USM // *J. Mater. Process. Technol.* – 2001. – № 115. – P. 359–366.

15. Patowari P.K., Saha P., Mishra P.K. Taguchi analysis of surface modification technique using W–Cu powder metallurgy sintered tools in EDM and characterization of the deposited layer // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 2011. – № 54. – P. 593–604.

## **References**

1. Abliaz T.R., Khanov A.M., Khurmatullin O.G. *Sovremennye podkhody k tekhnologii elektroerozionnoi obrabotki materialov* [Modern

approaches to technology of electroerosive processing of materials]. Perm-skii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2012. 112 p.

2. Sarathe A.K. [et al.]. Influence of process parameters and electrode shape configuration on material removal rate, surface roughness and electrode wear in die sink-ing EDM: a review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (IJETAE)*, 2014, vol. 4, iss. 4, pp. 138-145.

3. Dickens P.M., Smith P.J. Stereolithography tooling. *Proceedings of the 1st European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing*. 6–7 July. Nottingham, 1992, pp. 309-317.

4. Semon G. A practical guide to electro discharge machining. *Ateliers des Charmilles*. Geneve, 1975, chapter 9, pp. 63-76.

5. Meshram D., Puri Y. EDM electrodes manufacturing using rapid tooling concept. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2012, vol. 3, iss. 4, pp. 58-70.

6. Ferreira J.C., Mateus A.S. Rapid tooling aided by reverse engineering to manufacture EDM electrodes. *International Journal Adv. Manuf. Technology*, 2007, no. 34, pp. 1133-1143.

7. Dimla D.E., Rothe H. Investigation of complex rapid EDM electrodes for rapid tooling applications. *International Journal Adv. Manuf. Technology*, 2004, no. 23, pp. 249-255.

8. Yucheng Ding, Hongbo Lan. An integrated manufacturing system for rapid tooling based on rapid prototyping. *Robotics and CIM*, 2004, no. 20, pp. 281-288.

9. Ferreira J.C., Mateus A.S. Computer simulation before rapid tooling to produce EDM electrodes. *9th European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing*. University of Nottingham, 2000, pp. 1-10.

10. Gibson I., Rosen D.W., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: rapid prototypin to direct digital manufacturing. New York: Springer, 2010. 473 p.

11. Kai E., Shigeyuki H., Sho T., Yusuke M. Fabrication and cutting performance of cemented tungsten carbide micro-cutting tools. *Precis Engenering*, 2011, no. 35-4, pp. 547-553.

12. Lin Y.C., Hwang L.R., Cheng C.H., Su P.L. Effects of electrical discharge energy on machining performance and bending strength of cemented tungsten carbides. *Journal Material Processing Technology*, 2008, no. 206, pp. 491-499.

13. Kumara S., Batra U. Surface modification of die steel materials by EDM method using tungsten powder-mixed dielectric. *Journal Manuf. Processing*, 2012, no. 14, pp. 35-40.

14. Lin Y.C., Yan B.H., Huang F.Y. Surface modification of Al-ZnMg aluminum alloy using the combined process of EDM with USM. *Journal Mater. Processing. Technology*, 2001, no. 115, pp. 359-366.

15. Patowari P.K., Saha P., Mishra P.K. Taguchi analysis of surface modification technique using W-Cu powder metallurgy sintered tools in EDM and characterization of the deposited layer. *International Journal Advance Manuf. Technology*, 2011, no. 54, pp. 593-604.

Получено 22.03.2016

### **Об авторах**

**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.

**Шумков Алексей Александрович** (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: Shumkov\_89@mail.ru.

### **About the authors**

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

**Aleksei A. Shumkov** (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Materials, Technology and Constructions of Machines, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: Shumkov\_89@mail.ru.