

УДК 621.396

DOI: 10.12737/article_58f9c4da3a9653.72695813

А.П. Суворов, А.В. Кузовкин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В статье описаны возможности применения современных САПР для разработки конструкции инструмента для машиностроительного производства на примере проектирования и изготовления комбинированного электрода-инструмента для

электроэрозионной обработки.

Ключевые слова: цифровой прототип, комбинированный электрод-инструмент, электроэрозионная обработка, криволинейная поверхность.

А.Р. Suvorov, A.V. Kuzovkin

DESIGNING OF A COMBINED TOOL FOR COMPLEX SURFACE MACHINING

The paper is devoted to opportunities of using up-to-date CAD programs for the development of a tool design for machine-building manufacturing based on designing and manufacturing of a combined tool-

electrode for electrical discharge machining.

Key words: digital prototyping, combined tool-electrode, electrical discharge machining, curved surface.

Конструктивно современные изделия машиностроительного комплекса включают в себя большое количество деталей (до нескольких десятков тысяч в одном готовом изделии), часть из которых в силу различных причин (конструктивные особенности, прочностные и массогабаритные характеристики, показатели эргономики и эстетики) имеют сложную криволинейную форму рабочих поверхностей. В качестве примера можно привести рабочие колеса и замковые части лопаток турбонасосных агрегатов (ТНА), элементы лопастных машин и насосов, рабочие полости пресс-форм и штампов и т.п. Критерием их оценки, следует считать гладкость кривой, которая традиционно получила обозначение G [1], за которой следует число:

- Непрерывность $G0$ (точка) означает, что конечные точки соприкасаются. Переход между двумя ребрами или поверхностями является заметным. Это может быть резкий или постепенный переход. Следующий рисунок показывает анализ Зейбра для соприкосновения типа $G0$ между двумя поверхностями. Поверхности соприкасаются, однако полосы не выстраиваются в линии (рис. 1, а).

- Непрерывность $G1$ (касательная) - плавный переход между кривыми. Две кривые или поверхности движутся в одном направлении в месте соединения, но коэф-

фициент изменения кривизны (скорость) является заметным. Следующий рисунок показывает анализ Зейбра для соприкосновения типа $G1$ между двумя поверхностями. Две поверхности сопрягаются по касательной. Границы полос выстраиваются в линии, однако между ними образуется острый угол (рис. 1, б).

- Непрерывность $G2$ (кривизна) - очень плавный переход между кривыми. Две кривые совпадают в конечных точках, являются касательными и имеют одинаковую "скорость" (кривизну) при соединении. Следующий рисунок показывает анализ Зейбра для соприкосновения типа $G2$ между двумя поверхностями. Между двумя поверхностями наблюдается гладкое сопряжение (тип $G2$). Границы полос выстраиваются в линии, а между поверхностями имеется плавный переход (рисунок 1, в).

Для получения таких сложнопрофильных поверхностей в современном машиностроении используются разные технологии изготовления деталей, основными из которых являются (рис. 2) следующие [2].

Фрезерная обработка на станках с ЧПУ, которая благодаря автоматическому управлению позволяет перемещать инструмент в рабочей зоне станка по любой траектории. При этом обеспечивается воз-

возможность при одном закреплении заготовки на станке обработать максимальное количество поверхностей. Взаимное перемещение и рабочее движение инструмента и рабочего стола определяют фрезерование плоскостей и криволинейных

поверхностей, включая отверстия и наружные цилиндрические поверхности; сверление, зенкерование и развертывание отверстий; растачивание точных отверстий; точение наружных цилиндрических поверхностей.

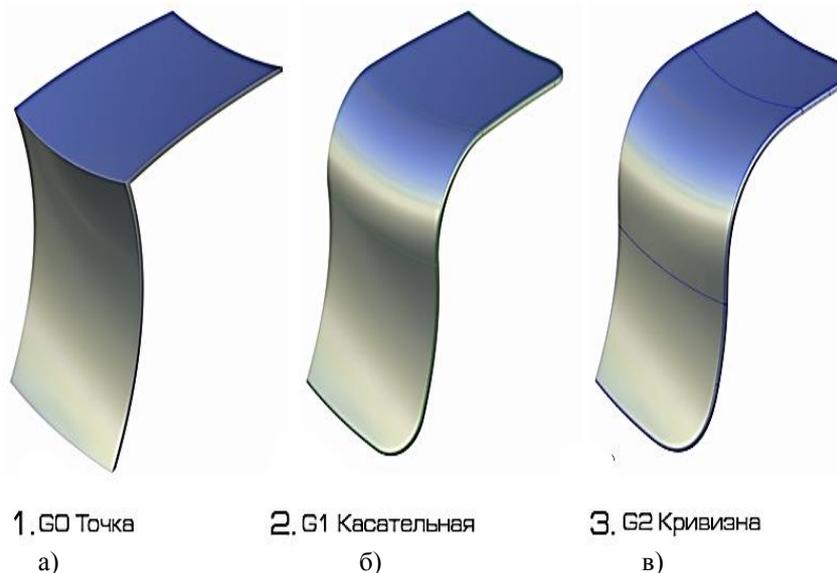


Рис. 1. Виды непрерывности поверхности

Литье – как технологический процесс изготовления заготовок (реже — готовых деталей), заключающийся в заполнении предварительно изготовленной литейной формы жидким материалом (металлом, сплавом, пластмассой и т. п.) с последующим его затвердеванием.

Ковка и штамповка как наиболее распространенные способы получения металлических изделий. Штамповка делится на два основных вида в зависимости от температуры обработки металла - горячая объемная штамповка и холодная штамповка листового металла и заготовок из прутков. Использование этих методов позволяет деформировать заготовку с целью придания ей необходимой формы. В процессе ковки деформирование производится с использованием бойков, представляющих собой универсальный подкладной инструмент. В силу разнообразия их формы и возвратно-поступательных технологических движений необходимая форма и размеры придаются заготовке постепенно и становятся результатом многократного и непрерывного воздействия на нее

инструмента. При объемной штамповке необходимая форма и размеры заготовке придаются при помощи штампа. В итоге деталь имеет форму, соответствующую форме полости штампа. При высокой производительности метода ему характерен существенный недостаток – высокая стоимость и трудоемкость изготовления штампов.

Генеративные технологии, к которым относят селективное лазерное спекание (SLS). Это технология аддитивного производства, используемая для производства небольшого объема продукции или прототипов. Генеративные технологии позволяют в настоящий момент получать детали с максимальной твердостью лишь 42 HRC. Поэтому для достижения их более высокой твердости необходима дополнительная физико-химическая или термообработка

Электрофизические и электрохимические методы обработки - это общее название методов обработки конструкционных материалов непосредственно электрическим током, электролизом и их сочетанием с механическим воздействием.



Рис. 2. Технологии изготовления сложнопрофильных деталей

Наиболее перспективным технологическим способом получения деталей со сложнопрофильными поверхностями с кривизной высокого порядка являются электрические методы обработки, реализующие процесс с использованием электродов-инструментов, геометрия которых должна быть обратно эквидистантна обрабатываемой поверхности.

Электрическая обработка включает в себя электроэрозионные, электрохимические, комбинированные электроэрозионно-химические и электромеханические способы обработки (рис. 3) [1, 2].

Эти методы позволяют получать детали любой кривизны без непосредственного контакта между инструментом и обрабатываемой поверхностью, которые можно вывести в отдельную группу, обозначив для нее характерные признаки.

В настоящей работе приведены результаты по разработке метода проектирования и технологии изготовления комбинированного инструмента (ЭИ) для электроэрозионной обработки (ЭЭО). При традиционной ЭЭО в качестве инструмента используют электрод, изготовленный из меди, латуни, бронзы, алюминия и некоторых других токопроводящих материалов. Он имеет форму, соответствующую форме поверхности детали после обработки. К основным требованиям, которые предъявляются к ЭИ, относятся высокая электроэрозионная стойкость, конструкция ЭИ должна быть жесткой (суммарная деформация не должна превышать 0,3 % допуска на основные размеры обрабатываемого изделия), ЭИ должен быть технологичным, а стоимость его изготовления должна быть ниже стоимости основного изделия (штампа, пресс-формы и т. д.) не менее, чем в три раза.

Анализ имеющихся публикаций [3, 4]

показал, что в настоящее время одной из перспективных технологий создания электрода-инструмента для электроэрозионной обработки является использование технологии послойного синтеза или аддитивные технологии (*AF – Additive Manufacturing*). К ним относят способы построения моделей путем добавления материала (от англ. *Add – “добавлять”*) в отличие от традиционных технологий, где создание детали осуществляется путем удаления материала. Применение аддитивных технологий в различных отраслях машиностроительного производства позволяет:

- осуществлять изготовление сложных деталей без использования дополнительной механической обработки и дорогостоящей оснастки;
- обеспечить повышение рентабельности производства наукоемких и технически сложных изделий;
- устранить «человеческий» фактор при изготовлении детали;
- осуществить снижение веса детали за счет уменьшения толщины стенок и процента заполнения внутреннего объема детали;
- исключить в деталях литейных дефектов и напряжений;
- осуществлять управление физико-механическими свойствами изделия.

Использование аддитивных технологий дает возможность послойного создания сложнопрофильного комбинированного ЭИ на основе математической модели с учетом коррекции его контура на величину межэлектродного зазора и величину токопроводящего покрытия. Эти условия достигаются за счет динамического изменения профиля инструмента в процессе проектирования по цифровой модели детали в реальном масштабе времени (рис. 4)

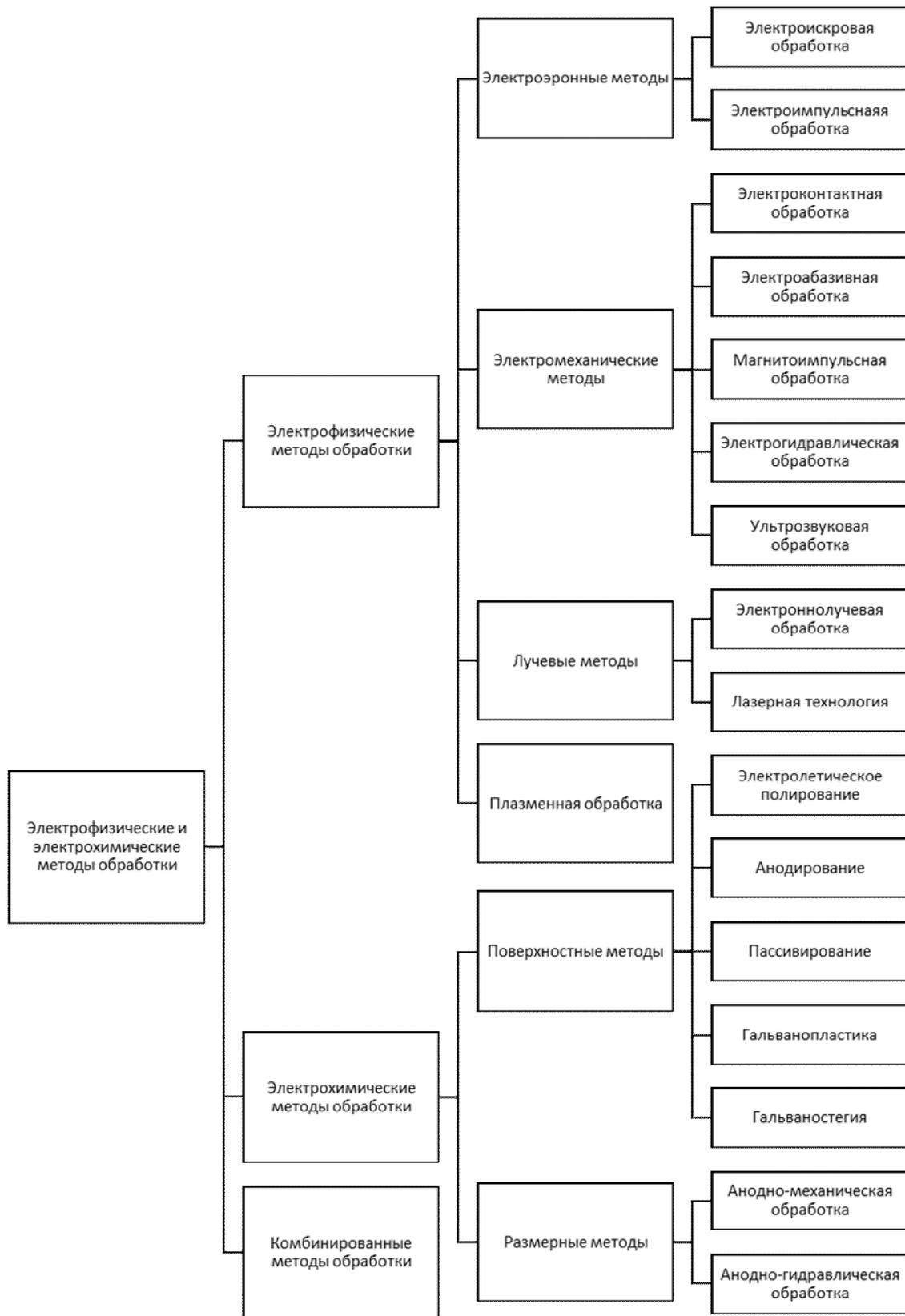


Рис. 3. Электрические методы обработки поверхностей

Предлагаемый подход к проектированию и изготовлению комбинированного ЭИ реализован на основе системы автоматизированного проектирования (САПР) компании *Autodesk Inventor*. В качестве

эффективного метода контроля и коррекции параметров при проектировании является модуль *iLogic*, встроенный в качестве дополнительного инструмента в *Autodesk Inventor*. Данный модуль позволяет созда-

вать собственные подсистемы САПР на языке *VB.NET*. С применением данного языка программирования авторами была разработана методика параметризации комбинированного ЭИ для ЭЭО с учетом теоретических положений электрических методов обработки по расчету МЭЗ и тол-

щины токопроводящего покрытия. Эта методика в виде подсистемы параметризации электрода-инструмента для электроэрозивной обработки [5] была апробирована (рис. 5) для создания ЭИ, используемых в финишной обработке рабочих колес турбоагрегатов.

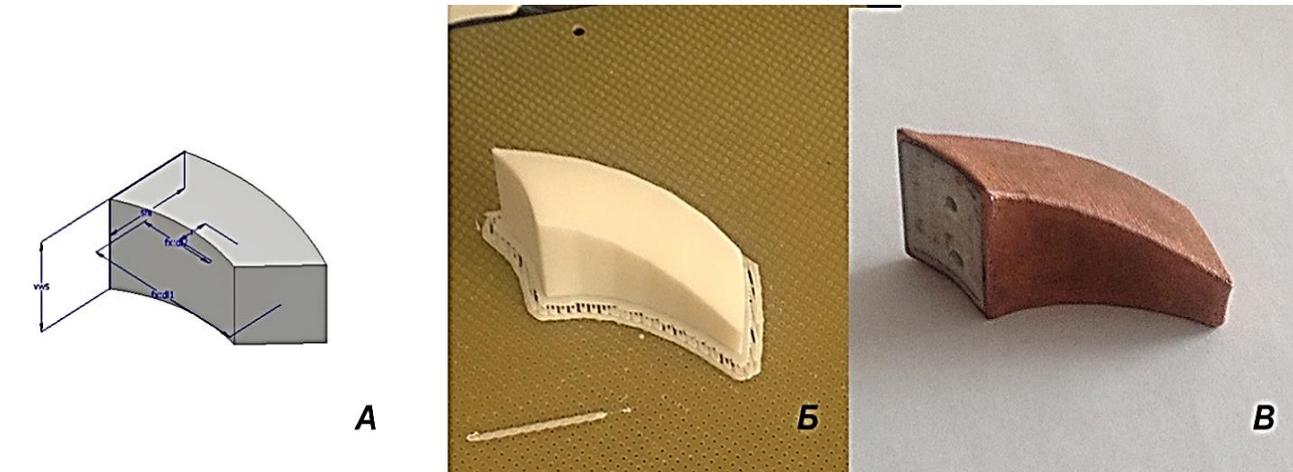


Рис. 4. Этапы проектирования и изготовления комбинированного ЭИ:
А – разработка цифрового прототипа, Б – создание заготовки ЭИ из токонепроводящих материалов, В – комбинированный ЭИ

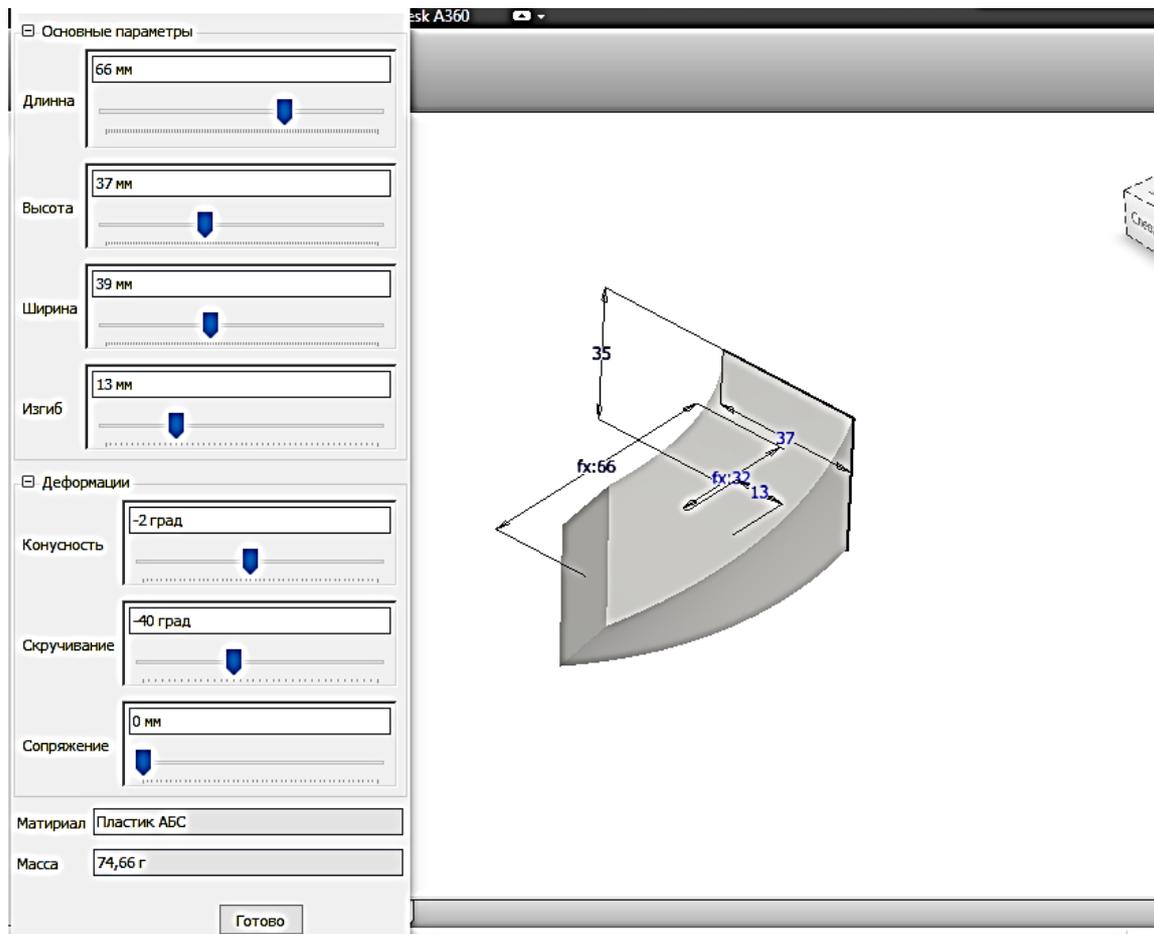


Рис 5. - Проектирование ЭИ средства САПР

На основе подсистемы была разработана аддитивная технология изготовления комбинированного ЭИ для электроэрозионной обработки с учетом сдвига контура на величину межэлектродного зазора, динамики изменения профиля инструмента за счет износа в реальном масштабе времени в зависимости от выбранного технологического режима. Ее алгоритм которой представлен на рис. 6.

В экспериментальных условиях была проведена проверка работоспособности комбинированного ЭИ (рис. 4 В) при ЭЭО труднодоступных участков рабочих колес турбонасосных агрегатов при следующих

режимах: сила тока 4 А, частота 440 кГц, скважность 2, площадь обработки 100 мм². При этом стойкость инструмента составила более 30 минут, а шероховатость обработанной поверхности соответствовала значению $R_z = 1,25 - 0,63$ мкм.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о корректности разработанной подсистемы и технологии изготовления комбинированного ЭИ. В целом, по мнению авторов, методика может быть рекомендована к использованию в условиях опытного и единичного производства сложнопрофильных деталей.

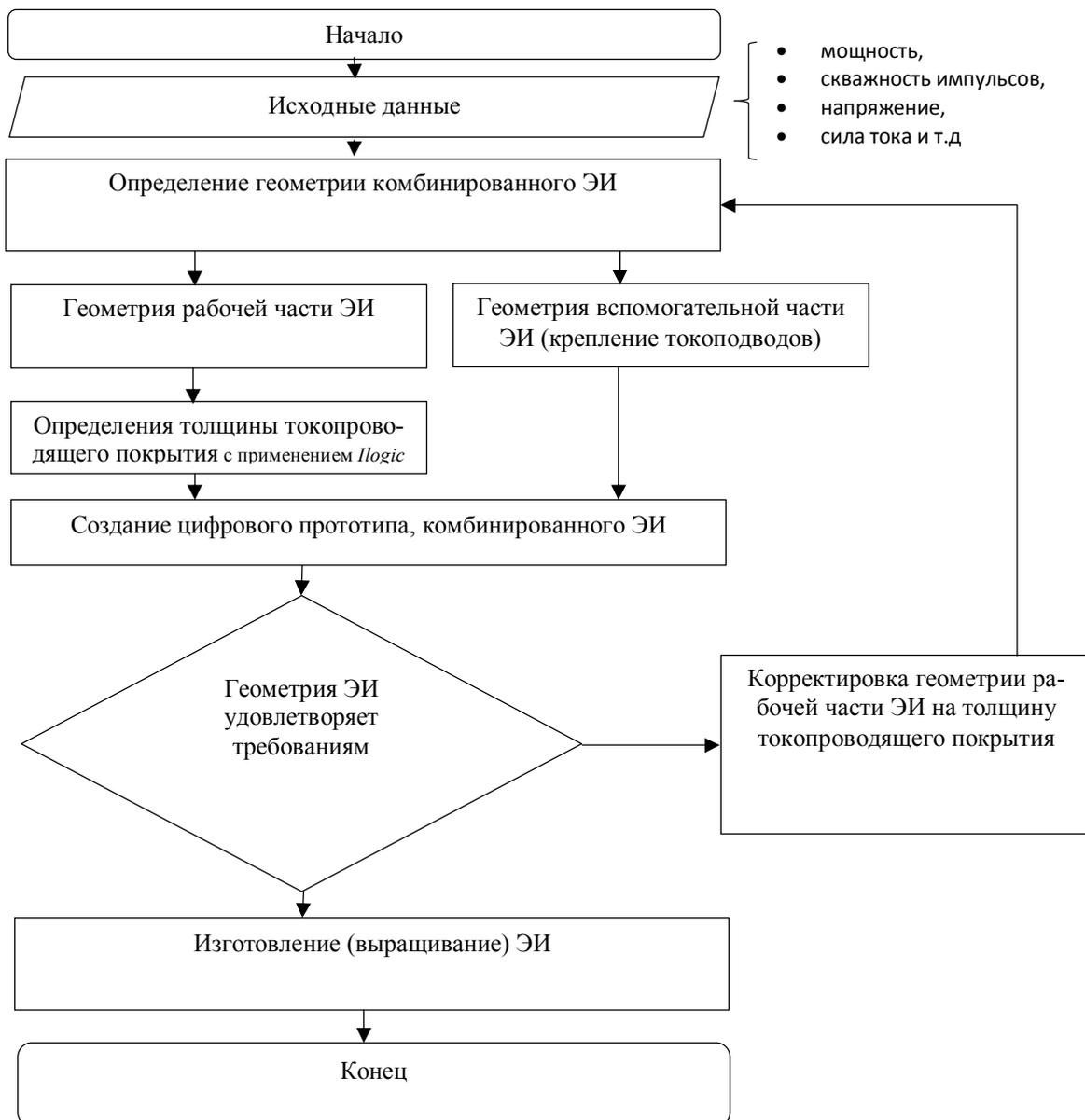


Рис. 6. Алгоритм параметризации ЭИ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сабитов, И.Х. О внешней кривизне и внешнем строении G-гладких нормальных развертывающихся поверхностей // Математические заметки. Математический институт им. В.А. Стеклова РАН. - 2010. - Т 87. - № 6. - С. 900 – 906.
2. Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты / В.Ф. Безъязычный, В.Г. Грицюк, А.В. Киричек, В.П. Смоленцев и др. - Коллективная монография / Под редакцией А.В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2014. - 416 с.
3. Киричек, А.В. Научноёмкие технологии упрочнения инструмента / А.С. Верещака, С.Н. Григорьев, В.А. Ким, Б.Я. Мокрицкий, В.В. Алтухова, Киричек А.В. // Научноёмкие технологии в машиностроении. - 2013. - № 6 (24). - С. 19-24.
4. Суворов, А.П. Разработка технологии изготовления фасонного инструмента на основе быстрого прототипирования. / А.В. Кузовкин, А.П. Суворов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2014. - Том 10. - № 1. - С. 35-37.
5. Суворов, А.П. Подсистема параметризации электрода-инструмента для электроэрозионной обработки / А.В. Кузовкин, А.П. Суворов // Свидетельство о регистрации программного продукта 50201650510 – ВНТИЦ, №0114/0-162, 2016.
1. Sabitov, I.H. On external curvature and structure of G-smooth normal ruled surfaces // Mathematical notes. Mathematical Institute named after V.A. Steklov of RAS. - 2010. - Vol. 87. - № 6. - P. 900 – 906.
2. Modern engineering techniques, equipment and tool-ware / V.F. Bezjyazchny, V.G. Gritsyuk, A.V. Kirichkek, V.P. Smolentsev, etc. - Collective Monograph / Under the editorship of A.V. Kirichkek. – M.: Publishing House «Spektr», 2014. - 416 p.
3. Kirichkek, A.V. Science intensive technologies of tool hardening /A.S. Vereshchaka, S.N. Grigoriev, V.A. Kim, B.Ya. Mokritsky, V.V. Altukhova, Kirichkek A.V. // Science intensive technologies in mechanical engineering. - 2013. - № 6(24). - P. 19-24.
4. Suvorov, A.P. Design of manufacturing of shaped tools based on rapid prototyping. / A.V. Kuzovkin, A.P. Suvorov // Bulletin of the Voronezh State Technical University. - 2014. – V. 10. - № 1. – P. 35-37.
5. Suvorov, A. P. Parametric subsystem of tool-electrode for electrical discharge machining / A.V. Kuzovkin, A.P. Suvorov // Registration certificate of software product 50201650510 – VNTITS, № 0114/0-162, 2016.

Статья поступила в редколлегию 23.12.2016.

*Рецензент: д.т.н., профессор
кафедры «Производство, ремонт и эксплуатация машин»
Воронежского государственного лесотехнического
университета им. Г.Ф. Морозова
А.М. Кадырметов*

Сведения об авторах:

Суворов Александр Петрович
аспирант кафедры ГКПД,
Воронежский государственный
технический университет,
телефон: 8 (905) 049-86-43,
E-mail: alex_diz@inbox.ru

Кузовкин Алексей Викторович
д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой ГКПД,
Воронежский государственный
технический университет,
телефон: 8(960) 131-41-63,
E-mail: akuzovkin@mail.ru

Suvorov Alexander Petrovich
Post graduate student of the Dep. GCPD,
Voronezh State Technical University.

Kuzovkin Alexey Viktorovich
D.Eng., Prof.,
Head of the Dep. GCPD,
Voronezh State Technical University