



**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ
И ПРИМЕНЕНИЕ
КОМБИНИРОВАННОГО
ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

✉¹**Алексей Викторович Кузовкин**
заведующий кафедрой графики, конструирования и информационных технологий в промышленном дизайне ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, (РФ), e-mail: akuzovkin@mail.ru

Александр Петрович Суворов
кандидат технических наук, доцент графики, конструирования и информационных технологий в промышленном дизайне ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, (Российская Федерация)

Юлия Сергеевна Золототрубова
старший преподаватель графики, конструирования и информационных технологий в промышленном дизайне ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, (Российская Федерация)

Аннотация.

Рассматривается проблема обработки высокопрочных материалов электроэрозионной обработкой. проблемы по проектированию и изготовлению электрода-инструмента для прямого и обратного копирования может быть найдено на основе применения современных технологий цифрового прототипирования.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОФИЗИКОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, ПОВЕРХНОСТЬ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ, КОМБИНИРОВАННЫЙ ИНСТРУМЕНТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ.

**DESIGN, MANUFACTURE AND USE
OF A COMBINED TOOL
FOR THE FORMATION
OF CURVILINEAR SURFACES**

✉¹**Alexei V. Kuzovkin**
Head of the Department of Graphics, Design and Information Technologies in the industrial design of Voronezh State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Voronezh, (Russian Federation) e-mail: akuzovkin@mail.ru

Alexander P. Suvorov
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Graphics, Designing and Information Technology in Industrial Design of Voronezh State Technical University, Voronezh, (Russian Federation)

Julia S. Zolototrubova
Assistant Professor Graphics, Designing and Information Technology in Industrial Design of Voronezh State Technical University, Voronezh, (Russian Federation)

Annotation.

The problem of treating high-cooled materials by electro-erosion treatment is considered. Problems for the design and manufacture of an electrode tool for direct and reverse copying can be found based on the use of modern digital prototyping technologies.

Keywords: ELECTROPHYSICOCHEMICAL EDUCATION, SURFACE OF COMPLEX PROFILE, COMBINED TOOL, DESIGN, ISOLATION.

¹Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Одной из важных проблем машиностроительного производства сложнопрофильных деталей, предназначенных для эксплуатации в условиях экстремальных нагрузок, температур и агрессивного химического воздействия, характерного для изделий авиационно-космической техники, является применение новых материалов и сплавов с высокой прочностью, но при этом обладающих необходимой технологичностью обработки для условий имеющегося производства. Формообразование сложнопрофильных деталей из указанных материалов представляет сложную задачу, и её решение может быть реализовано несколькими путями.

Первый путь, состоящий в использовании традиционных методов получения профиля деталей механической обработкой, не всегда целесообразен вследствие высокой трудоемкости, необходимости применения традиционного металлообрабатывающего оборудования, оснащенного лезвийным инструментом. При этом мощность станков повышается, как повышаются и эксплуатационные свойства режущего инструмента за счет увеличения его стойкости, внесения изменений в физико-механические свойства режущих материалов и т. п. Однако, этот процесс не бесконечен и приводит к существенному росту материальных и экономических затрат, что, в свою очередь, повышает себестоимость готовой продукции.

Второй путь решения проблемы – это применение электрических методов обработки (ЭМО), в котором имеют приоритет отечественные конструкторско-технологические разработки [1]. В основу этих методов положены электрические процессы, протекающие между деталью и инструментом, подключенным к различным полюсам источника тока. Традиционно, в силу характера этих процессов, такие методы называются как электроэрозионная (ЭЭО) и электрохимическая (ЭХО) обработка. В настоящее время использование данных методов, имеющих, в основном, применение в оборонной и авиационно-космической отрасли, для производства гражданской продукции сведено к минимуму вследствие высоких расходов электроэнергии и применимостью только для электропроводных материалов. Другими причинами, сдерживающими применение данных технологий являются:

– практически полное отсутствие современного оборудования, выпускаемого отечественной промышленностью, низкая квалификация инженерно-технических работников в области этих методов, недостаточная, на наш взгляд, работа в области совершенствования теории методов и ее практической направленности в научных школах. Несмотря на то, что приоритет в области теоретико-практической проработки методов ЭМО принадлежит отечественным исследователям, предприятия предпочитают оснащаться станками производства Японии, Швейцарии и других стран [2, 3];

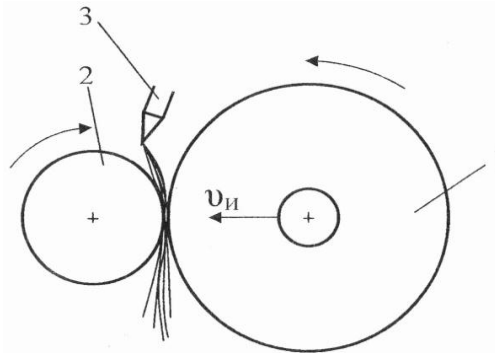
– существенные трудности, которые возникают при проектировании и изготовлении электродов-инструментов для ЭМО.

Рассмотрим последнюю проблему на примере ЭЭО. Так же, как и ЭХО, ЭЭО предполагает формообразование токопроводящей поверхности детали без непосредственного контакта между электродом-деталью и электродом-инструментом. Процесс удаления материала с поверхности детали основан на явлении электрической эрозии. При этом процессе удаление токопроводящего материала с поверхности детали происходит за счет его разрушения электрическими разрядами, следующих с определенной последовательностью [2]. Такой подход, когда профиль готовой детали должен соответствовать профилю электрода-инструмента (ЭИ), но с корректировкой на величину зазора, который в литературе получил название межэлектродный зазор (МЭЗ), привносит в процесс проектирования и изготовления ЭИ определенные особенности, не свойственные традиционному лезвийному инструменту.

В литературе [2] принято деление ЭИ на профилированные и непрофилированные ЭИ. Первые – это инструменты, форма которых соответствует форме обрабатываемой поверхности, но с корректировкой на величину МЭЗ. Непрофилированные ЭИ применяются, как правило, в технологических схемах вырезания деталей, и в этом случае представляют собой проволоку, которая перематывается в процессе работы с одной бабины на другую. Такие ЭИ называют "электрод-проволока". Проектирование непрофилированного инструмента автора-

ми в настоящей работе не рассматривается.

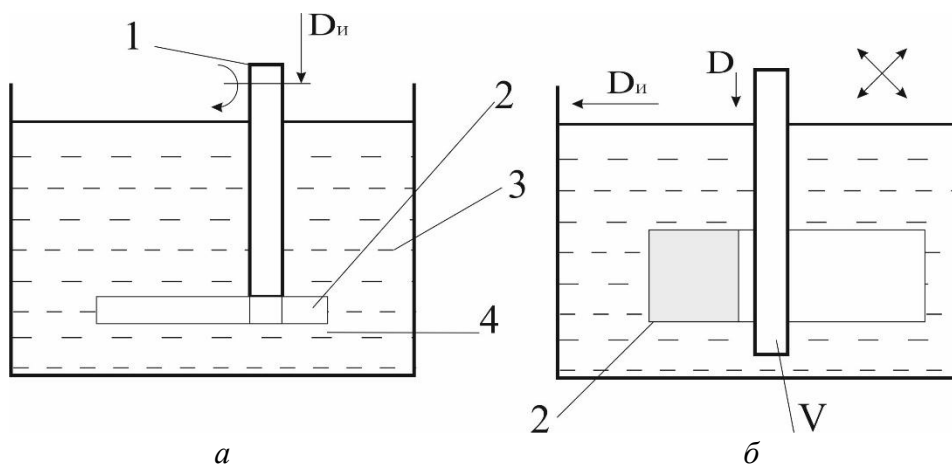
Другими способами получения качественных характеристик ЭЭО являются электроэрозионное шлифование (рис. 1) и разрезание (рис. 2). Способ электроэрозионного шлифования является простым в проектировании и использовании. Способ электроэрозионного разрезания может использовать непрофильный и профильный ЭИ и получать как прямые, так и непрямолинейные контуры [4].



1 – электрод-инструмент, 2 – заготовка, 3 – насадка для подачи диэлектрической жидкости
Рисунок 1 – Принципиальная схема электроэрозионного шлифования

2 Материалы и методы

Авторы предлагают рассмотреть проблему проектирования и в дальнейшем изготовления профилированного ЭИ с учетом возможностей автоматизации расчета технологических параметров процесса обработки и, в дальнейшем, изготовления комбинированного ЭИ методами аддитивных технологий либо из нетокопроводящих материалов с последующей металлизацией рабочей поверхности, либо путем селективного лазерного плавления токопроводящих металлических материалов. Для этого подходит технологическая схема ЭЭО, традиционно называемая схемой "Копирования". В ней металл удаляется из обрабатываемых внутренних полостей и наружных поверхностей (рис. 3). ЭИ (1) поступательно перемещают к детали 2. Скорость перемещения $V_{и}$. ЭИ и деталь расположены в рабочей ванне 3, которая заполнена диэлектрической жидкостью 4. Полученный в электроэрозионном процессе шлам 5 удаляется из зоны обработки путем принудительной прокачки рабочей жидкости или за счет гравитационных сил. На рисунке 3, а представлена схема прямого копирования, на рисунке 3, б обратное копирование. Выбор технологической схемы зависит от характеристик, в частности геометрии поверхностей и возможностей оборудования.



1 – профильный ЭИ, 2 – заготовка, 3 – ванна, 4 – диэлектрическая жидкость

Рисунок 2 – Схемы разрезания заготовки с применением профильного (а) и непрофильного (б) электрода-инструмента (проволока \varnothing 0,002-0,3 мм)

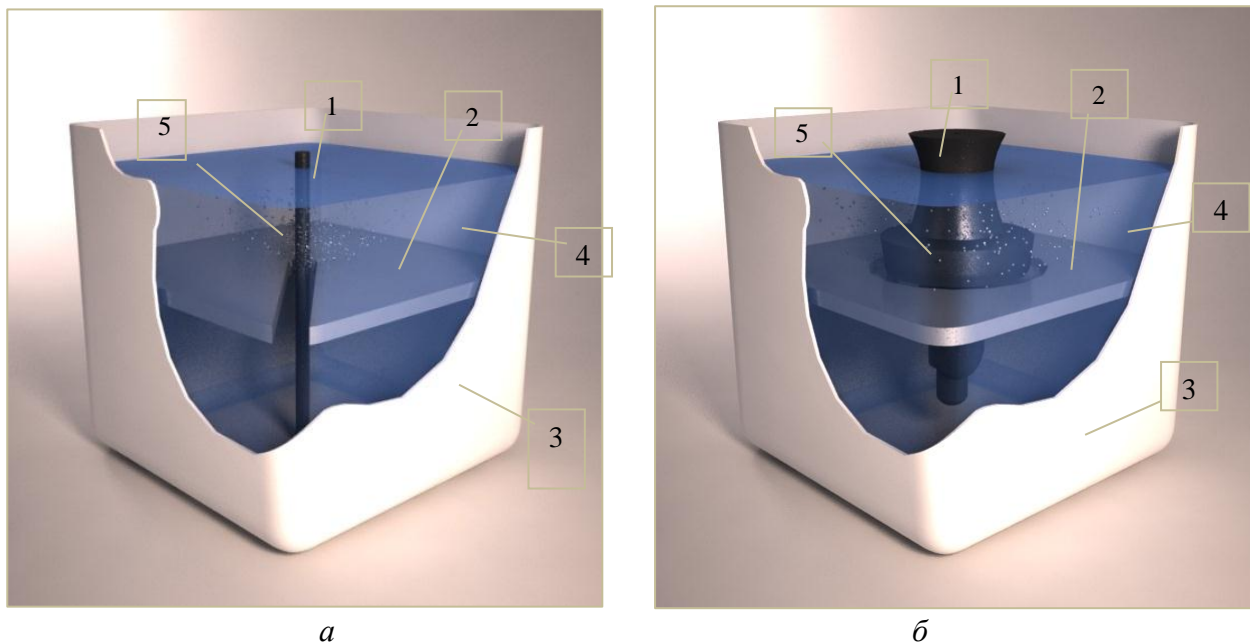


Рисунок 3 – Пример схемы ЭО для прямого (а) и обратного (б) копирования

Из рисунка 3 видно, что в схеме копирования форма рабочей части ЭИ такая же, как и форма обрабатываемой поверхности детали с поправкой на величину МЭЗ. В отечественной литературе широко освещены теоретические положения проектирования формы ЭИ для схемы копирования. Авторы используют два метода, один из которых – метод экспертных оценок, другой – аналитический метод расчета профиля [5]. В последнее время интерес производителей к методам ЭМО подтолкнул разработчиков программного обеспечения в области САПР технологических процессов к разработке специализированных модулей, как правило, встраиваемых в основное программное обеспечение, по расчету режимов и проектированию геометрии ЭИ. Пример реализации такого модуля представлен на рисунке 4 [6, 7].

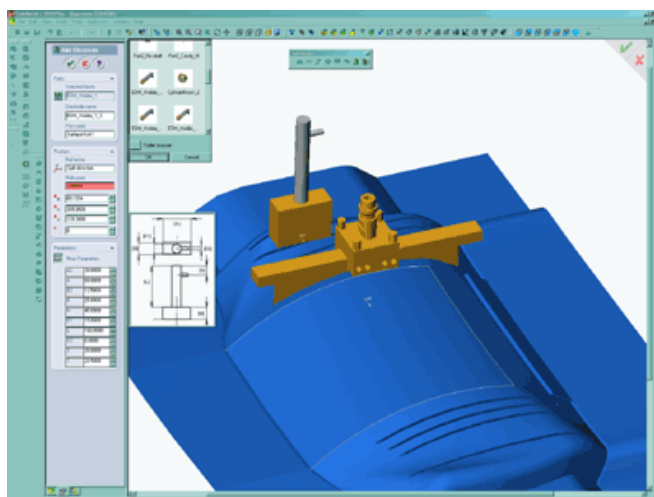


Рисунок 4 – Модуль ЭО, встроенный в программное обеспечение SolidWorks

Как правило, такие модули, ориентированы на применение специального или специализированного оборудования, а попытки масштабирования и расширения номенклатуры обрабатываемых поверхностей приводят к значительным трудностям у инженеров-технологов.

3 Результаты исследований

Результаты исследований показывают о сложностях проектирования ЭИ для схем копирования, в то время как в литературе не было обнаружено технологических рекомендаций по их проектированию [6]. Некоторые рекомендации приводятся в работе [4], при этом до сих пор они не приводятся для изготовления крупногабаритных деталей. Некоторые известные решения для них состоят в использовании сборных или секционных, а также пустотелых электродов-инструментов, но при этом не решается проблема существенного удорожания ЭИ. Решение этой проблемы предполагает использование современных подходов, к которым, в частности, относится подход создания цифрового прототипирования электрода-инструмента [8, 9]. Для реализации подхода предлагается реализация концепции, состоящей в последовательном выполнении процедур:

- изготовление цифровой модели ЭИ на основе модели готовой детали или её чертежа (рис. 5, *а*);
- определение геометрических размеров модели ЭИ исходя из параметров ЭЭО и величины МЭЗ, а также расчет толщины токопроводящего покрытия исходя из величин силы тока (рис. 5, *б*);
- проектирование токоподводов;
- САПР-моделирование процесса обработки ЭИ с последующим уточнением режимно-геометрических параметров обработки (рис. 5, *в*);
- изготовление ЭИ на 3D принтере с точностью, обеспечивающей протекание процесса ЭЭО;
- нанесение на рабочие поверхности инструмента токопроводящего покрытия и создание токоподводов;
- опытная проверка полученных результатов на макетах обрабатываемых деталей.

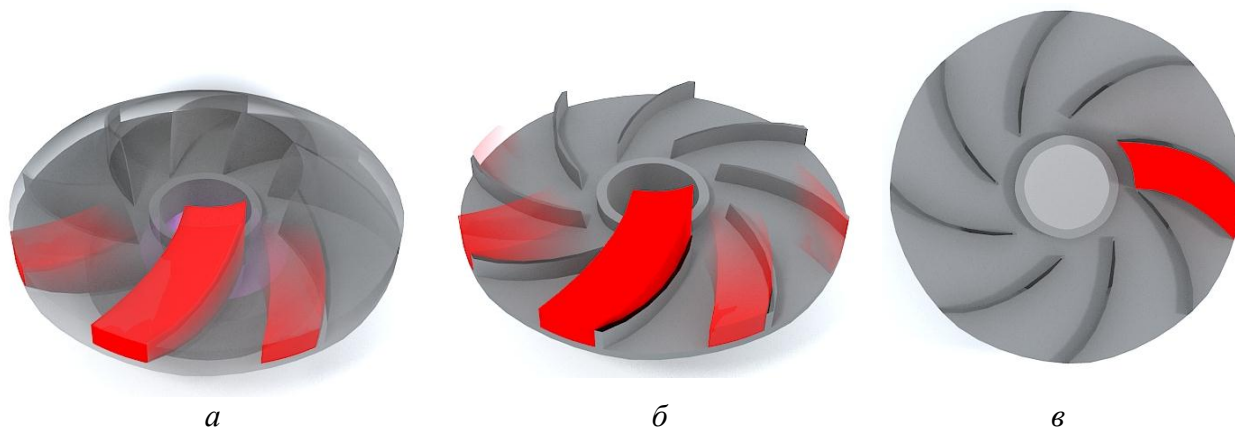


Рисунок 5 – Схема ЭЭО-процесса с быстрым прототипированием

4 Обсуждение и заключение

На основе собственных [7-9] и др. исследований приведены данные для разработки ЭИ применительно для обработки деталей с широким спектром по массе, габаритам и др. конструктивным параметрам, включающие методики расчетов ЭИ.

Приведенные данные показывают проблему сложностей по формализации процесса ЭЭИ, что особенно заметно для ЭИ со сложной поверхностью. Так как в доступной литературе не выявлено конструкторско-технологических рекомендаций изготовления профильного ЭИ, авторы предлагают выработать обобщенную концепцию автоматизированного проектирования ЭИ для указанной схемы. Данная концепция должна на основе уже имеющегося теоретического задела позволять инженеру-технологу, в режиме диалога, по имеющемуся чертежу или модели будущей детали генерировать рабочий профиль ЭИ с учетом МЭЗ и условий 3D-печати, подготавливать рабочие поверхности под последующее нанесение токопроводящего

покрытия и генерировать управляющую программу для передачи ее на аддитивное оборудование. Наиболее приемлемым решением указанной проблемы является применение современных методов цифрового прототипирования ЭИ и программного обеспечения для этого. При проектировании цифрового прототипа твердотельной модели ЭИ должны быть разработаны вопросы параметризации модели ЭИ и обработки, моделирование процесса ЭЭО, изготовление ЭИ из неэлектропроводного материала методом 3D печати, нанесения на него электропроводного покрытия, осуществление ЭЭО. Такой подход позволяет оперативно с малыми затратами получать профильные ЭИ, индивидуально подходящие для конкретных профильных обрабатываемых поверхностей. Результатом проделанной работы является разработка на основе САПР-моделирования модуля расчета геометрии рабочей части ЭИ.

Список литературы

- 1 Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / Г. Л. Амитан, И. А. Байсупов, Ю. М. Барон и др. // Под общ. ред. В. А. Волосатова. – Л. : Машиностроение, 1988. – 719 с.
- 2 Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. В 2-х т. / Под ред. Смоленцева В. П. – М. : Высшая школа, 1983.
- 3 Российский рынок металлообрабатывающих станков. Аналитический отчет. Discovery Research Group. – М., 2013, – 47 с.
- 4 Смоленцев В. П. Изготовление инструмента непрофилированным электродом. – М. : Машиностроение, 1967. – 159 с.
- 5 Лившиц А. Л., Рош А. Расчет, проектирование, изготовление и применение электродов-инструментов. Часть 1. Электроэрозионная обработка. – М. – НИИмаш, 1980 г. – 224 с.
- 6 Материалы сайта: <http://www.solidworks.ru/>.
- 7 Кузовкин, А. В. Разработка технологического процесса изготовления деталей электродом-инструментом на основе цифрового прототипирования // Кузовкин А. В., Коптев А. И., Золототрубова Ю. С., Смоленцев В. П. / Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. № 2-3 (292). – С. 74-80.
- 8 Кузовкин, А. В. Разработка нестандартных технологических процессов электрических методов обработки // Кузовкин А. В., Печагин П. И., Смоленцев В. П. – Воронеж, ВГТУ, 2012. – 139 с.
- 9 Исследование процесса изготовления комбинированного электрода-инструмента для электрохимической обработки в условиях единичного и опытного производства // Суворов А. П., Кузовкин А. В. / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15. № 5. – С. 117-121.

References

- 1 Handbook of electrochemical and electrophysical processing methods / G. L. Amitane, I. A. Baisupov, Yu. M. Baron and others. // under total. Ed. V. A. Voliatova. – L. : Engineering, 1988. – 719 p.
- 2 Electrophysical and electrochemical methods of processing materials. In 2 tons / ed. Smolentseva V. P. – M. : Higher School, 1983.
- 3 The Russian market of metalworking machines. Analytical report. Discovery Research Group. – M., 2013, – 47 s.
- 4 Smolensev V. P. Production of the tool with an unpainted electrode. – M. : Mechanical Engineering, 1967. – 159 p.
- 5 Livshits A. L., Rosh A. Calculation, design, manufacture and use of electrical tools. Part 1. Electroerosion treatment. – M. – NIIMASH, 1980. – 224 p.

6 Materials of the site : <http://www.solidworks.ru/>.

7 Kuzovkin, A. V. Development of the technological process of manufacturing parts by electronic tool based on digital prototyping // Kuzovkin A. V., Koptev A. I., Zolototrubova Yu. S., Smolensev V. P. / Fundamental and applied Problems of technology and technology. 2012. № 2-3 (292). – P. 74-80.

8 Kuzovkin, A. V. Development of non-standard technological processes of electrical treatment methods // Kuzovkin A. V., Proshin P. I., Smolensev V. P. – Voronezh, VSTU, 2012. – 139 p.

9 Study of the process of manufacturing a combined electrode-tool for electrochemical processing in conditions of a single and prototype production // Suvo-Kompani A. P., Kuzovkin A. V. / Bulletin of the Voronezh State Technical University Sith. 2019. T. 15. №. 5. – P. 117-121.

© Кузовкин А.В., Суворов А.П., Золототрубова Ю.С., 2021