

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

© 2016 А. П. Суворов, А. В. Кузовкин

Воронежский государственный технический университет

В статье рассматриваются технологии изготовления сложнопрофильных деталей, перспективы развития методов получения сложнопрофильных поверхностей в машиностроении.

Ключевые слова: Быстрое прототипирование, формообразование, электроэрозионная обработка.

Введение.

Конструктивно современные изделия машиностроительного комплекса характеризуются наличием в изделии большого количества деталей (до нескольких десятков тысяч в одном готовом изделии), часть из которых в силу различных причин (конструктивные особенности, прочностные и массо-

габаритные характеристики, показатели эргономики и эстетики) имеют сложную форму рабочих поверхностей. В качестве таких деталей можно привести лопатки турбонасосного агрегата (ТНА), рабочие полости пресс-форм для штамповочного оборудования и термопластических автоматов и т. д. (рис. 1).

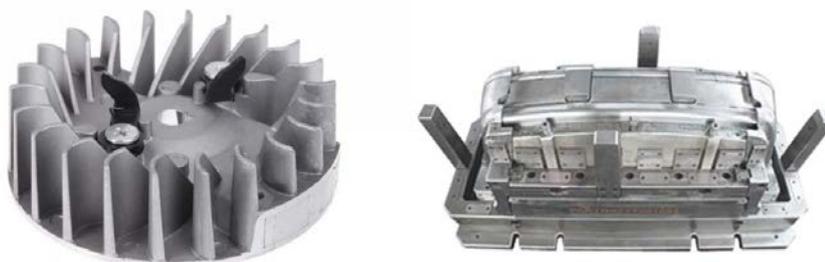


Рис. 1. Примеры деталей со сложной формой

Изготавливаемые в машиностроении поверхности можно классифицировать по нескольким характерным признакам [3]. Применительно к теме, рассматриваемой в настоящей работе, наиболее актуальной является классификация поверхности с позиции геометрии рабочего профиля. В данной классификации поверхности можно разделить на следующие группы:

1) поверхности, подчиненные математическим уравнениям, определенной формы и с определенным расположением в пространстве, называемые алгебраическими [4];

2) поверхности, форма которых определена отдельными точками, а координаты этих точек заданы в виде чисел, обычно све-

денных в таблицу, называемые поверхностями с числовыми отметками [4];

3) поверхности, форма которых определяется конструктивной необходимостью, называемые конструктивными.

Классификацию поверхностей с позиции рабочего профиля можно характеризовать схемой, представляемой на рисунке 2.

Критерием оценки сложных поверхностей, следует считать гладкость кривой, которая традиционно получила обозначение G, 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 Зебра для соприкосновения типа G0 между двумя поверхностями. Поверхности соприкасаются, однако полосы не выстраиваются в линии (рис 3, а).

Непрерывность G1 (касательная) – плавный переход между кривыми. Две кри-

Суворов Александр Петрович – Воронежский государственный технический университет, ст. преп., e-mail: alex_diz@inbox.ru.

Кузовкин Алексей Викторович – Воронежский государственный технический университет, д. т. н., профессор.

вые или поверхности движутся в одном направлении в месте соединения, но коэффициент изменения кривизны (скорость) является заметным. Следующий рисунок показывает анализ Зебра для соприкосновения

типа G1 между двумя поверхностями. Две поверхности сопрягаются по касательной. Границы полос выстраиваются в линии, однако между ними образуется острый угол (рис 3, б).



Рис. 2. Классификация поверхностей с позиции рабочего профиля

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 Зебра

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 (рис. 3, с).

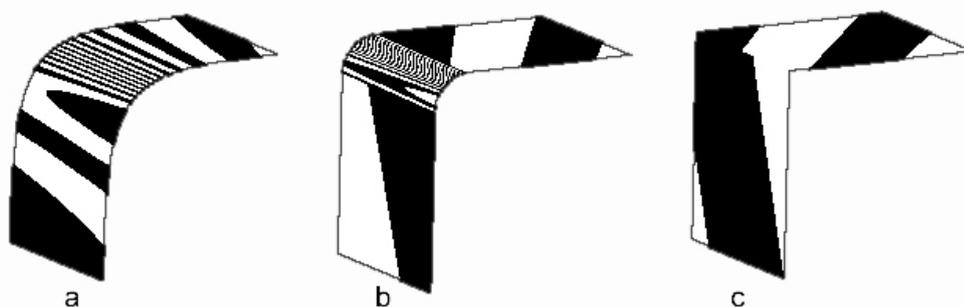


Рис. 3. Виды непрерывности поверхности

Результаты работы

Для получения таких сложнопрофильных поверхностей в современном машино-

строении используются разные технологии изготовления деталей. Основными из которых являются (рис. 4):



Рис. 4. Технологии изготовления сложнопрофильных деталей

- Фрезерная обработка – Фрезерная обработка на станках с ЧПУ определяются тем, что благодаря автоматическому управлению, позволяющему перемещать инструмент в рабочей зоне станка по любой траектории, появляется возможность при одном закреплении заготовки на станке обработать большое количество различных поверхностей. При этом на ряде станков могут быть использованы различные способы обработки: фрезерование плоскостей и криволинейных поверхностей, включая отверстия и наружные цилиндрические поверхности; сверление, зенкерование и развертывание отверстий; растачивание точных отверстий; точение наружных цилиндрических поверхностей.

- Литье – 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 застыванием.

- Ковка и штамповка – два наиболее распространенных способа 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. Ковка и штамповка имеют своей целью одно и то же – деформирование заготовки с целью придания ей необходимой формы, но механизмы этих процессов различны. В процессе ковки деформирование производится с использованием бойков, представляющих собой универсальный подкладной инструмент. Существуют бойки разной формы, наиболее распространены плоские, но встречаются также закругленные и вырезные бойки. В процессе ковки нижний боек остается неподвижным, в то время как верхним бойком совершаются возвратно-поступательные движения. Необходимая форма и размеры придаются заготовке постепенно и становятся результатом многократного и непрерыв-

ного воздействия на нее инструмента. Объемная штамповка – это процесс, в основе своей имеющий совершенно иной механизм. Заготовке придается необходимая форма и размеры при помощи штампа – специальной формы, полость которой заполняется металлом. Получившаяся в итоге деталь имеет форму, соответствующую форме полости штампа. Метод горячей штамповки отличается высокой производительностью, но и немалой стоимостью, ввиду дороговизны штампов и быстрого истощения их ресурса, поэтому применять горячую штамповку имеет смысл только в том случае, когда речь идет о серийном производстве и крупных партиях. Данные методы изготовления детали требуют дополнительной механической обработки для получения качественных поверхностей;

- Генеративные технологии Селективное лазерное спекание (SLS) технология аддитивного производства, используется для производства небольшого объема продукции или прототипов. Генеративные технологии позволяют сегодня 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.

Однако большинство рассмотренных методов требуют дополнительной доработки детали или сложны в реализации, требуя разработки дополнительного оборудования или инструментов.

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 обратноэквидистантна обрабатываемой поверхности.

Электрическая обработка включает в себя электроэрозионные, электрохимиче-

ские, комбинированные электроэрозионно-химические и электромеханические способы обработки (рис. 5).

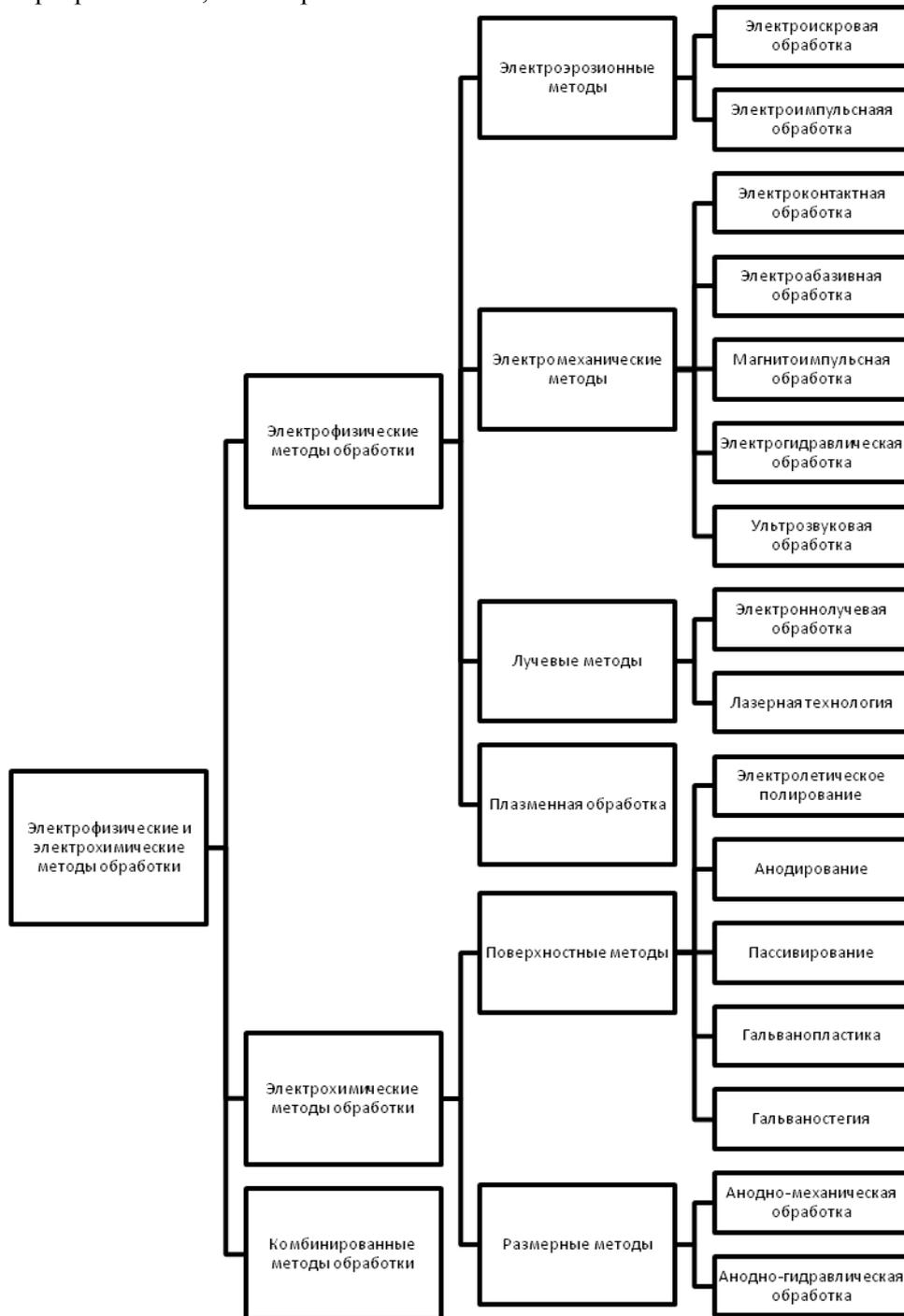


Рис. 5. Электрические методы обработки поверхностей

Эти методы позволяют получать детали любой сложности, которые можно вывести в отдельную группу, обозначив для нее характерные признаки [1].

В основе электроэрозионной обработки металлов лежит процесс электроэрозии, т. е. разрушения поверхностей электродов при электрическом разряде между ними. Электроэрозионную обработку производят на

специальных (электроискровых, электроимпульсных) станках.

Инструментом для обработки служит электрод, изготовленный из меди, латуни, бронзы, алюминия или некоторых других материалов. Он имеет форму, соответствующую форме требуемой поверхности обрабатываемой детали.

Первой и наиболее распространенной схемой (более 60 % объема ЭЭО) [2] является схема прошивания, в результате которой происходит удаление металла из полостей, углублений, отверстий, пазов, а также с наружных поверхностей, доступ к которым традиционным лезвийным инструментом затруднен. На рисунке 6 показана общая схема для внутреннего (а) и наружного фасонного (б) прошивания. Электрод-инструмент 1 поступательно перемещают к заготовке 2 со

скоростью V_u . Оба электрода помещены в ванну 3, заполненную диэлектриком 4. Продукты обработки 5 удаляются из зоны обработки за счет гравитационных сил или принудительно путем прокачки рабочей среды. Различают прямое (рис. 6, а) и обратное (рис. 6, б) копирование. Выбор схемы копирования в свою очередь обусловлен конструктивными особенностями формообразуемых поверхностей и технологическими возможностями применяемого оборудования.

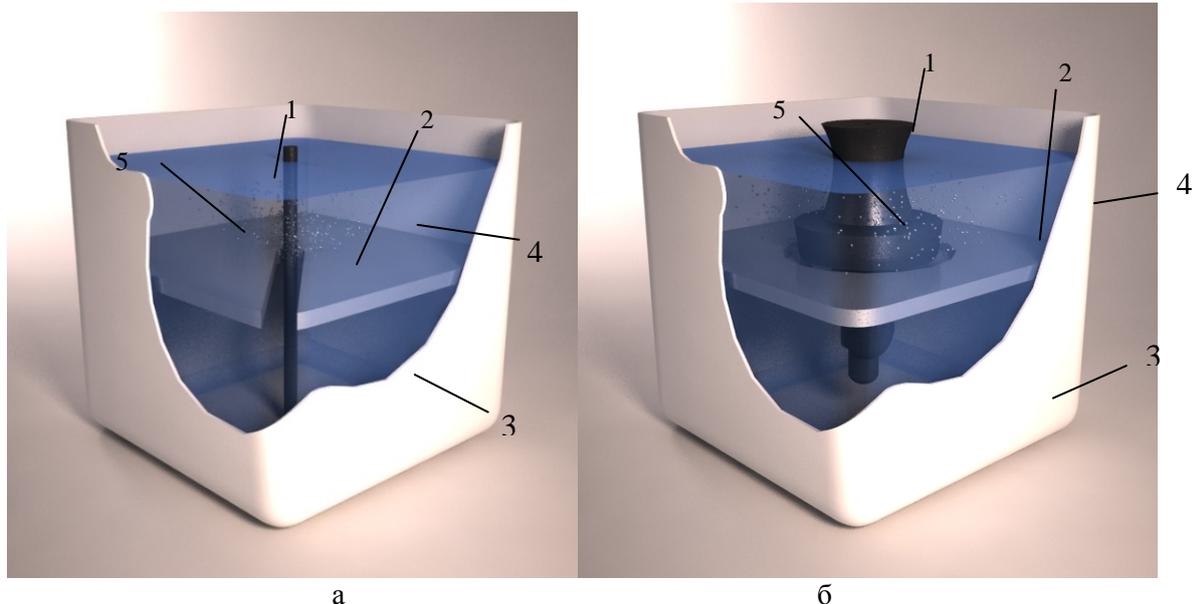


Рис. 6. Принципиальные технологические схемы прямого (а) и обратного (б) копирования

Электрод-инструмент должен изготавливаться из эрозионстойкого материала, обеспечивать стабильную работу во всем диапазоне рабочих режимов ЭЭО и максимальную производительность, имея малый износ.

Конструкция ЭИ должна быть достаточно жесткой и противостоять различным усилиям деформации (усилиям прокачки) и температурным деформациям. Суммарная деформация не должна превышать 0,3 % допуска на основные размеры обрабатываемого изделия. Конструкция ЭИ должна быть технологически выполнимой и не оказывать влияния на быстродействие следящего привода, а стоимость изготовления – ниже стоимости основного изделия (штампа, пресс-формы и т. д.) не менее чем в три раза.

В настоящее время одной из перспективных технологий создания электрода-инструмента для электро-эрозионной обработки является технология быстрого прототипирования (Rapid Prototyping – RP), которая основывается на послойном создании физической модели на основе математической модели. В отличие от традиционных методов производства, быстрое прототипирование

изделий не предусматривает удаление материала (фрезеровка, сверление, стачивание) или изменение его формы (штамповка, ковка, изгиб, раскатывание). Особенность технологии снимает все ограничения на внутреннюю структуру получаемой модели.

Быстрое прототипирование как технология включает несколько этапов и начинается с создания математической модели изделия, а заканчивается процессом создания готовой модели с использованием одной из возможных методик. Математическую модель можно создать в любой программе трехмерного моделирования и сохранить в одном из форматов *.STL, *.WRL, *.PLY, *.3DS. После создания модели происходит ее печать на специальном принтере. Однако если существует образец детали, то этап создания математической модели можно опустить, а образец использовать в качестве модели при изготовлении силиконовой оснастки.

Следовательно, имея возможности 3D печати, низкий износ ЭИ в процессе работы и возможность нанесения токопроводящего покрытия на ЭИ выращенный из нетокопроводящих и дешевых материалов, открывается

возможность изготовления ЭИ под любую деталь с какой угодно кривизной поверхности.

В качестве примера можно рассмотреть возможность финишной обработки замковой части лопаток рабочего колеса магистрального насоса, проектирование которого осуществляется в рамках проекта, выполняемого совместно ФГБОУ ВГУ и ОАО «Турбонасос».

Конструкция основного рабочего органа (рабочего колеса) прорабатывается в наи-

более популярной у инженеров проектировщиков подобного оборудования САПР ANSYS, позволяющей получать геометрию профиля пера лопатки и рабочего колеса в целом в зависимости от требуемых технических параметров готового изделия. Полученная геометрия характеризуется значительной кривизной и может быть описана кривыми 2-го и 3-го порядка (рис. 7).

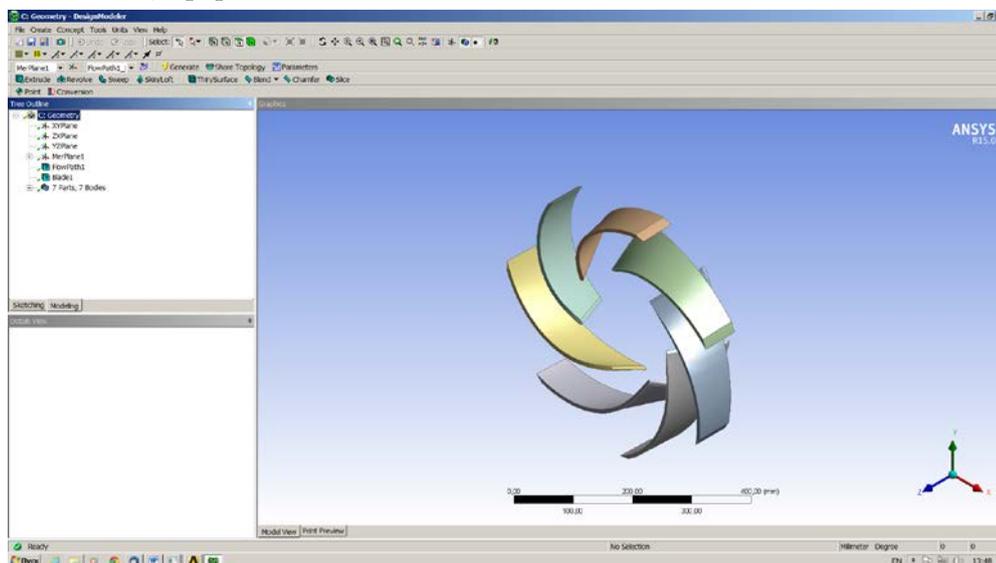


Рис. 7. Пример геометрии пера лопатки рабочего колеса МНН, полученной на этапе проектирования в ПАМ «Гидравлика»

В дальнейшем работа с геометрией пера лопатки и собственно рабочего колеса осуществляется в ПАМ-ах «Конструкция», «Механика» и «Сборка». Эти ПАМ-ы организованы на специализированном программном обеспечении Autodesk Inventor Professional, который позволяет разрабатывать «цифровой прототип детали», осуществлять проектирование сборочных и формообразующих операций.

Заключение

Наличие в Autodesk Inventor Professional встроенного модуля iLogic позволяет существенно повысить уровень автоматизации процесса проектирования инструмента для процесса формообразования, особенно поверхностей со сложной геометрией. Технология iLogic заключается в проектировании на основе правил, устанавливаемых пользователем или проектировщиком. Модуль iLogic внедряет правила в виде объектов непосредственно в деталь, сборку и документы чертежей. Эти правила определяют значения параметров и атрибутов для проекта, а также управляют ими. В частности, к таким параметрам можно отнести величину межэлектродного зазора (МЭЗ) и толщину токопроводящего покрытия на электродеинструменте (ЭИ). Управляя этими значениями, можно определять поведение атрибутов,

элементов и компонентов модели и проектировать инструмент для формообразования еще на этапе создания собственно цифрового прототипа готовой детали. Значения и правила iLogic сохраняются непосредственно в файле модели и находятся там аналогично тому, как хранятся элементы геометрии проектируемой детали [5].

В правилах iLogic можно использовать пользовательские типы параметров, которые назначаются конструктором/проектировщиком исходя из конкретных условий проектирования/обработки, причем в качестве входных значений используются не только численные, но и логические и другие значения.

Эти специализированные параметры поддерживаются в диалоговом окне «Параметры Autodesk Inventor», где содержатся расширенные функции фильтрации, упрощающие определение и редактирование параметров, а также управление ими.

К основным функциям автоматизации iLogic, которые могут быть использованы конструкторами/технологами у указанных ситуациях относятся:

- автоматический поиск и изменение конфигурации параметрических деталей или сборок на основе условного оператора, определенного в правилах на уровне сборки;

- активизация элементов деталей или сборок, а также компонентов и зависимостей сборок на основе правил с использованием условных аргументов (особенно применимо для случая проектирования ЭИ с целью учета толщины токопроводящего покрытия и величины МЭЗ);
- обновление сведений в спецификации на ЭИ, если изменения модели детали приводят к новой конфигурации ЭИ и соответственно величин МЭЗ и толщин покрытия;
- ограничение или автоматическая коррекция вводимых значений таким образом, чтобы итоговые конфигурации ЭИ были до-

пустимы и соответствовали теоретическим положениям электрических методов обработки.

На основе изложенных выше правил авторами была разработана технология проектирования электродов-инструментов для финишной обработки «замковой части» лопатки рабочего колеса исходя из его цифрового прототипа и с учетом теоретических положений электрических методов обработки по расчету МЭЗ и толщины токопроводящего покрытия (рис. 8).



Рис. 8. Пример построения геометрии рабочей части электрод-инструмента для финишной обработки замковой части пера лопатки рабочего колеса

ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонов Б. А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Учебное пособие // Б. А. Артамонов, Ю. С. Волков, В. И. Дрожалова и др.; под ред. В. П. Смоленцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 247 с., ил.
2. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки // Г. Л. Амитан, И. А. Байсупов, Ю. М. Барон и др.; Под общ. ред. В. А. Волосатова. – Ленингр. отд-ние, 1988. – 719 с., ил.
3. Кузовкин А. В. Разработка технологии изготовления фасонного инструмента на основе быстрого прототипирования / А. В. Кузовкин, А. П. Суворов // Вестник Воронежского государственного техниче-

ского университета. – Том 10. – № 1. – 2014. С. 35-37.

4. Кузовкин А. В. Технологические возможности комбинированных и аддитивных процессов в формообразовании проточных поверхностей гидрооборудования / А. В. Кузовкин, Г. А. Сухочев, А. О. Родионов, А. П. Суворов // Насосы. Турбины. Системы. – Воронеж, 2014. – № 1 (10). – С. 53-60.

5. Суворов А. П. Методика изготовления сложнопрофильного электрода-инструмента по технологии быстрого прототипирования / А. П. Суворов, А. В. Кретьинин, А. В. Кузовкин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2015. – Т. 11. – № 2. – С. 11-14.

FUTURE DEVELOPMENT METHODS OF COMPLEX SURFACES IN MECHANICAL ENGINEERING

© 2016 A. P. Suvorov, A. V. Kuzovkin

Voronezh state technical university

The article deals with the manufacture of complex-parts technology, the prospects for the development of methods for producing complex-surfaces in mechanical engineering.

Keywords: rapid prototyping, morphogenesis, spark machining.